



*UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO*



*FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA*

*IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE
SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA
INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA
HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS*

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERA QUÍMICA

P R E S E N T A

Nanci Patricia Cruz Herrera

Director

M. en I. Pablo Eduardo Valero Tejeda, PMP

SEPTIEMBRE, 2015

México, D. F.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



IMPORTANCIA Y APLICACIÓN
DE LOS DIAGRAMAS DE
SELECCIÓN DE MATERIALES
EN EL DESARROLLO DE LA
INGENIERÍA BÁSICA PARA
UNA PLANTA
HIDRODESULFURADORA DE
NAFTAS

NANCI PATRICIA CRUZ HERRERA



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA
UNAM

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

INDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
OBJETIVOS.....	3
GENERAL.....	3
ESPECÍFICOS.....	3
CAPITULO 1 GENERALIDADES.....	4
1.1 DEFINICION DE UN PROYECTO.....	5
1.2 CICLO DE VIDA DE UN PROYECTO.....	8
1.3 DESARROLLO DE LA INGENIERIA BASICA DE PLANTAS INDUSTRIALES.....	18
1.4 TIPOS DE FLUIDOS USADOS EN LA INDUSTRIA QUÍMICA, INDUSTRIA PETROQUÍMICA Y DE REFINACIÓN Y SU RELACION CON LOS MATERIALES.....	24
1.5 DIAGRAMAS DE FASE EN LA CIENCIA DE MATERIALES.....	35
1.6 DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES DE ASHBY.....	54
CAPITULO 2 DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES.....	79
2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES DE INGENIERÍA Y SUS APLICACIONES.....	83
2.2 CRITERIOS Y HERRAMIENTAS PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES.....	103
2.3 PROCESO DE SELECCIÓN DE MATERIALES.....	107
2.4 NORMAS ESTABLECIDAS QUE SE EMPLEAN EN LA SELECCIÓN DE MATERIALES EN UN PROYECTO.....	113
2.5 MÉTODOS CUANTITATIVOS USADOS PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES.....	138
CAPITULO 3 ESTRUCTURA, USOS Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE ASHBY Y LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES.....	156
3.1 ESTRUCTURA LOS DIAGRAMAS EMPLEADOS PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES.....	158
3.2 USO DEL METODO GRAFICO PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES EN LAS ETAPAS DE DISEÑO DE UN PROYECTO.....	197
3.3 APLICACIONES DE LOS DIAGRAMAS DE ASHBY PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES: CASOS DE ESTUDIO.....	222
CAPÍTULO 4 SELECCIÓN DE MATERIALES PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADURA DE NAFTAS.....	239
4.1 PROCESOS PRINCIPALES DE LA REFINACIÓN DEL PETRÓLEO.....	240
4.2 HIDRODESULFURACION.....	245
4.3 INGENIERIA BASICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA.....	251
4.4 SELECCIÓN DE MATERIALES PARA EQUIPO DE PROCESO DE UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS.....	304
4.5 DIAGRAMA DE SELECCIÓN DE MATERIALES (MSD).....	338
CONCLUSIONES.....	341

**IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL
DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE
NAFTAS**

BIBLIOGRAFIA.....	342
FUENTES DE INTERNET.....	344
LISTA DE FIGURAS.....	346
CAPITULO 1.....	346
CAPITULO 2.....	348
CAPITULO 3.....	348
CAPITULO 4.....	349
LISTA DE TABLAS.....	350
CAPITULO 1.....	350
CAPITULO 2.....	350
CAPITULO 3.....	351
CAPITULO 4.....	351

**IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL
DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE
NAFTAS**

RESUMEN

La selección de materiales para equipos y tuberías de proceso y servicios auxiliares, se lleva a cabo mediante métodos que nos permiten elegir los materiales óptimos para el buen funcionamiento de los mismos y en consecuencia del proceso mismo, al término de la selección de dichos materiales se hace una especificación y un resumen de todos ellos en un documento unificado, este documento es el Diagrama de Selección de Materiales.

El Diagrama de Selección de Materiales es un documento que se inicia su concepción en la ingeniería básica extendida (Front-End Engineering Design), posteriormente se va modificando de acuerdo a las necesidades del proceso, este documento resume las especificaciones de los materiales de los que se requiere estén contruidos nuestros equipos y tuberías de proceso y servicios auxiliares; y nos ayuda a la generación de las hojas de especificaciones de equipo.

En el presente trabajo se llevó a cabo la selección de materiales por el Método de Ashby el cual debe seguirse para llegar a la concepción de un Diagrama de Selección de Materiales desde que se tiene la necesidad de gestionar un proyecto hasta que se llega al detalle del mismo, así como su estructura de acuerdo a la Norma NACE (National Association of Engineering of Corrosion) que hace mención de este diagrama.

Se seleccionó el proceso de una planta Hidrodesulfuradora y se realizó la Ingeniería Básica para determinar los materiales que se podrían utilizar de acuerdo a los fluidos que se manejan en dicho proceso, así mismo se generó un Diagrama de Selección de Materiales en donde se muestran los datos más importantes para la especificación de cada equipo.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la Industria Química y Petroquímica han ocurrido desastres que han causado grandes pérdidas tanto humanas como materiales y así como consecuencias fatales al ambiente, estos desastres han sido consecuencia algunas veces de la mala manipulación de los fluidos o de los equipos que los contienen, pero principalmente se ha llegado a estos sucesos por la errónea selección de materiales con los que se construyen los equipos y tuberías de proceso y servicios auxiliares.

Un desastre muy conocido es el de la gran explosión en San Juan Ixhuatepec (San Juanico, México) en 1984, el accidente tuvo lugar en una de las plantas de almacenamiento y distribución de Gas Licuado de Petróleo, cuya función era la de suministrar el combustible a diversas empresas que a su vez se encargaban de distribuirlo a la zona metropolitana de la ciudad de México; el origen de la explosión ocurrió cuando se suscitó la rotura de una tubería de 8 pulgadas de diámetro por la cual se transportaba Gas LP proveniente de tres refinerías diferentes para ser almacenado en la planta cerca de los parques de tanques, que estaban compuestos por 6 esferas y 48 cilindros. El sobrellenado de uno de los depósitos y la sobrepresión en la línea de transporte, fueron uno de los probables factores que, con la falta de funcionamiento de las válvulas de alivio del depósito de sobrellenado, provocó una fuga de gas durante casi diez minutos, esta fuga propició la formación de una gran nube de vapor inflamable de unos 200 metros por 150 metros, misma que entró en ignición alrededor de 100 metros del punto de fuga, al ponerse en contacto con algún punto de ignición e hizo que se generara un incendio de grandes proporciones hasta extenderse a una pequeña esfera que se incendió generando una bola de fuego de unos 300 metros de diámetro y 500 metros de altura aproximadamente, a la que le seguirían múltiples explosiones en cadena, generadas por otras cuatro esferas y quince cilindros.

Probablemente la ruptura de la tubería se debió a que el material presentaba un desgaste debido a la corrosión que provocan los Hidrocarburos en los materiales o quizá el material no era tan confiable como para resistir las condiciones de operación, etc., y como estos casos hay muchos más, es por eso que siempre se ha hecho hincapié en que los materiales deben ser seleccionados por medio del estudio previo tanto de las materias primas y los fluidos que van a manejarse en la planta como los materiales que se han decidido emplear para la construcción de equipos y tuberías, con estudio previo nos referimos a un buen cálculo de las propiedades físicas y químicas, pruebas de corrosión, temperatura y presión máximas de operación, en cuanto a los materiales, pruebas de resistencia a la fractura, resistencia a la corrosión, tenacidad, y también temperatura y presión máximas de operación, etc.

En cada proyecto se desarrolla la ingeniería de tal manera que los datos y documentos generados durante el ciclo de vida del proyecto sean confiables, es decir, que se compruebe que la selección de materiales cumplen los estándares de acuerdo a normas ya establecidas y principalmente cumplen con los requerimientos de diseño de nuestro proceso por ello muchas veces se utiliza más de un método para tomar estas decisiones. En los últimos años el método gráfico ha parecido muy eficaz, principalmente el método de Ashby el cual trata de unas gráficas que contienen a los materiales y la selección se hace por pares de propiedades que se consideren más importantes del material que se

pretende utilizar. Y cuando se tiene la decisión final de los materiales que se utilizaran, se genera un documento llamado Diagrama de Selección de Materiales, en donde se resumen los datos y especificaciones más importantes de dichos materiales y son utilizadas para concepción de las Hojas de Especificaciones o de Datos para posteriormente llegar a la adquisición del equipo y tubería de proceso y servicios auxiliares.

En esta tesis se seleccionó el proceso de Hidrodesulfuración de Naftas ya que conforme pasan los años, las leyes que protegen al medio ambiente, exigen que los productos derivados del petróleo sean menos contaminantes. Este proceso consiste en reducir la cantidad de azufre (una impureza contaminante) que se encuentra en el petróleo desde su formación en el subsuelo. Este Azufre se encuentra combinado con otros compuestos químicos, que si no se eliminan, al estar presentes en la combustión de los automóviles o artefactos que utilicen gasolina o diésel, causaría una corrosión en los motores u envenenamiento del mismo y al mismo tiempo contaminaría al ambiente, es por eso que desde que se trata la Nafta en la planta se tiene mucho cuidado en el diseño del equipo para que sea seguro el proceso y los productos resultantes sean útiles para el consumo y no dañinos al ambiente.

OBJETIVOS

General

Establecer la importancia, estructura y desarrollo del Diagrama de Selección de Materiales (MSD), dentro del desarrollo de proyectos de tipo industrial, sobre todo para aplicaciones en procesos de refinación.

Específicos

De manera específica se pretende cubrir los siguientes aspectos:

- Determinar la etapa en donde se elaboran los Diagramas de Selección de Materiales.
- Explicar de manera detallada la estructura de los Diagramas de Selección de Materiales y los Diagramas de Selección de Materiales de Ashby
- Seleccionar un proceso donde se tenga la necesidad de elaborar este tipo de diagramas, en la etapa de Ingeniería Básica y llevar a cabo la selección de materiales por el Método de Ashby.
- Elaborar el Diagrama de Selección de Materiales (MSD), aplicable en la Ingeniería Básica.



CAPITULO 1

GENERALIDADES



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

1.1 DEFINICION DE UN PROYECTO

En la literatura existen múltiples definiciones de lo que es un proyecto, en esta tesis se resalta aquella que lo define como:

“Proyecto es la combinación de recursos humanos y no humanos reunidos en una organización de un grupo de personas para conseguir un propósito determinado”

En esta definición hay algunos elementos que son básicos para la comprensión de lo que es un proyecto. En primer lugar, se trata de una combinación de recursos humanos y no humanos; esto indica que se trata de utilizar un grupo de personas, para manejar otros recursos, entre ellos, los económicos y los de tiempo, así como los de carácter tecnológico y muchas veces los ecológicos.

Todos estos recursos han de estar organizados temporalmente, es decir, que tiene un principio y un fin en el tiempo; es muy importante resaltar esta característica, ya que, de lo contrario estaríamos en un caso de una Empresa y no de un Proyecto.

También tenemos que esos recursos que están reunidos en una organización temporal, han de conseguir un propósito determinado, podemos decir que dicho propósito es el objetivo principal del proyecto. En general, los Proyectos surgirán a partir de la necesidad del cumplimiento de determinados objetivos de cualquier empresa o institución.

1.1.1 Características de un Proyecto

1.1.1.1 Temporal

Temporal significa que cada proyecto tiene un comienzo y un final definido. El final se alcanza cuando se han logrado los objetivos del proyecto o cuando queda claro que los objetivos del proyecto podrán ser alcanzados o no, o cuando la necesidad del proyecto ya no exista, el proyecto será cancelado. Temporal no necesariamente significa de corta duración; muchos proyectos duran varios años, sin embargo, la duración de un proyecto es limitada.

Además, temporal no es aplicable generalmente al producto, servicio o resultado creado por el proyecto, la mayoría de los proyectos se emprenden para obtener un resultado duradero. Con frecuencia, los proyectos también pueden tener impactos sociales, económicos y ambientales, intencionales o no, que perduran mucho más que los propios proyectos.

La naturaleza temporal de los proyectos puede aplicarse también a otros aspectos de la empresa:

- ✓ La oportunidad o ventana de negocio normalmente es temporal: algunos de los proyectos tienen un período limitado para producir sus productos o servicios.

- ✓ El equipo del proyecto, como unidad de trabajo, pocas veces perdura después del proyecto: un equipo creado con el único fin de llevar a cabo el proyecto lo desarrollará y luego se disolverá, y los miembros del equipo serán reasignados una vez que concluya el proyecto.

1.1.1.2 Productos, servicios o resultados únicos

Un proyecto crea productos entregables únicos. Productos entregables son productos, servicios o resultados; los proyectos pueden crear:

- ✓ Un producto o artículo producido, que es cuantificable, y que puede ser un elemento terminado o un componente.
- ✓ La capacidad de prestar un servicio como, por ejemplo, las funciones del negocio que respaldan la producción o la distribución.
- ✓ Un resultado como, por ejemplo, salidas o documentos. Por ejemplo, de un proyecto de investigación se obtienen conocimientos que pueden usarse para determinar si existe o no una tendencia o si un nuevo proceso beneficiará a la sociedad.

La singularidad es una característica importante de los productos entregables de un proyecto. Por ejemplo, se han construido muchos edificios en donde se ubican oficinas, pero cada edificio individual es único: diferente propietario, diferente diseño, diferente ubicación, diferente contratista, etc. La presencia de elementos repetitivos no cambia la condición fundamental única del trabajo de un proyecto.

1.1.1.3 Elaboración gradual

La elaboración gradual es una característica de los proyectos que acompaña a los conceptos de temporal y único, “Elaboración gradual” significa desarrollar en pasos e ir aumentándolos mediante incrementos. Por ejemplo, el alcance de un proyecto se define de forma general al comienzo del proyecto, y se hace más explícito y detallado a medida que el equipo del proyecto desarrolla un mejor y más completo entendimiento de los objetivos y de los productos entregables.

La elaboración gradual de las especificaciones de un proyecto debe ser coordinada cuidadosamente con la definición adecuada del alcance del proyecto, particularmente si el proyecto se ejecuta mediante un contrato. Una vez definido correctamente, el alcance del proyecto, el trabajo a realizar deberá controlarse a medida que se elaboran gradualmente las especificaciones del proyecto y del producto.

Los siguientes ejemplos ilustran la elaboración gradual en dos áreas de aplicación diferentes.

- El desarrollo de una planta de procesamiento químico comienza con la ingeniería de proceso que define las características del proceso. Estas características se utilizan para diseñar las

unidades principales de proceso. Esta información se convierte en la base para el diseño de ingeniería, que define tanto el plano detallado de la planta como las características mecánicas de las unidades de proceso e instalaciones auxiliares. Todo ello se refleja en dibujos de diseño que se elaboran para crear dibujos de fabricación y construcción. Durante la construcción, se realizan las interpretaciones y adaptaciones que sean necesarias, que están sujetas a la aprobación correspondiente. Esta elaboración adicional de los productos entregables se refleja en dibujos que se realizan sobre la marcha, y los ajustes operativos finales se realizan durante la etapa de pruebas y rotación.

- El producto de un proyecto de desarrollo económico puede definirse inicialmente como: “Mejorar la calidad de vida de los residentes con ingresos más bajos de la comunidad X”. A medida que el proyecto avanza, los productos pueden describirse más específicamente como, por ejemplo: “Proporcionar acceso a agua y comida a 500 residentes de bajos ingresos de la comunidad X”. La siguiente etapa de elaboración gradual podría centrarse exclusivamente en mejorar la producción y comercialización agrícola, considerando la provisión de agua como una segunda prioridad, a ser iniciada una vez que el componente agrícola esté en una etapa avanzada.

1.1.2 Clasificación de los Proyectos

La propia enumeración de ejemplos nos permite intuir una primera clasificación de los proyectos atendiendo a la naturaleza del cambio que producen. Así podemos hablar de proyectos de construcción, investigación, ingeniería, informática organización, desarrollo, comercialización. Etc.

Es también interesante la clasificación de proyectos atendiendo al carácter interno o externo del cliente:

- a) Proyectos internos: son aquellos que una empresa realiza por sí misma. Por ejemplo una empresa realiza la informatización de su departamento de personal por medio de ese departamento de informática.
- b) Proyectos externos: son los que encargan clientes o entidades ajenas a la empresa. Por ejemplo una entidad del estado encarga a una empresa consultora la realización de un estudio organizativo.

Ahora bien podemos decir que como cualquier otra actividad empresarial, de buena o mala gestión depende el éxito o el fracaso, al menos en términos de coste y plazo.

1.2 CICLO DE VIDA DE UN PROYECTO

El ciclo de vida de un proyecto es un conjunto de fases, generalmente secuenciales y en ocasiones superpuestas, cuyo nombre y número se determinan por las necesidades de gestión y control de la organización u organizaciones que participan en el proyecto.

Los nombres de las distintas fases pueden variar, pero suelen incluir las que se muestran en la FIGURA 1-1. En esta figura las cinco fases del ciclo de vida del proyecto son presentadas en función del costo. El costo durante cada fase depende de las características específicas, pero usualmente la mayoría del presupuesto se gasta en la fase de producción. Sin embargo, la mayor parte de este presupuesto se ha comprometido durante la fase de desarrollo avanzado y la fase de diseño detallado o ingeniería de detalle antes de que el trabajo real se lleve a cabo.

Por el grado en que los proyectos difieren en sus principales atributos, como el costo, el tipo de tecnología utilizada, y las fuentes de incertidumbre, es posible, discutir algunos temas estratégicos y tácticos que son relevantes para muchos tipos de proyectos. El marco para la discusión es el ciclo de vida del proyecto o las principales fases por las que un proyecto típico progresa. Un resumen de estas fases se representa en la FIGURA 2-1 desarrollada por Cleland y King (1983), en donde identifican la gama estratégica y las cuestiones de medio alcance (tácticos) que la gestión de proyectos debe considerar:

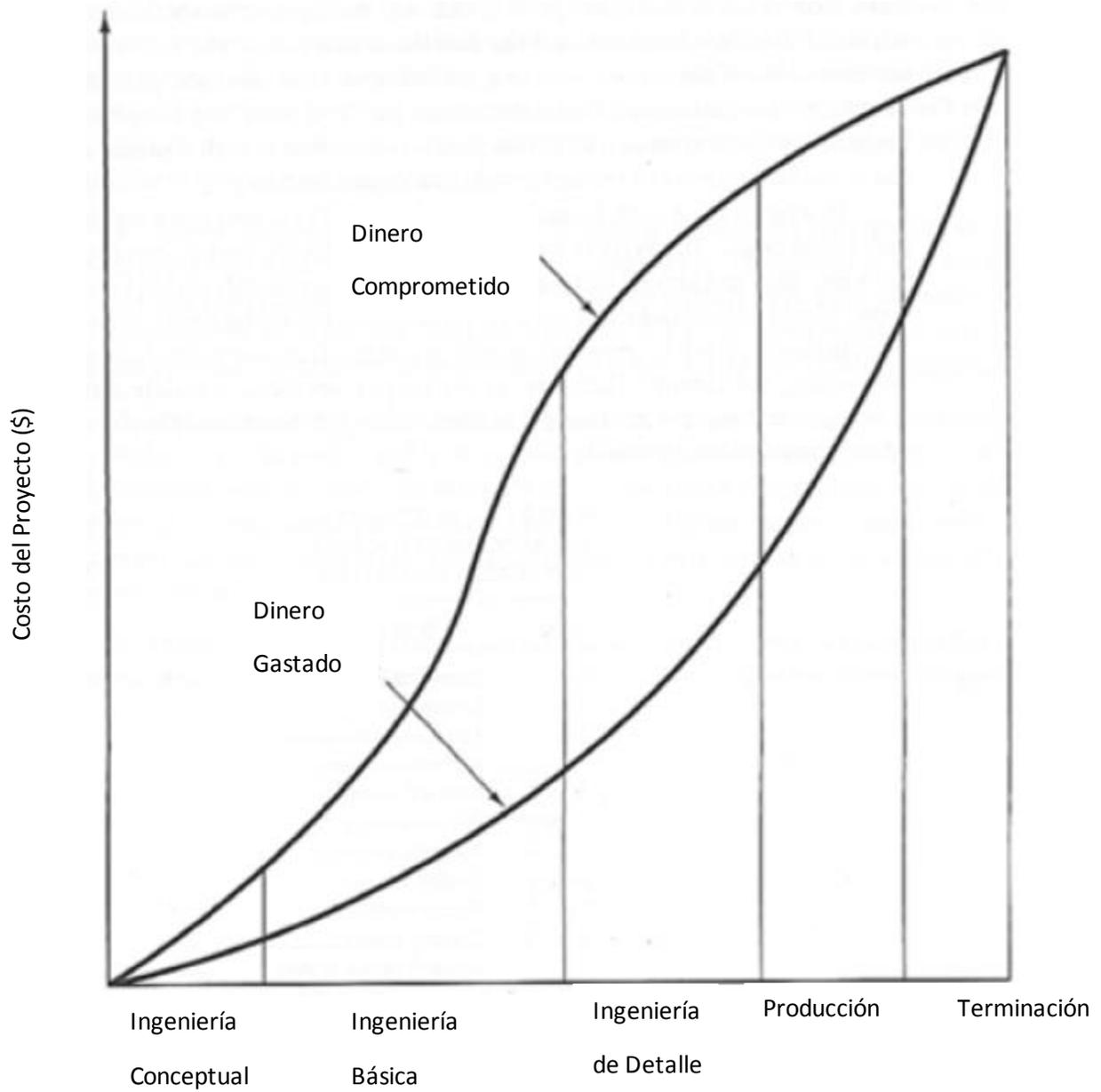
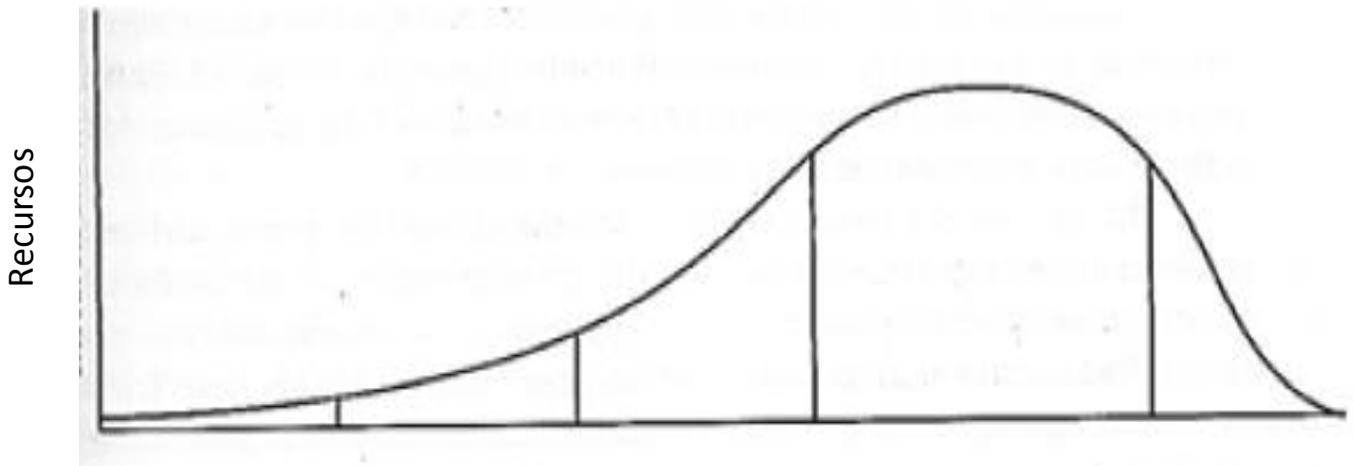


FIGURA 1-1 Ciclo de vida de un proyecto por Cleland y King (1983)

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS



Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5
Ingeniería Conceptual	Ingeniería Básica	Ingeniería de Detalle	Producción	Terminación
- Objetivos - Alcance - Base - Requisitos - Factibilidad	- Plan - Presupuesto - Programación - Propuesta de licitación - Compromiso de la dirección	- Definición de responsabilidades - Equipo - Estructura Organizacional - Plan detallado	- Gestión - Control - Actualización y re planificación - Solución del problema	- Cierre - Documento que sugiera mejoras - Transito - Disolución del equipo de ingeniería

FIGURA 2-1 Ciclo de vida de un proyecto.

1.1.1 Fases del Ciclo de Vida del Proyecto

Las fases del proyecto son divisiones dentro del mismo proyecto, donde es necesario ejercer un control adicional para gestionar eficazmente la conclusión de un entregable mayor. Las fases del proyecto suelen completarse de manera secuencial pero en determinadas situaciones pueden superponerse.

La estructuración en fases permite la división del proyecto en subconjuntos lógicos para facilitar su dirección, planificación y control.

Las fases del ciclo de vida de un proyecto son:

1. Ingeniería Conceptual
2. Ingeniería Básica
3. Ingeniería de Detalle
4. Ingeniería de Procura
5. Terminación (Construcción, pruebas y arranque)

Y a continuación se describen brevemente.

1.2.1.1 Ingeniería Conceptual

En esta fase, una organización (cliente, contratista, subcontratista) inicia el proyecto y evalúa una serie de alternativas potenciales. Una organización o cliente puede empezar por identificar una necesidad o una deficiencia en las operaciones existentes y posteriormente se emite una solicitud de propuesta. Si la organización que solicita es una agencia de gobierno, la petición de oferta se publicará en el Diario Oficial de la Federación. El contratista potencial puede estudiar la propuesta y desarrollar una estrategia para responder a esta solicitud.

La selección de los proyectos en la fase de diseño conceptual es una decisión estratégica sobre la base de los objetivos establecidos de la organización, necesidades, proyectos en curso y los compromisos a largo plazo. En esta fase, los beneficios esperados de los proyectos alternativos, la evaluación de los costos y los riesgos y las estimaciones de los recursos necesarios son algunos de los factores más importantes. Los puntos de acción importantes incluyen las decisiones iniciales "hacer o comprar" para los equipos de proceso y tuberías, el desarrollo de planes de contingencia para las zonas de alto riesgo y la selección preliminar de los subcontratistas y los otros miembros del equipo que participarán en el proyecto.

Además, la dirección debe tener en cuenta los aspectos tecnológicos, como la disponibilidad y la madurez de la tecnología necesaria para su ejecución, y el uso esperado en proyectos posteriores. Los factores ambientales relacionados con las regulaciones del gobierno, mercados potenciales, y la competencia, deberán analizarse en esta fase.

1.2.1.2 Ingeniería Básica

Esta fase está constituida por un conjunto de información, unido a los criterios de preferencia de operación y mantenimiento condicionado eventualmente por los equipos que se utilizaran.

En esta etapa del desarrollo del proyecto se deben determinar los factores que influyen en el proyecto ejecutivo, y que permitirán desarrollarlo sin pérdidas de tiempo; este es el momento en que se deben determinar las condiciones ambientales, la hipótesis de cálculo a utilizar, y en particular las normas, los coeficientes de seguridad o los valores aceptables si se aplican criterios probabilísticos.

La Ingeniería Básica se dice que es correcta cuando el proyecto definitivo viene a confirmar las propuestas básicas que se plantean inicialmente. Los objetivos de la fase de Ingeniería Básica son los siguientes:

- Seleccionar la solución más conveniente.
- Desarrollarla y definirla.
- Mejorar los diseños previos.
- Conocer la rentabilidad del proyecto.

Se dice que la fase de Ingeniería Básica es la más creativa y, por tanto, la más difícil de llevar a cabo. Por ello, se responsabilizan de ella los mejores expertos de la organización y se ponen a su disposición todos los recursos necesarios.

Algunas partes del proyecto quedan totalmente desarrolladas (proceso de producción y distribución en planta de una industria), pero otras (cálculos de elementos constructivos) no llegan más que a plantearse. La exactitud que se requiere es bastante más elevada que en la fase de Estudio de Viabilidad.

Define los lineamientos generales e ideas básicas del proyecto. Estas ideas y definiciones del proyecto son los pilares en que se basará la ingeniería de detalle, para la ejecución de los planos constructivos. La ingeniería básica es desarrollada por un grupo pequeño de ingenieros (en comparación con la ingeniería de detalle que requiere de muchos especialistas), que elaboran planos, especificaciones técnicas, y si corresponde, la documentación de licitación.

La ingeniería básica está integrada por el llamado “Paquete de Ingeniería Básica”.

El paquete de ingeniería básica está integrado principalmente por:

1. Bases de diseño
2. Diagrama de flujo de proceso
3. Descripción del proceso
4. Balance de materia y energía
5. Hojas de datos de equipo

6. Filosofía de operación
7. Criterios de diseño
8. Diagramas de flujo de servicios auxiliares
9. Diagramas de tubería e instrumentación de proceso
10. Diagramas de tubería en instrumentación de servicios auxiliares
11. Índice de servicios
12. Lista de líneas
13. Especificación de tuberías
14. Plano de localización general de equipo
15. Manual de operación

1.2.1.3 Ingeniería de detalle

La Ingeniería de Detalle o Diseño de Detalle es la fase en la que quedan definidos todos y cada uno de los subsistemas, componentes o partes que integran el proyecto, de tal manera que los documentos que lo desarrollan han de ser suficientes para llevarlo a la construcción, ya sea bajo la dirección de los mismos proyectistas o por otro equipo de ingeniería distinto.

La fase de Ingeniería de Detalle se diferencia de las demás fases creativas porque, así como en las otras fases los objetivos son los de analizar el problema y definir las soluciones más adecuadas, en esta fase, esas soluciones deben concretarse en respuestas únicas que han de describirse en su totalidad y con el detalle necesario para su posterior transformación en una realidad. En este sentido la precisión que se requiere es alta, no permitiéndose errores importantes ni valores estimativos, aunque en ocasiones no es posible disponer de toda la información que garantice una elevada fiabilidad en los resultados del proyecto. En general, se puede considerar que un proyecto está bien calculado y diseñado en detalle cuando las desviaciones entre el presupuesto de inversión estimado y la inversión real que resulta tras la construcción del objeto del proyecto no son superiores a un 5%.

Los objetivos esta fase son los siguientes:

- ✓ Comprobar y confirmar y, si procede, modificar las hipótesis y soluciones del diseño básico.
- ✓ Suministrar toda la información técnica, económica y legal al promotor.
- ✓ Suministrar los datos técnicos, planes constructivos y condiciones en que debe fabricarse (o construirse) el objeto del proyecto.
- ✓ Servir de documento de gestión en aquellos casos en los que el anteproyecto o diseño básico es insuficiente o no existe. Por ejemplo: los documentos que deben presentarse para dar de alta a la empresa en Industria o para solicitar la licencia de actividad.

1.2.1.4 Ingeniería de Procura

La cuarta fase del ciclo de vida del proyecto consiste en la ejecución de los planes, esta fase discurre con la acción paralela de dos protagonistas diferentes: el contratista cuya actividad principal es la realización material del proyecto; y el jefe de proyecto, quien se va a encargar de supervisar las actividades del contratista con el objetivo de garantizar lo siguiente:

- ✓ El nivel de calidad esperado
- ✓ El cumplimiento de plazos establecidos.
- ✓ El cumplimiento de las previsiones

La ingeniería de procura también comprende la especificación del equipo los materiales de las nuevas instalaciones, así como los trámites para su correspondiente adquisición. La generación de la documentación técnica se establece a partir de la información generada en la Ingeniería Básica y la Ingeniería de Detalle.

Normalmente la actividad de procura tiene la siguiente secuencia de actividades:

- Preparación de la requisición o solicitud de cotización.
- Trámites de envío a proveedores.
- Elaboración de tabulaciones técnico-comerciales.
- Preparación y trámite de órdenes de compra.
- Dictamen técnico correspondiente.
- Expedición, que se lleva a cabo con el fin de vigilar a los diferentes proveedores de equipos y materiales, desde que se colocan los pedidos hasta que los materiales han sido surtidos.
- Inspección, se trata de examinar que los productos adquiridos han sido fabricados de acuerdo a las especificaciones técnicas establecidas en la Ingeniería Básica. En la inspección se vigila principalmente, la calidad de los materiales de construcción, el empleo de mano de obra calificada, el cumplimiento de códigos de construcción, concordancia entre la información contenida en los planos de diseño y las características del equipo entregado; también es de su incumbencia vigilar la ejecución de pruebas de calidad.
- Tráfico, se supervisa el embarque y traslados del taller de fabricación al sitio de instalación de los equipos y materiales cuando han sido aprobados por el equipo de inspección; gracias a este grupo se evita el contrabando, evasión de impuestos y se protege a la industria nacional.

La elaboración de las tabulaciones técnico-comerciales y la inspección son de suma importancia en el caso de equipo de proceso e instrumentos, y debido a eso se debe involucrar a personal técnico especializado.

Normalmente la Ingeniería de Procura la efectúa una firma de ingeniería y el cliente se encarga del aspecto financiero y de autorización de las adquisiciones, sin embargo el cliente puede hacer todos los trámites de procura y la firma de ingeniería solamente prepara las requisiciones para concurso.

1.2.1.5 Fase de Terminación (Construcción, pruebas y arranque).

Lo que se obtiene de esta fase es un proyecto listo para empezar a operar o funcionar, las actividades que se llevan a cabo son las siguientes:

- I. La elaboración del manual del gerente para la ejecución del proyecto.
- II. El proceso de contrataciones de empresas o consultores.
- III. La realización del proyecto, es decir, la construcción de las obras físicas que requiere el proyecto, las pruebas y el arranque de la planta.
- IV. La recepción de las obras del proyecto, si el proyecto se ha ejecutado a través de la contratación de empresas privadas.

Esta fase reúne todas las acciones para llevar a la práctica el proyecto especificado en los documentos que fueron generados en las fases anteriores y en los diseños finales, y al que se le asigno recursos con el fin de concretar los beneficios netos estimados. Por esta razón, es la fase que más interesa desde la perspectiva política del proyecto, pues se comienza a emplear los recursos financieros y a lograr algunos objetivos como la compra de materiales. En la inversión, generalmente se utilizan recursos financieros para:

- La contratación y capacitación de la mano de obra.
- La compra de la maquinaria y el equipo.
- La compra de terrenos.
- La compra de los materiales.
- El desarrollo de pruebas y ensayos de investigación preliminares.
- La construcción de la infraestructura y la instalación de los equipos, entre otros.
- Pruebas y arranque de la planta

1.2.2 Características de las Fases del Ciclo de Vida del Proyecto

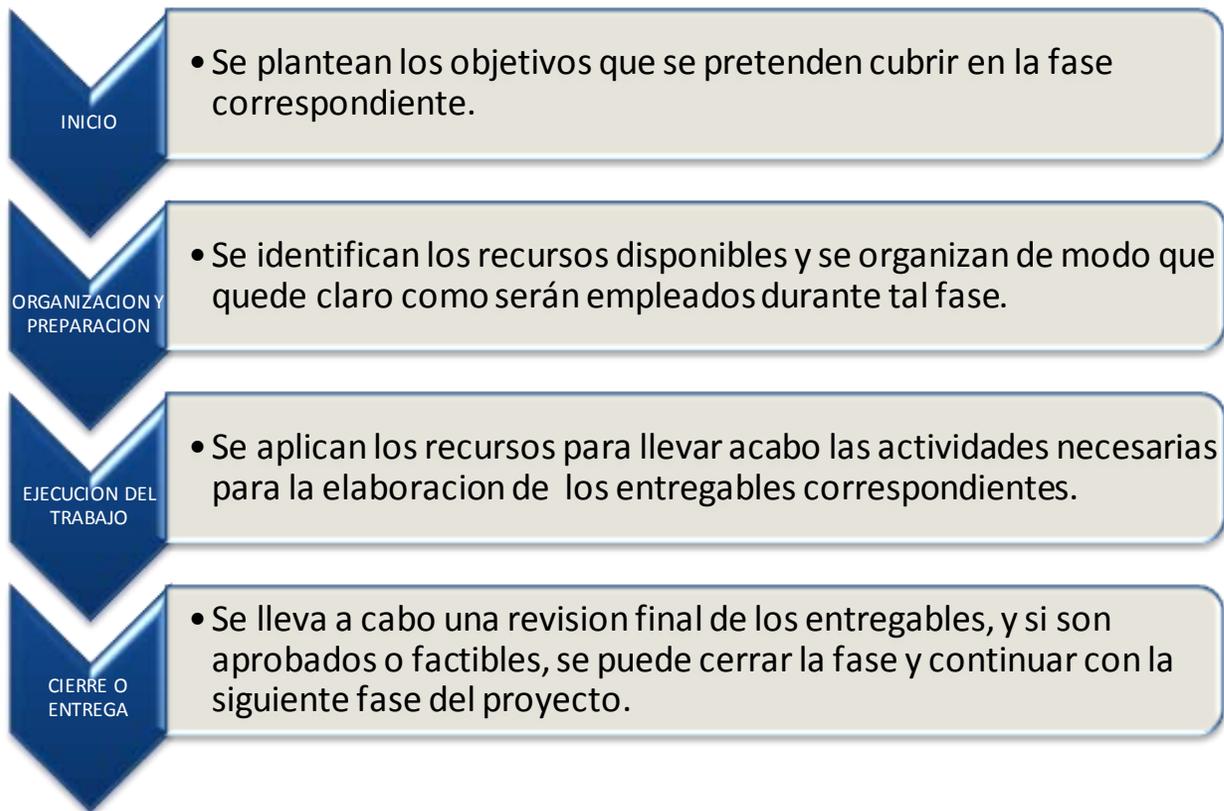
La conclusión y la aprobación de uno o más productos entregables caracterizan a una fase del proyecto. Un producto entregable es un producto de trabajo que se puede medir y verificar, tal como una especificación, un informe del estudio de viabilidad, un documento de diseño detallado o un prototipo de trabajo. Algunos productos entregables pueden corresponder al mismo proceso de dirección de proyectos, mientras que otros son los productos finales o partes de los productos finales para los cuales se creó el proyecto. Los productos entregables, y en consecuencia las fases, son parte de un proceso generalmente secuencial, diseñado para asegurar el adecuado control del proyecto y para obtener el producto o servicio deseado, que es el objetivo del proyecto.

En cualquier proyecto específico, las fases se pueden subdividir en sub-fases en función del tamaño, complejidad, nivel de riesgo y restricciones del flujo de caja. Cada sub-fase se alinea con uno o más productos entregables específicos para el seguimiento y control. La mayoría de estos productos entregables de las sub-fases están relacionados con el producto entregable final, y las fases normalmente toman el nombre de estos productos entregables de las sub-fases: requisitos, diseño, construcción, prueba, puesta en marcha, rotación, entre otros, según corresponda.

Por lo general, una fase del proyecto concluye con una revisión del trabajo logrado y los productos entregables, a fin de determinar la aceptación, tanto si aún se requiere trabajo adicional como si se debe considerar cerrada la fase. Con frecuencia, la dirección lleva a cabo una revisión para tomar una decisión a fin de comenzar las actividades de la siguiente fase sin cerrar la fase actual.

Se debe realizar una revisión al final de cada fase con el objetivo explícito de obtener la autorización para cerrar la fase actual e iniciar la fase posterior. En ocasiones, se pueden obtener ambas autorizaciones en una sola revisión. Las revisiones al final de cada fase son también conocidas como: salidas de fase, entradas a la fase o puntos de cancelación. Las sub-fases que se encuentran dentro de cada fase del proyecto son:

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS



Es importante mencionar que las etapas o sub-fases mencionadas anteriormente están presentes en cada una de las fases del proyecto, es decir, esas cuatro etapas deben llevarse a cabo en cada una de las fases del ciclo de vida del proyecto. Dentro del contexto de la estructura genérica un director del proyecto puede determinar la necesidad de un control más efectivo sobre ciertos entregables. En particular, los proyectos grandes y complejos pueden requerir un mayor nivel adicional de control.

1.3 DESARROLLO DE LA INGENIERIA BASICA DE PLANTAS INDUSTRIALES

Cuando se profundiza en un tipo concreto de diseño se observa que no se puede utilizar la misma metodología en unos casos que en otros ya que aparecen diferencias apreciables en su desarrollo. Por ello, se plantea la micro-estructura de la Ingeniería Básica correspondiente a plantas industriales:

1.3.1 Recopilación de antecedentes y revisión de la información

Esta etapa se centra en la recopilación de toda la información generada por el proyecto desde su inicio. Esta información, en posesión del promotor y/o de la ingeniería, puede ser distinta como el pliego de condiciones del proyecto, estudios de mercados, estudios de localización, información económica y financiera, presupuestos y estudios realizados por los proveedores, etc.; u otros proyectos que traten aspectos coincidentes o de interés, así como leyes, normas y reglamentos relacionados con el proyecto. Se analiza toda esta información para determinar su fiabilidad y si es suficiente para iniciar la Ingeniería Básica. Si no es así, se deben completar aquellas etapas del Estudio Preliminar que sea necesario revisar.

1.3.2 Organización de las actividades de Ingeniería Básica

Con la información que suministra la “programación” establecida en la fase de Ingeniería Conceptual, se planifican las actividades de la Ingeniería Básica, fijando el plazo de ejecución, el equipo de trabajo, los responsables de llevar a cabo las distintas etapas y el presupuesto del estudio.

1.3.3 Estudio de mercado

Según las características de la empresa y de los productos a fabricar el estudio de mercado será más o menos complejo. En general, será conveniente que sea realizado por una empresa especializada. En esta fase, el estudio de mercado debe ser lo más fiable posible ya que servirá de base para determinar la producción de la planta e influirá sobre su localización. El estudio de mercado debe incluir un análisis detallado de los productos a fabricar, la evolución de las ventas y las tendencias de los diseños, así como información suficiente sobre las características de la competencia, con las cuotas de mercado que ocupan las principales industrias del sector, centros de producción, mercados exteriores, patentes en explotación, tecnologías utilizadas, ayudas fiscales y financieras, etc.

1.3.4 Producción de la planta

Se analiza la información obtenida del Estudio Preliminar y en el estudio de mercados y se selecciona el producto o serie de productos a fabricar y su cantidad teniendo en cuenta los factores variables que más pueden influir tales tecnologías existentes, aspectos económicos y financieros, etc.

1.3.5 Selección del proceso y elaboración detallada

Se estudian los distintos procesos identificados en el Estudio Preliminar o Ingeniería Conceptual y se selecciona el más conveniente, teniendo en cuenta sus características tanto técnicas como económicas. A partir de esta decisión, se constituye el diagrama de flujo de proceso detallado y se determina un balance de materia y energía lo más exacto posible. Ello obliga a conocer los productos a fabricar en profundidad.

1.3.6 Petición de ofertas

Con los datos del estudio del proceso, el proyectista puede elaborar una lista de maquinaria y de bienes de equipo que va a necesitar en el proceso y debe contactar a los principales proveedores y fabricantes de los que recabará información técnica y económica y todas aquellas características que sean necesarias. Algunas veces, el fabricante llega a informar de la solución más conveniente para la distribución en planta lo que puede representar una ayuda considerable. En otras ocasiones, se necesita diseñar alguna máquina o instalación que no existe en el mercado, lo que representa un esfuerzo suplementario para la ingeniería o para el equipo.

1.3.7 Localización de la planta

Se analiza la información obtenida en el Estudio Preliminar y si se estudian varias áreas geográficas para que se pueda seleccionar la más adecuada. A partir de aquí se busca un emplazamiento específico, y junto con el promotor, se elige aquel que mejor cumpla con las posibles restricciones de tipo económico, financiero, legal, transporte, mano de obra, clima, mercado, etc. Esta es una de las etapas fundamentales de la Ingeniería Básica para una Planta Industrial.

1.3.8 Distribución en planta

El nivel de dificultad de esta etapa varía mucho de unos proyectos a otros, pero en ella se detectan los conocimientos técnicos y la capacidad creativa del equipo que desarrolla la Ingeniería. La distribución en la planta debe quedar perfectamente definida. Si no existe una gran experiencia previa conviene seguir algún método existente. El Layout o Plano de Localización General (PLG) definitivo debe ser discutido por el equipo de proyectos con el promotor y se debe analizar cada una de las partes del sistema, valorando los recorridos, los elementos de mantenimiento, los espacios muertos, etc. Deben realizarse planos a escala, así como la construcción de maquetas cuando la complejidad en cuanto al espacio es alta. Esta etapa implica generalmente, la ubicación casi definitiva de los equipos a utilizar en planta. Un buen Layout debe prever los posibles cambios futuros, producidos por ampliaciones, cambios de tecnologías u otros.

1.3.9 Definición de las soluciones constructivas

Definido el proceso y su distribución en planta, el proyectista debe definir cuáles son las características que deben reunir las edificaciones necesarias para albergar el proceso. Además, se deben tener presentes otras exigencias como: propuestas del promotor, dimensiones y orientación del sol, costos, posibles ampliaciones, medio ambiente, clima, resistencia del terreno, etc.

1.3.10 Presupuesto de inversión

El presupuesto de inversión puede llegar a un mayor grado de detalle que el del Estudio de Viabilidad puesto que ya se tiene bastante información sobre los elementos principales que han sido estudiados y seleccionados y se posee información de los fabricantes de equipos, en algunos casos, en forma de ofertas. Además, la experiencia del personal que realiza la ingeniería y la del promotor pueden permitir definir el presupuesto con error inferior al 15% del presupuesto final del proyecto.

1.3.11 Presupuesto de operación

En esta parte se analiza la evolución de la producción durante los primeros años y se toma en cuenta como irá variando el nivel de producción hasta alcanzar su máximo rendimiento, se calcula el presupuesto de operación de cada uno de los años de su vida útil a partir de la estimación de ingresos y costos anuales. Como mínimo, se construirán los gráficos del punto de equilibrio para cada año y, si es posible, se aplicará el método de los flujos de caja.

1.3.12 Análisis financiero

Con los datos obtenidos en las etapas anteriores y con la información suministrada por el promotor o gestionada por la ingeniería, se realiza un análisis financiero fijando las fuentes de financiamiento e incluso, preparando la documentación necesaria para la solicitud de préstamos, líneas de crédito y ayudas de organismos e instituciones de carácter local, nacional o comunitario. Esta etapa suele realizarse conjuntamente entre el promotor y la ingeniería, aportando cada uno su experiencia en relaciones para obtener los mejores resultados.

1.3.13 Programación del proyecto

Se construye, al menos, un gráfico de Gantt que incluye todas las actividades, su duración y los recursos a emplear en cada actividad a desarrollar durante la fase de Ingeniería de Detalle, e incluso, durante la fase de Construcción y Puesta en Marcha. En otros casos se aplican métodos más sofisticados como el método PERT o CPM, sobre todo, cuando las fases de Ingeniería de Detalle y Construcción se realizan de manera simultánea.

1.3.14 Reunión y discusión

Se convocan y realizan reuniones con los responsables principales que han intervenido en la Ingeniería Básica para intercambiar opiniones y tomar decisiones definitivas. En esta etapa, el número de reuniones a celebrar depende de la complejidad del proyecto.

1.3.15 Revisión

Esta etapa consistirá en la revisión de la Ingeniería Básica elaborada. La ingeniería aportará su experiencia aclarando el trabajo presentado de modo que se debe decidir si seguir adelante o no con el proyecto.

1.3.16 Redacción de la documentación de la Ingeniería Básica

Se suele elaborar un documento en el que se recogen todos los datos e información generada durante esta fase del proyecto. El índice genérico de este documento la mayoría de las veces suele ser el siguiente:

1.3.16.1 Objetivo de la Ingeniería Básica:

- ✓ Antecedentes.
- ✓ Descripción breve del producto o servicio.
- ✓ Nombre del promotor.
- ✓ Métodos de trabajo utilizados.
- ✓ Equipo humano que ha participado.
- ✓ Medios empleados.
- ✓ Precisión estimada de trabajo.

1.3.16.2 Justificación por motivos:

- ✓ Tecnológicos
- ✓ Económicos
- ✓ Financieros
- ✓ Legales
- ✓ Medioambientales
- ✓ Sociales, etc.

1.3.16.3 Estudio de mercados

- ✓ Descripción del producto.
- ✓ Usos.
- ✓ Antecedentes.
- ✓ Nivel de desarrollo.
- ✓ Competencia.
- ✓ Producción deseada.

1.3.16.4 Proceso de fabricación

- ✓ Esquema de proceso.
- ✓ Diagrama de flujo.
- ✓ Balance de materia y energía.

- ✓ Descripción del proceso.

1.3.16.5 Localización de la planta

- ✓ Justificación de la localización exponiendo el método empleado y su aplicación.
- ✓ Plano de ubicación.

1.3.16.6 Distribución en planta

- ✓ Plano detallado de la solución.
- ✓ Justificación del Layout exponiendo el método empleado y su aplicación.
- ✓ Descripción de la maquinaria y de las instalaciones.
- ✓ Características básicas de las construcciones.

1.3.16.7 Organización

- ✓ Organigrama de la empresa.
- ✓ Mano de obra indirecta.

1.3.16.8 Estudio Económico

- ✓ Presupuesto de inversión.
- ✓ Presupuesto de explotación.
- ✓ Proyección a los primeros años de funcionamiento.
- ✓ Rentabilidad. Beneficios.
- ✓ Recursos financieros.
- ✓ Ratios económicos.

1.3.16.9 Programación

- ✓ Propuesta de programación de las fases secuencial

1.4 TIPOS DE FLUIDOS USADOS EN LA INDUSTRIA QUÍMICA, INDUSTRIA PETROQUÍMICA Y DE REFINACIÓN Y SU RELACION CON LOS MATERIALES

Un fluido es una sustancia incapaz de resistir una fuerza aplicada o esfuerzos de corte, sin deformarse, por muy pequeño que sea este esfuerzo. Los fluidos se clasifican en 2 tipos:

- a) **LIQUIDOS:** Son los que están sometidos a fuerzas intermoleculares que lo mantienen unido de tal manera que su volumen está definido pero su forma no. Los líquidos son ligeramente compresibles ya que su densidad varía dependiendo de las condiciones de temperatura y presión a las que se encuentre.
- b) **GASES:** Estos fluidos constan de partículas en movimiento que chocan entre sí, por lo tanto tratan de dispersarse de tal modo que no tienen ni forma ni volumen definido.

Los fluidos, como todos los materiales, tienen propiedades físicas que permiten caracterizar y cuantificar su comportamiento así como distinguirlos de otros, algunas propiedades son exclusivas de los fluidos y otras son típicas de todas las sustancias. Propiedades como la viscosidad, tensión superficial y presión de vapor solo se pueden definir en los líquidos y gases; sin embargo la masa específica, el peso específico y la densidad son atributos de cualquier materia.

TABLA 1-1 Propiedades de los fluidos en general

PROPIEDAD	DEFINICION
Estabilidad	La velocidad en cualquier punto del flujo se mantiene constante respecto al tiempo
Turbulencia	Debido a la rapidez del flujo en que se desplaza, este se vuelve irregular, es decir, se caracteriza por pequeñas regiones que se asemejan a torbellinos
Viscosidad	Es una medida de la resistencia del fluido al corte, cuando el fluido está en movimiento.
Densidad	Es la relación entre la masa y el volumen que ocupa, es decir, la masa por unidad de volumen.
Volumen específico	Es el volumen que ocupa el fluido por unidad de peso.
Peso específico	Corresponde a la fuerza con que la tierra atrae a una unidad de volumen
Gravedad específica	Indica la densidad de un fluido respecto a la densidad del agua a temperatura estándar.
Corrosión	Es una propiedad de los fluidos capaz de disminuir la resistencia o ductilidad del material con el que este en contacto.

1.4.1 Clasificación de los fluidos de acuerdo a la viscosidad

Durante muchos años ha sido de gran interés de los científicos e ingenieros, el movimiento de cierto tipo de fluidos cuyo comportamiento de flujo está bien descrito por las ecuaciones de Navier-Stokes. Se trata, en general, de fluidos estructuralmente simples y de bajo peso molecular; existen sin embargo, otro tipo de sustancias que presentan mecánica de flujo diferente y que requieren métodos de estudios alternativos.

Siendo así, se tiene una clasificación de los fluidos, de acuerdo a la viscosidad de cada fluido:

- A. FLUIDOS NEWTONIANOS:** la interpretación moderna de la ley de viscosidad de Newton establece la proporcionalidad. Son aquellos en los que el deslizamiento relativo de los elementos de fluido al circular uno sobre otro es proporcional al esfuerzo cortante sobre el fluido como se muestra en la FIGURA 3-1. Todos los gases, agua líquida y líquidos de moléculas sencillas como: amoníaco, alcohol, benceno, petróleo, cloroformo, butano, etc. son fluidos newtonianos.

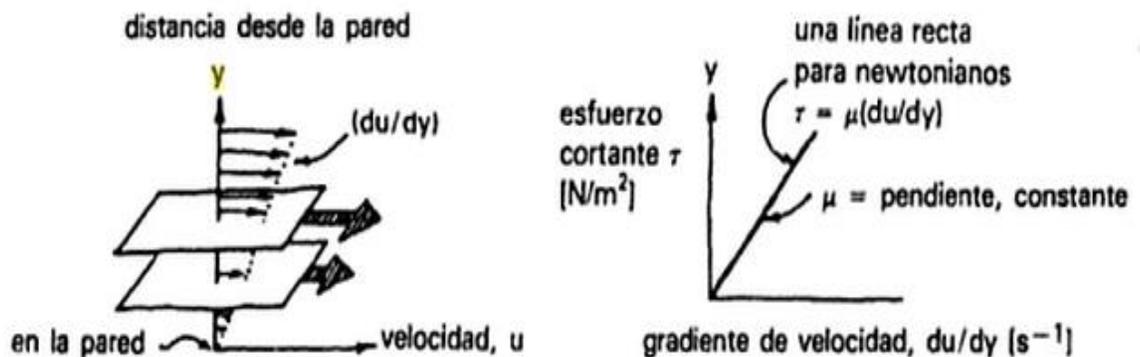


FIGURA 3-1 Representación de un fluido newtoniano

- B. FLUIDOS NO NEWTONIANOS:** Se les denomina así debido a que la relación entre tensión y velocidad de deformación no es proporcional. Las suspensiones densas, lodos, emulsiones, soluciones de polímeros de cadena larga, fluidos biológicos, alimentos líquidos, pinturas, suspensiones de arcillas y mezclas de hormigón son, en general, fluidos no newtonianos. Otro ejemplo de los fluidos no newtonianos son los fluidos utilizados en la técnica de fractura de los pozos de petróleo que se aplica para aumentar la producción de los mismos. Consiste en una solución de agua con materiales que constituyen un fluido de alta densidad en el que permanecen en suspensión arena, vidrio y hasta esferas metálicas.

Los fluidos no newtonianos a su vez se clasifican en dos categorías, los fluidos dependientes del tiempo y los fluidos que no dependen del tiempo, esto es porque los fluidos no siguen la relación de proporcionalidad entre tensiones tangenciales y velocidades de deformación.

B.1) FLUIDOS QUE DEPENDEN DEL TIEMPO

- **SEUDOPLÁSTICOS O TIXOTROPICOS:** La gráfica del esfuerzo cortante contra el gradiente de velocidad queda por arriba de la línea recta de los fluidos newtonianos, como se observa en la FIGURA 4-1. La curva comienza con mucha pendiente, lo cual indica una viscosidad elevada, después la pendiente disminuye con el incremento del gradiente de velocidad. Ejemplos de estos fluidos son el plasma sanguíneo, polietileno fundido, látex, almibares, adhesivos, melazas y tintas.
- **FLUIDOS DILATANTES:** Como se observa en la FIGURA 4-1 la curva comienza con poca pendiente, lo cual indica que la viscosidad es aparentemente baja, después la pendiente incrementa conforme crece el gradiente de velocidad. Los fluidos de este tipo son los compuestos acuosos con concentraciones altas de sólidos como el almidón de maíz en etilenglicol, almidón en agua y el dióxido de titanio que se usa como un ingrediente en las pinturas.
- **FLUIDOS DE BINGHAM:** Estos fluidos requieren de la aplicación de un nivel significativo de esfuerzo cortante antes de que comience el flujo, como se observa en la FIGURA 4-1. Una vez que el flujo se inicia, la pendiente de la curva es lineal, lo que significa aparentemente que la viscosidad de estos fluidos es constante. Entre los fluidos de Bingham encontramos al chocolate, salsa cátsup, mostaza, mayonesa, pasta de dientes, pinturas, asfalto, suspensiones de agua y ceniza o fango del drenaje.

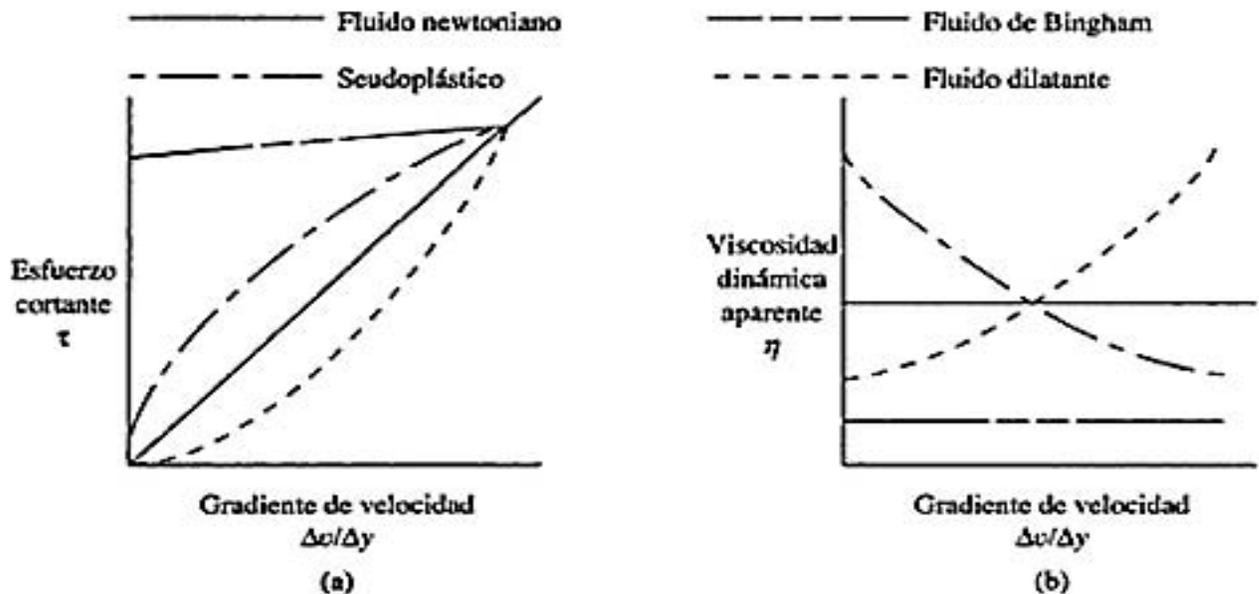


FIGURA 4-1 Fluidos Newtonianos y No Newtoniano

B.2) FLUIDOS QUE NO DEPENDEN DEL TIEMPO

- *FLUIDOS ELECTORREOLOGICOS*: Están en desarrollo los fluidos que poseen propiedades únicas, controlables por medio de la aplicación de una corriente eléctrica, estos fluidos son suspensiones de partículas finas como almidón, polímeros y cerámicas, en un aceite no conductor (como el aceite mineral o de silicón), que al aplicarles corriente eléctrica estos se convierten en un gel y se comportan más bien como un sólido. Algunas aplicaciones potenciales de estos fluidos las encontramos en la sustitución de válvulas convencionales, en embragues, en sistemas de suspensión para vehículos, maquinaria y en actuadores automáticos.
- *FLUIDOS MAGNETORREOLOGICOS*: Son similares a los fluidos electrorreológicos y contienen partículas suspendidas en una base de fluido, sin embargo en este caso las partículas son polvos finos de hierro. El fluido base puede ser un aceite de petróleo, de silicón o agua. Cuando no hay un campo magnético presente, el fluido se comporta como otros fluidos, pero con una viscosidad que varía entre $0.2 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ y $0.3 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ a 25°C . La presencia de un campo magnético hace que el fluido se convierta, virtualmente, en un sólido tal que soporte un esfuerzo cortante de hasta 100 kPa . Entre las aplicaciones de estos fluidos están en amortiguadores de choques, embragues, frenos, amortiguadores de vibración, válvulas servo y en dispositivos de freno y bloqueo.

1.4.2 La Industria Química y la Industria Petroquímica

Aunque el uso de productos químicos se remonta a las antiguas civilizaciones, la evolución de la Industria Química moderna inició en tiempos más recientes ya que puede considerarse que comenzó durante la revolución industrial, cerca del año 1800, y se desarrolló para proporcionar productos químicos a otras industrias. Por ejemplo los alcalinos para la fabricación de jabón, el blanqueador en polvo para el algodón, la sílice y carbonato de sodio para la fabricación de vidrio, etc., todos estos son productos químicos inorgánicos. La industria de productos químicos orgánicos se inició en la década de 1860 con el descubrimiento de William Perkin el cual obtuvo el primer colorante sintético de color malva.

Desde 1940 la Industria Química ha crecido a un ritmo notable, aunque esto ya se desaceleró significativamente en los últimos años. Una de las principales razones del rápido crecimiento de la Industria Química en el mundo del desarrollo, ha sido su gran compromiso, y la inversión en investigación y desarrollo que se ve reflejada en que es una industria que aprovecha la tecnología al máximo con los últimos avances en la electrónica y la ingeniería. Las computadoras, por ejemplo, son ampliamente utilizadas para todo tipo de aplicaciones, para el control automático de plantas químicas, para la modelización molecular de las estructuras de los nuevos compuestos, para el control de los instrumentos de análisis en el laboratorio, entre otras.

Hoy en día el tamaño de la Industria Química es el resultado de las actividades de investigación y desarrollo que generaron nuevos productos y procesos, que concibieron un rápido crecimiento de la

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

industria. A lo largo de los años, el énfasis de la investigación y el desarrollo pasó de la investigación básica dirigida a los nuevos productos químicos y sus usos, a la optimización de productos y procesos existentes. Actualmente, la investigación y el desarrollo sustancial se dirigen hacia la solución de problemas relacionados con el medio ambiente y para la satisfacción de las leyes gubernamentales.

Los sectores más importantes en los que se involucra la industria química se enlistan a continuación:

1. Productos químicos inorgánicos
2. Petroquímica
3. Resinas sintéticas y plásticos
4. Fibras textiles
5. Caucho sintético
6. Productos farmacéuticos y medicamentos
7. Jabones, detergentes y cosméticos
8. Pintura, barnices y tintas de impresión
9. Fertilizantes y otros productos químicos agrícolas
10. Adhesivos y selladores
11. Colorantes y pigmentos
12. Papel
13. Vidrio

La parte de la química orgánica ha crecido debido al desarrollo y crecimiento de la industria petroquímica desde 1950, el crecimiento explosivo de la petroquímica en los años de 1960 y 1970 se debió en gran parte al enorme aumento de la demanda de polímeros sintéticos como resinas de polietileno, polipropileno, nylon, poliéster y resinas epóxicas.

Los productos químicos que son derivados del petróleo o del gas natural, se les da el nombre de petroquímicos, comprenden alrededor del 55% del total de los productos químicos producidos. Muchas otras Industrias Químicas importantes como pinturas, adhesivos, aerosoles, insecticidas y productos farmacéuticos pueden incluir uno o más productos petroquímicos dentro de sus operaciones de fabricación.

La Petroquímica en general es un conjunto de compuestos y polímeros derivados directa o indirectamente de petróleo y utilizados en el mercado de productos químicos. Entre los principales productos petroquímicos tenemos a la fibra sintética, el caucho sintético, detergentes y fertilizantes nitrogenados, etc. La industria petroquímica se basa principalmente en tres tipos de productos intermedios, que se derivan de las materias primas. Estas son las olefinas C_2-C_4 , los hidrocarburos aromáticos C_6-C_8 , y gas de síntesis (una mezcla de H_2 y CO_2). Los productos intermedios pueden ser compuestos de hidrocarburos ligeros como el metano y el etano, o mezclas de hidrocarburos más pesados como un aceite de nafta o gas, tanto la nafta y gasóleo son fracciones de petróleo crudo con diferentes puntos de ebullición.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

La Industria Petroquímica tiene un número relativamente pequeño de materias primas naturales las cuales principalmente son el petróleo, el gas natural, la piedra caliza y la sal, que por transformación química o reacciones químicas las convierten en miles de productos químicos intermedios; es de suma importancia tener en cuenta que el valor agregado en cada etapa del proceso y del producto final que puede tener un valor muchas veces mayor a la de las materias primas que se utilizaron al principio.

Aunque las materias primas básicas para la Petroquímica son el gas natural y el petróleo crudo, otros hidrocarburos, como el carbón, petróleo de esquisto bituminoso y las arenas bituminosas se pueden procesar para producir estas sustancias químicas. El carbón, el petróleo de esquisto bituminoso y las arenas bituminosas son materias primas carbonosas complejas y las posibles fuentes de energía y químicas futuras, sin embargo, deben ser objeto de tratamiento largo y extenso antes de que se produzcan los combustibles y productos químicos similares a los producidos a partir de aceites crudos (sustituto SNG gas natural) y crudos sintéticos a partir del carbón, tal como la arena y el esquisto bituminoso).

Las industrias química y petroquímica tienen muchos desafíos comunes a otro tipo de industrias en relación al uso de materiales y al mantenimiento de equipos, estructuras e instalaciones industriales. Sin embargo tienen una particularidad esencial consistente en que los productos que manejan y el ambiente en el que se desarrollan someten a los materiales a unas condiciones especialmente exigentes. El problema de la corrosión surge así de forma prácticamente inevitable, de modo tal que el control de la corrosión y de sus consecuencias, mediante la adecuada selección de materiales, la determinación de periodos de inspección y el establecimiento de criterios de aceptación o rechazo de equipos puestos en servicio, suponen una condición imprescindible para la adecuada gestión de la seguridad y de la propia eficiencia económica de estos sectores industriales.

Desde un punto de vista de la corrosión, los factores que influyen en la vida útil de un equipo, como un intercambiador de calor, un reactor, las tuberías, etc. son principalmente los siguientes:

- Diseño
- Materiales de construcción
- Especificación
- Control de fabricación y la calidad
- Operación
- Mantenimiento
- Condiciones ambientales

Estos factores de diseño y los materiales son de gran importancia para poder conseguir el rendimiento y la duración deseada de los equipos de proceso y de las tuberías, es por eso que el Diseñador y el Ingeniero de Materiales deben trabajar en estrecha colaboración para garantizar que no se produzca un fallo prematuro debido a defectos de diseño o a una selección de material inadecuado.

1.4.3 Corrosividad en la Industria Petroquímica y Tipos de Corrosión

La corrosión es un problema en el medio ambiente y en las industrias, en particular en la Industria Petroquímica y los ambientes marinos y costeros. Esto ocurre debido a que las características físicas, químicas, biológicas, mecánicas, térmicas y corrosivas de los fluidos manejados en esta industria afectan la resistencia a la corrosión de los elementos de la infraestructura industrial y civil.

El gas natural, por ejemplo, es distribuido y utilizado principalmente como combustible para la generación de electricidad, uso doméstico e industrial, carburación en transportes y como materia prima en la producción de materiales plásticos. Aunque se considera una energía limpia y amigable con el medio ambiente ya que tiene emisiones de dióxido de azufre, óxido nitroso y dióxido carbono muy bajas; este se obtiene de pozos de petróleo en tierra y en alta mar, perforados y producidos en plataformas marinas; se transporta a la costa por tuberías submarinas de acero inoxidable y por lo general, se extrae junto con agua salada y con gases corrosivos: principalmente ácido sulfhídrico (H_2S) y dióxido de carbono (CO_2). El componente principal del gas natural es el metano (CH_4) pero además contiene otros hidrocarburos ligeros.

TABLA 2-1 Composición típica del Gas Natural

NOMBRE	FORMULA	VOLUMEN %
Metano	CH_4	>85
Etano	C_2H_6	3-8
Propano	C_3H_8	1-2
Butano	C_4H_{10}	<1
Pentano	C_5H_{12}	<1
Dióxido de Carbono	CO_2	1-2
Ácido Sulfhídrico	H_2S	<1
Nitrógeno	N_2	1-5
Helio	He	<0.5

La corrosión sucede en el interior de los ductos de transporte de hidrocarburos, donde el dióxido de carbono está presente (comúnmente denominada “corrosión dulce”), constituye un serio problema para

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

la industria, debido a que cuando el CO_2 se disuelve en agua, el ácido carbónico (H_2CO_3) que se forma por hidratación del CO_2 llega a ser altamente corrosivo. No obstante que los hidrocarburos líquidos o gaseosos que se transportan en ductos son sometidos a diversos tratamientos para eliminar impurezas, estos aún conservan algunos contaminantes que pueden afectar la integridad física de los ductos por diferentes procesos de corrosión (CO_2 , H_2S , microorganismos, etc.)

La industria del gas natural es una parte vital de la industria del petróleo, y ambos sectores son primordiales de la infraestructura de una nación. Estos sectores sufren de problemas críticos relacionados con corrosión, puesto que los contaminantes aceleran la corrosión y los productos de corrosión, como el óxido que contamina el agua. Esta situación obliga a desarrollar y aplicar ingeniería y tecnología de anticorrosión utilizando métodos y técnicas de prevención, protección, monitoreo y control de la corrosión.

Estos problemas han causado la implementación de diversos métodos para el control del fenómeno; estos métodos incluyen el sobre diseño, el uso de materiales resistentes a la corrosión, la modificación del medio agresivo y el uso de inhibidores de corrosión

La corrosión es el parámetro más fácil de evaluar y monitorear y esto hace que la selección de los materiales sea más sencilla. Si un material muestra un daño no tan grave debido a una tasa de corrosión baja, la contaminación del fluido de proceso es insignificante y si todos los demás factores, tales como costos, disponibilidad y facilidad de fabricación, son favorables, entonces es el material adecuado para cubrir la necesidad. Una tasa de corrosión aceptable para un material de bajo costo relativamente, tal como el acero al carbón es de aproximadamente $0,25 \text{ mm / año}$ o menos¹. A este ritmo y con un diseño adecuado y la tolerancia de corrosión adecuada, un recipiente de acero de carbono proporcionará muchos años de servicio de mantenimiento bajo.

Para materiales más costosos, tales como la austenítica (serie 300) y los aceros inoxidables de aleaciones cobre-níquel, generalmente se acepta una tasa de corrosión máxima de $0,1 \text{ mm / año}$ ². Sin embargo, uno nunca debe suponer, sin una evaluación adecuada, que cuanto mayor es la aleación, mejor es la resistencia a la corrosión en un entorno determinado. Un buen ejemplo es el agua de mar, que corroe el acero al carbón simple uniformemente a una velocidad de $0,1$ a $0,2 \text{ mm / año}$, pero en ciertos aceros inoxidables austeníticos no suele suceder lo mismo. A veces, los recubrimientos no metálicos y revestimientos que varían en espesor desde unas pocas décimas hasta varios milímetros, se aplican para prolongar la vida de aleaciones de bajo costo tales como aceros al carbono en ambientes que causan la corrosión general. Los recubrimientos de película delgada que son ampliamente utilizados incluyen compuestos fenólicos horneados, y resinas epoxi catalizadas como el alquitrán de carbón. Es recomendable no utilizar recubrimientos de película delgada en los servicios, donde la velocidad de corrosión del metal de base es de más de $0,5 \text{ mm / año}$. Los revestimientos de película gruesa incluyen vidrio, fibra, reforzado de Furano, resinas de poliéster y epoxi, esmaltes de alquitrán de hulla aplicado en caliente, y diversos elastómeros tales como caucho natural.

Un caso especial para la selección de materiales en condiciones generales de corrosión es el de la contaminación del fluido del proceso incluso por cantidades de trazas de los productos de corrosión. En este caso, la consideración principal es la pureza del producto, en lugar de la velocidad de corrosión. Un ejemplo es el almacenamiento de ácido sulfúrico 93% (H_2SO_4) en acero al carbón en una temperatura ambiente, la tasa de corrosión general es de 0,25 mm / año o menos, pero las trazas de hierro dejan un color que es rechazado en muchas aplicaciones. Por lo tanto, los recubrimientos fenólicos horneados de película delgada se utilizan sobre acero al carbón para minimizar o eliminar la contaminación de hierro.

Por otra parte, los ductos de transporte manejan fluidos en constante movimiento. El movimiento del fluido en el interior del ducto genera esfuerzos de corte sobre la pared interior del mismo y estos esfuerzos afectan la adherencia de la película del inhibidor formada sobre el metal. No obstante, existe poca información científico- técnica referente a la persistencia de la película de un inhibidor sobre una superficie metálica en contacto con un fluido en movimiento, aunado a lo anterior, el régimen de flujo más comúnmente presente en ductos de transporte de hidrocarburos es de tipo turbulento.

El flujo turbulento incrementa el transporte de masa de las especies corrosivas desde el seno del medio agresivo hacia la superficie del metal; así mismo, puede ocasionar la remoción de productos de corrosión.

Para asegurar la solución más económica en problemas de corrosión, es necesario estudiar el tipo de corrosión que se está presentando y conocer las condiciones en que opera el equipo, tanto las normales como los posibles casos circunstanciales, por ejemplo paradas o puestas en marcha del equipo. Existen 5 tipos de corrosión que pueden afectar, no solo en la Industria Petroquímica, sino que también en otras industrias, y a continuación se describen.

1.4.3.1 Corrosión Generalizada

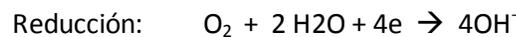
Este es el proceso de corrosión más común entre la mayoría de los metales y aleaciones, pero en el acero inoxidable, muy pocas veces se presenta. Se puede presentar cuando se utilizan ácidos minerales para la eliminación de incrustaciones salinas en la industria láctea o cervecera. El ácido sulfúrico y clorhídrico, pueden generar deterioro de la superficie del acero AISI 304, no así en aceros inoxidables que contengan molibdeno, como el AISI 316.

1.4.3.2 Corrosión en Grietas o Fisuras

Esta forma de corrosión se caracteriza por un intenso ataque localizado en grietas expuestas a agentes corrosivos como los compuestos clorados. Este proceso es normalmente asociado al estancamiento de pequeños volúmenes de solución causados por perforaciones en empaques, juntas, defectos superficiales o grietas bajo pernos u otros elementos de sujeción.

El fenómeno de corrosión es un proceso electrolítico donde se produce la migración de material metálico en presencia de una solución (electrolito). Este intercambio de iones metálicos (la red cristalina de la estructura metálica, se carga negativamente y el electrolito se carga positivamente) genera una diferencia de potencial que, da lugar al que los iones metálicos sean depositados en el electrolito.

El mecanismo básico de corrosión por grietas, considera un metal M en contacto de una solución salina, en presencia de oxígeno. Este proceso produce la disolución del metal M y la reducción de iones de oxígeno e hidrógeno.



1.4.3.3 Corrosión por Picaduras

Muchas aleaciones como el acero inoxidable, son útiles solo porque producen en forma espontánea una película de óxido, la cual reduce en forma importante la tasa de corrosión. Sin embargo estas películas son a menudo susceptibles a la ruptura localizada, lo que da como resultado una acelerada disolución del metal. Si el ataque se inicia en una superficie abierta, se llama corrosión por picaduras. Esta forma de corrosión puede producir fallas estructurales en los equipos por perforación o por debilitamiento.

La corrosión por picaduras se desarrolla solo en presencia de especies aniónicas agresivas o iones cloro, aunque estos factores no son los únicos. La severidad de este tipo de corrosión tiende a variar logarítmicamente con la concentración del cloro ya que es un anión de un ácido fuerte, y muchos cationes metálicos muestran considerable solubilidad en soluciones con cloro.

Las perforaciones a menudo crecen bajo la superficie del metal, esta situación puede hacer extremadamente difícil la detección visual y el conocimiento de la severidad puede ser pasada por alto además de que la probabilidad de fallas catastróficas aumenta. La cubierta de la perforación pueden ser precipitaciones derivadas de las reacciones de hidrólisis y partículas que formaron la película de óxido.

La consecuencia de la ruptura de esta película es el inicio del proceso corrosivo y probablemente es el fenómeno más desconocido. Los mecanismos de penetración que inician este proceso de corrosión involucran el transporte de aniones agresivos a través de la película hacia la interfase metal/óxido.

El aumento de la corrosión por picaduras depende de la composición del material, concentración del electrolito y del potencial eléctrico, puede asociarse también a todo tipo de equipo de proceso, pero se encuentra frecuentemente en intercambiadores de calor, tuberías, fondos de tanques etc., este problema puede agudizarse con la presencia de hipoclorito o cloro en el agua de enjuague.

1.4.3.4 Corrosión por Tensión

La corrosión por tensión mecánica es otro tipo de corrosión localizada, se reconoce por presencia de fracturas de la estructura metálica, la morfología de este tipo de corrosión es muy característica. En la superficie del metal se producen fisuras muy pequeñas de forma ramificada, la cantidad de ramificaciones tiene directa relación con la concentración del medio corrosivo y del nivel de tensión del metal.

Cuando en los aceros quedan tensiones residuales o se crean estas por efecto de esfuerzos exteriores, tales como esfuerzos de tracción, deformaciones en frío, soldaduras, etc., y estos se someten a un ambiente corrosivo, especialmente fluidos que contengan cloro, pueden producirse pequeñas fisuras, dando origen a la corrosión por tensiones; las grietas producidas son generalmente transgranulares o intergranulares.

Los iones cloruro son los responsables de la mayoría de las fallas por corrosión por tensión en acero inoxidable, sin embargo también lo puede ser el Hidróxido de Sodio.

Cuando un acero sufre corrosión por picaduras, este fenómeno provoca un punto de tensión mecánica, por lo tanto un material con alta susceptibilidad a este tipo de corrosión, también es susceptible a la corrosión por tensión ya que el ambiente en el cual se produce la corrosión por picaduras y por tensiones, es el mismo, por ejemplo, en soluciones que contienen cloro, el AISI 304 presenta mayor susceptibilidad a estos dos tipos de corrosión, que el AISI 316.

1.4.3.5 Corrosión Intergranular

Los aceros inoxidables austeníticos, como el AISI 304, contienen un porcentaje importante de carbono, el cual está en estado sólido a temperatura ambiente, por lo tanto desde el punto de vista termodinámico el acero inoxidable es estable ya que puede coexistir la solución en fase sólida con austenítica de carbono, con el carburo de cromo.

Sin embargo, cuando el metal se somete a un tratamiento térmico sobre los 1000 °C y a un templeado, posteriormente, el carburo de cromo se descompone, pasando a la solución austenítica. Esto da como resultado la estructura uniforme de la solución en fase austenítica, lo que le da al acero excelentes propiedades.

Cuando el acero es sometido a tratamientos térmicos mal realizados, calentamientos y enfriamientos defectuosos, o calentamientos excesivos sufridos por soldadura, los átomos de carbono tienden a precipitar en la frontera reticular como carburos de cromo. Esta situación hace que la concentración de carburo de cromo sea mayor en la frontera reticular que en zonas contiguas a los mismos, lo que genera una difusión entre una zona y otra, a este fenómeno se le llama sensibilización.

La sensibilización hace que el acero inoxidable quede expuesto a la corrosión intergranular cuando está en ambientes corrosivos. En algunos casos también reduce la resistencia a los fenómenos de corrosión por picaduras o grietas y en otros la corrosión bajo tensión.

1.5 DIAGRAMAS DE FASE EN LA CIENCIA DE MATERIALES

En un material, una fase es una región que difiere en su microestructura y/o composición, de otra región. Los diagramas de fase son representaciones gráficas de las fases que existen en un sistema de materiales a varias temperaturas, presiones y composiciones. Los diagramas, en su mayoría, se han construido en condiciones de equilibrio y son utilizados por ingenieros y científicos para entender y predecir muchos aspectos del comportamiento de los materiales.

El entendimiento de los diagramas de fases de las aleaciones es de suma importancia porque existe una estrecha relación entre la microestructura y las propiedades mecánicas de los materiales, y también porque el desarrollo de la microestructura de una aleación está íntimamente relacionado con las características del diagrama de fases.

1.5.1 Definiciones y Conceptos Fundamentales

1. **Límite de solubilidad:** En muchas aleaciones, y para alguna temperatura específica, existe una concentración máxima de átomos de soluto que se disuelven en un disolvente para formar una disolución sólida: este punto es el límite de solubilidad. La adición de un exceso de soluto a este límite de solubilidad forma otra disolución sólida o compuesto con una composición completamente diferente.
2. **Fases:** Es la porción homogénea de un sistema que tiene características físicas y químicas uniformes. Un material puro ya sea un sólido, un líquido o una disolución gaseosa se consideran fases. A veces un sistema monofásico (una sola fase) recibe el nombre de "homogéneo" y los sistemas de dos o más fases se denominan "mezclas" o "sistemas heterogéneos". La mayoría de las aleaciones, las cerámicas, los polímeros y los materiales compuestos son sistemas heterogéneos.
3. **Microestructura:** Frecuentemente, las propiedades físicas y, en particular, el comportamiento mecánico de un material dependen de la microestructura, la cual solo es susceptible de ser observada microscópicamente. La microestructura depende del número de aleantes, de la concentración de cada uno de ellos y del tratamiento térmico de la aleación, es decir, la temperatura, el tiempo de calentamiento y la velocidad de enfriamiento a la que se somete. La microestructura de una aleación no sólo depende de las proporciones de las fases, sino también

en la forma en que están dispuestos estructuralmente a nivel microscópico. Por lo tanto, la microestructura es especificada por el número de fases, sus proporciones, y su disposición en el espacio.

4. **Equilibrio de Fases:** El equilibrio de una fase está en función de una variable termodinámica denominada *energía libre*. A su vez, esta depende de la energía de un sistema y también del desorden de los átomos o moléculas (entropía). Un sistema está en equilibrio si la energía libre es mínima en condiciones específicas de temperatura, presión y composición. En sentido macroscópico, esto significa que las características del sistema no cambian con respecto al tiempo sino que se mantienen indefinidamente sin cambio alguno. Un cambio de temperatura, de presión o de composición de un sistema en equilibrio, implica un aumento de la energía libre y a un posible cambio espontáneo a otro estado de menor energía libre.

5. **Curvas de enfriamiento:** Gráficamente representan el enfriamiento de un metal o de una aleación desde el estado líquido hasta el estado sólido, en función del tiempo. Las transformaciones que tienen lugar van acompañadas de desprendimiento de calor, lo que se traduce en cambios de la pendiente de la curva.

Las curvas de enfriamiento se determinan mediante el análisis térmico y se registran los cambios producidos durante el enfriamiento desde el estado líquido hasta el estado sólido, además también son la base para definir los diagramas de fases de las aleaciones.

1.5.2 Descripción de los Diagramas de Fases

Los metales puros tienen puntos de fusión o de solidificación claramente definidos; la solidificación ocurre a una temperatura constante (FIGURA 5-1), cuando la temperatura del metal fundido se reduce al punto de solidificación, la energía del calor latente de solidificación se escapa mientras la temperatura se mantiene constante; así, finalmente la solidificación es completa y el metal sólido se sigue enfriando hasta alcanzar la temperatura ambiente.

Sin embargo, a diferencia de los metales puros, las aleaciones se solidifican en un rango de temperaturas. La solidificación se inicia cuando la temperatura del metal fundido se encuentra por debajo de la fase líquida y así sigue solidificándose hasta que finaliza cuando la temperatura alcanza la fase sólida. Dado que existen múltiples posibilidades de formarse estructuras en una aleación y teniendo en cuenta que las propiedades de un material dependen del tipo, número, cantidad y forma de las fases presentes y de sus posibles modificaciones, es esencial conocer las condiciones bajo las cuales existen cada una de ellas, así como las condiciones en las que se producen sus cambios.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

La mayor parte de la información sobre el control de la microestructura o estructura de fases de una aleación particular se encuentra recopilada en el *Diagrama de Fases* (también es llamado: *Diagrama de Equilibrio* o *Diagrama Constitucional*). La palabra constitucional indica las relaciones entre la estructura, la composición y la formación física de la aleación. Aunque el término que se utiliza es *de equilibrio*, en un punto de vista práctico el equilibrio no es un equilibrio global, sino un equilibrio a nivel microestructural, esto implica que cualquier información microestructural superpuesta en un Diagrama de Fases es por conveniencia y no implicada por el diagrama de fases.

Los diagramas de fase son una herramienta importante en el campo de la ciencia de materiales. En el sentido más simple un Diagrama de Fases delimita regiones donde están presentes varias fases, esto es similar a un mapa que delimita regiones geográficas, políticas, ecológicas etc., sobre una base de criterios. La clara comprensión de los Diagramas de Fases es una necesidad para todos los ingenieros de materiales.

A partir de los cambios que ocurren entre fases, al modificar la temperatura (generalmente para sub-enfriamiento), se originan la mayoría de las microestructuras, lo que implica la transformación de una fase a la otra, o la desaparición o aparición de una fase.

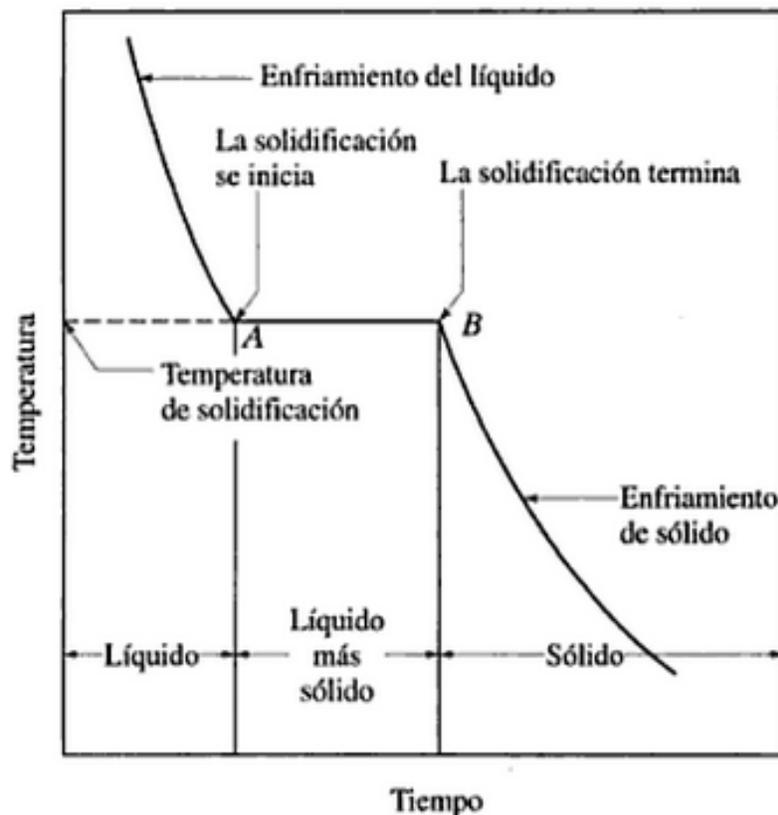


FIGURA 5-1 Curva de enfriamiento para la solidificación de los metales puros. Observe que la solidificación ocurre a una temperatura constante; durante la solidificación el calor latente de solidificación se va perdiendo.

La utilidad principal de los Diagramas de Fases radica en la posibilidad de la predicción de la transformación y de la microestructura resultante, que pueden estar o no en equilibrio. Los Diagramas de Fase representan las relaciones entre la estructura, la composición y la cantidad de fases que se encuentren en equilibrio; existen distintos diagramas, pero los de **Temperatura-Presión** son los parámetros variables de las aleaciones binarias, es decir, aleaciones de dos componentes solamente; si hay más de dos componentes el diagrama se complica y su representación es difícil.

Es de vital importancia el estudio de cada uno de los tipos de Diagramas de Fase, debido a que existen infinidad de materiales así como de aleaciones con distintos aspectos dependiendo de la solubilidad de sus componentes en estado líquido y sólido.

De los Diagramas de Fases podemos deducir las condiciones que conducen a la coexistencia de fases en equilibrio, aunque es importante destacar que estos diagramas no informan sobre el tiempo necesario para alcanzar esos equilibrios. Especialmente, en el caso de los sólidos es preciso tener en cuenta que las velocidades de reacción son habitualmente tan lentas, que también las situaciones intermedias (meta-estables) pueden ser de gran importancia.

1.5.3 Diagramas de Fase de un solo componente

En un sistema de un solo componente, por ejemplo, metales puros, compuestos, etc., no hay ninguna variable de composición y las únicas variables son la temperatura y la presión; el diagrama de fase está representada por la relación presión-temperatura como se muestra en la FIGURA 6-1. Las fases en cuestión son: sólido, líquido y vapor. El equilibrio de fase, entre cualquiera de las dos fases está representada por las líneas de Ob, Oa y Oc, reunidos en el punto triple O. La sublimación de la sustancia pura está representada por la línea Ob en donde las fases: sólida y vapor coexisten en equilibrio entre sí. La fusión de la sustancia pura está representada por la línea de Oa por donde las fases sólidas y líquidas se encuentran en equilibrio entre sí. La línea Oc representa la vaporización del líquido o la licuefacción de la fase vapor.

La aplicación de la regla de las fases revela que hay dos grados de libertad ($f = c + 2 - p$) en la región de una sola fase del diagrama de fases. Las dos variables independientes son la temperatura y la presión. La selección de la presión P1 como la variable independiente, se utiliza un grado de libertad. La otra variable independiente en la forma de la temperatura se puede seleccionar a lo largo de una línea horizontal en P1.

El conjunto de coordenadas (P1, T1), (P1, T2) etc., muestra la sustancia pura en la región de una sola fase, en este caso un sólido. Existe un conjunto similar de coordenadas para la sustancia pura en el líquido, así como en estado de vapor. Estos representan equilibrios bi-variantes en un sistema de un solo componente.

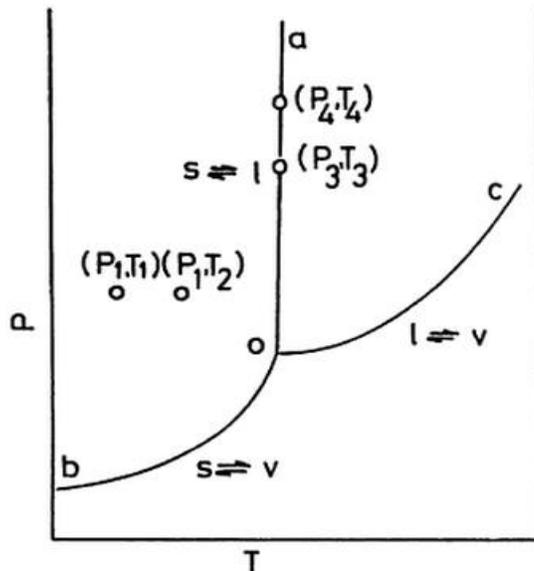


FIGURA 6-1 Diagrama de fases Presión-Temperatura para un componente puro

El equilibrio mono-variante se representa a lo largo de las líneas de Oa, Ob u Oc en el diagrama P-T. De acuerdo con la regla de las fases hay un grado de libertad en la región de dos fases de un sistema de un solo componente. Así, una de las variables, la temperatura o la presión, se puede seleccionar de forma independiente. Considerando el equilibrio entre las fases sólidas y líquidas representado por la línea de Oa, se selecciona P_3 como una variable independiente.

Las fases sólidas y líquidas pueden coexistir en equilibrio entre sí sólo en la temperatura T_3 . Así, mediante la selección de la presión como la variable independiente, la temperatura es fija. Un grado de libertad puede ejercerse en la forma de la temperatura, por ejemplo T_4 , y entonces la presión (P_4) se fijará para el equilibrio sólido-líquido. Una selección similar puede hacerse para representar el equilibrio vapor-sólido.

La aplicación de la regla de las fases da cero grados de libertad en el punto O del diagrama de fases donde las tres fases: sólido, líquido y vapor coexisten en equilibrio entre sí

1.5.4 Diagramas de Fase Binarios

Un *Diagrama de Fases Binario* muestra las fases formadas para diferentes muestras de dos elementos en un rango de temperaturas.

Tomando como referencia la FIGURA 7-1 la composición se muestra desde el 100% del elemento “A” a la izquierda del diagrama hasta el 100% de elemento B a la derecha del mismo; así, la composición de la aleación está dada por la forma de **A-x%B**.

Para especificar las proporciones se pueden utilizar porcentajes en peso o porcentajes atómicos.

Las aleaciones tienden a solidificar en un rango de temperaturas, más que en una temperatura específica como en los elementos puros. Como se observa en los extremos del diagrama solamente existen elementos puros, por lo que hay puntos de fusión específicos en cada uno.

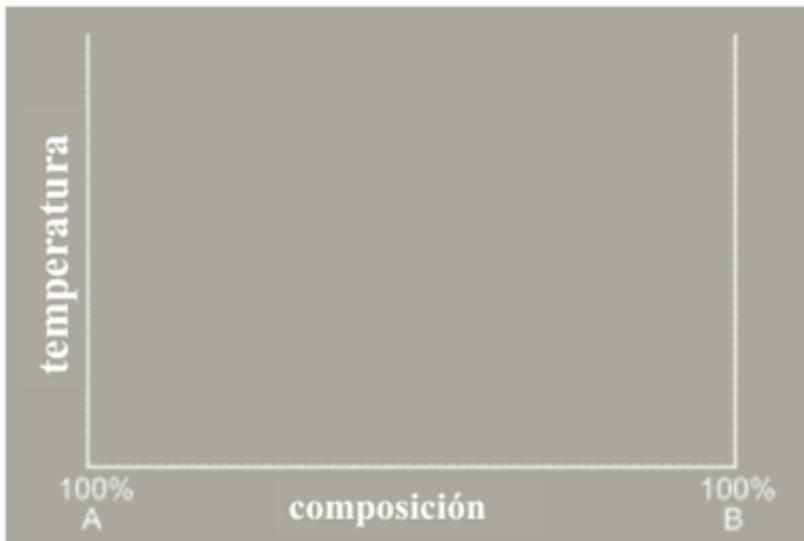


FIGURA 7-1 Diagrama de composición de dos elementos puros

Algunas veces hay una mezcla de los elementos constituyentes que solidifican a una única temperatura como un elemento puro, este punto se llama **punto eutéctico**. Algunos diagramas de fase para aleaciones binarias simples no tienen puntos eutécticos. Si enfriamos desde el estado líquido diferentes composiciones de la aleación y registramos las temperaturas a las cuales comienzan la solidificación, y se grafican, obtenemos una curva de comienzo de solidificación.

Esta curva unirá los tres puntos de solidificación simples y se llama línea de liquidus como se muestra en la FIGURA 8-1 .

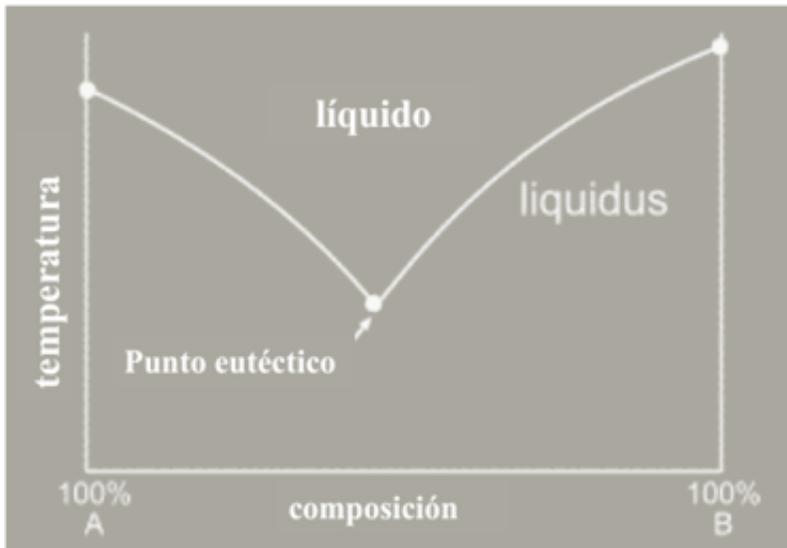


FIGURA 8-1 Representación de la curva liquidus que une los tres puntos de solidificación simples

De la misma forma que el azúcar se disuelve en té caliente (solución líquida) es posible que un elemento se disuelva en otro mientras que ambos permanecen en estado sólido. Esto se llama solución sólida y en general se produce hasta un pequeño porcentaje en peso, y eso está representado en la FIGURA 9-1, donde se muestra la línea de solidus (línea eutéctica), además de las regiones α y β , donde α se le llama a la solución sólida de B en A, es decir, casi todo A; mientras que en la región β es la solución sólida de A en B, o sea, casi todo B.

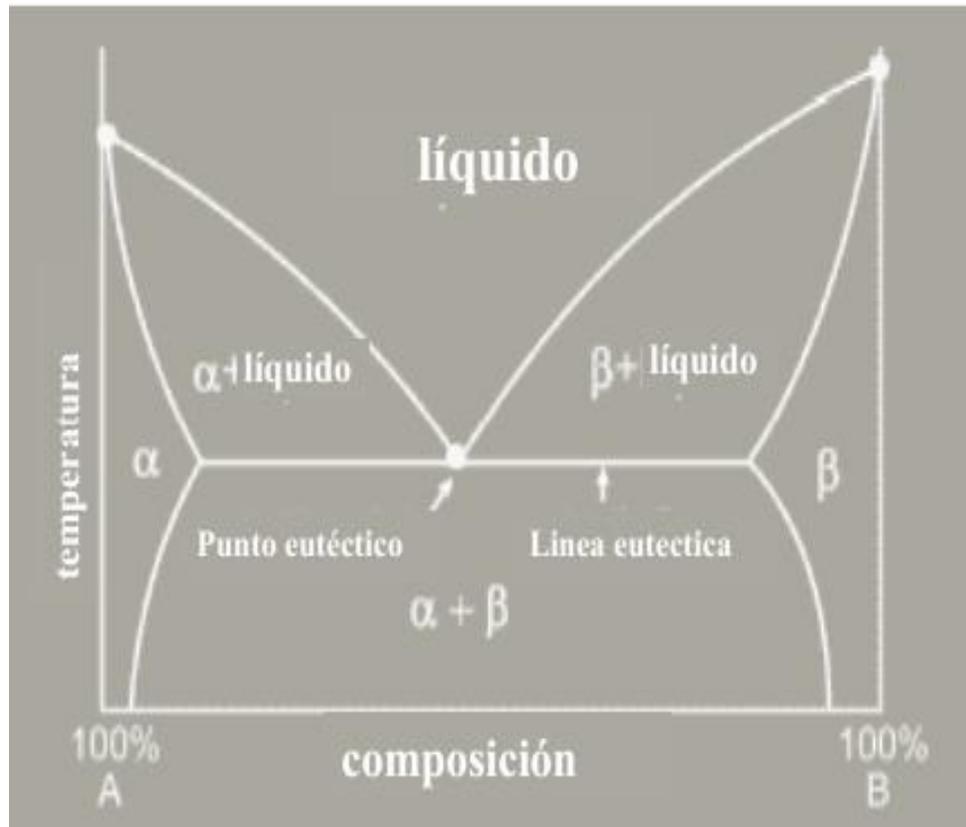


FIGURA 9-1 Soluciones solidas α y β = Fases terminales;
Línea eutéctica= temperatura eutéctica;
 α o β + LIQUIDO= Región bifásica (sólido y liquido);
 $\alpha + \beta$ = región bifásica (mezcla sólida).

1.5.5 Diagramas de Fase Ternarios

Los diagramas de fase ternarios o triangulares son la representación gráfica de las posibles relaciones o combinaciones entre tres elementos. Indican la distribución de tres componentes diferentes y consisten en la unión de tres diagramas binarios en los que las variables se repiten dos a dos. Permiten trabajar con dos tipos de condiciones entre las variables:

- ✓ Condiciones de proporción
- ✓ Condiciones de relación

Esto va a repercutir en el tipo de líneas que configuran el gráfico. La FIGURA 10 – 1 nos muestra un diagrama ternario en el que cada vértice representa el 100% de la variable indicada y las bases opuestas el 0% de la misma.

Cada uno de los lados, considerados individualmente, constituye un diagrama binario. Los puntos situados en las líneas que configuran los lados del triángulo indican que en la composición total solo hay dos de los tres vértices del diagrama binario al que pertenezca el punto.

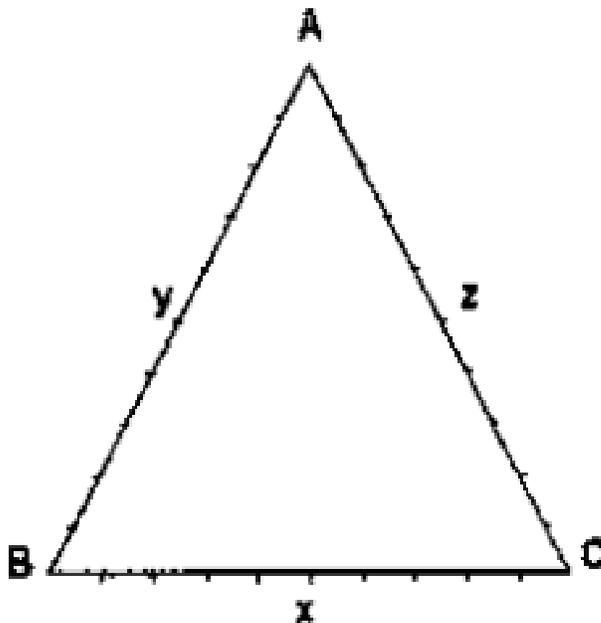


FIGURA 10-1 Mezcla de los tres componentes A, B y C
-Los puntos de la línea x indican un 0% de A, el 100% lo componen B+C
Los puntos de la línea y indican un 0% de C, el 100% lo forman A+B
- Los puntos de la línea z indican un 0% de B, el 100% está compuesto por A+C

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Las **líneas de proporcionalidad** de un **Diagrama Ternario** están formadas por los puntos que configuran los lugares geométricos en los que el porcentaje de una variable se mantiene constante. En la FIGURA 11-1 se muestra un diagrama ternario con cada una de estas líneas que representan un diagrama binario que reparte entre dos variables la proporción que resta tras atribuir al tercer componente un porcentaje fijo y determinado.

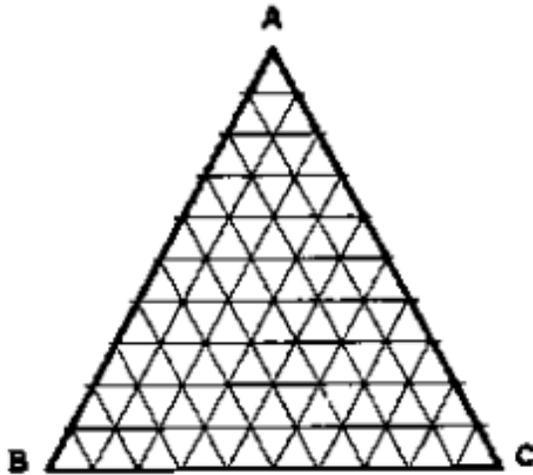


FIGURA 11-1 Diagrama de Fase ternario representado con líneas de proporcionalidad

Las líneas de proporcionalidad son paralelas a uno de los lados y mantienen fija en todos sus puntos la proporción del elemento que ocupa el vértice opuesto (véase FIGURA 12-1), independientemente de la relación entre las proporciones de otros elementos.

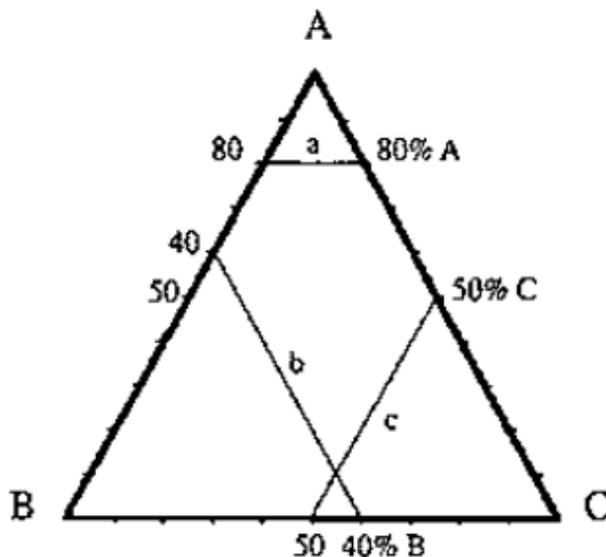


FIGURA 12-1 Puntos de composición, Los puntos de esta figura cumplen las siguientes condiciones:

Línea a: los puntos tienen el 80% de A y el 20% restante de C+B.

Línea b: los puntos tienen el 40% de B y el 60% restante de A+C.

Línea c: los puntos tienen el 50% de C y el otro 50% es de A+B

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Los lados de los **diagramas ternarios con líneas de relación**, también representan diagramas binarios, lo mismo que en el diagrama ternario de proporción (FIGURA 13-1); sin embargo, las líneas interiores son los lugares geométricos en los que la proporción entre dos variables es siempre constante.

Las líneas interiores van siempre de un vértice al lado opuesto e indican la relación existente entre los porcentajes de las variables que forman ese lado, independientemente del valor de la variable que este en el vértice (FIGURA 14-1).

FIGURA 13-1 Representación de un Diagrama Ternario con Líneas de Relación.

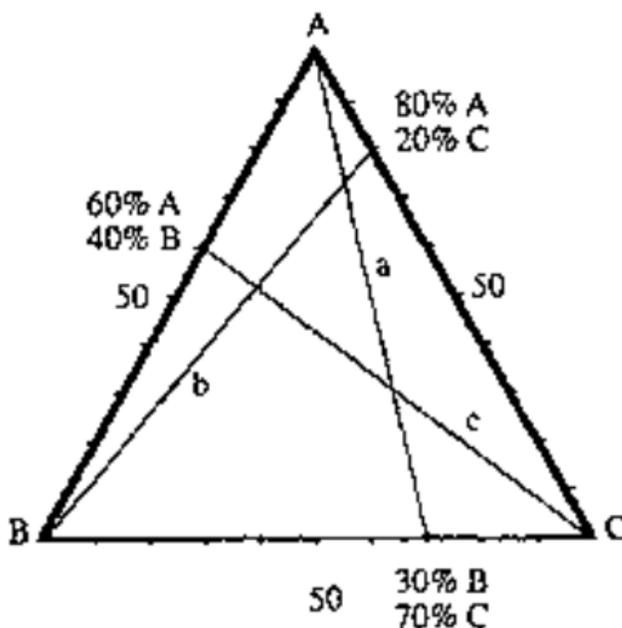
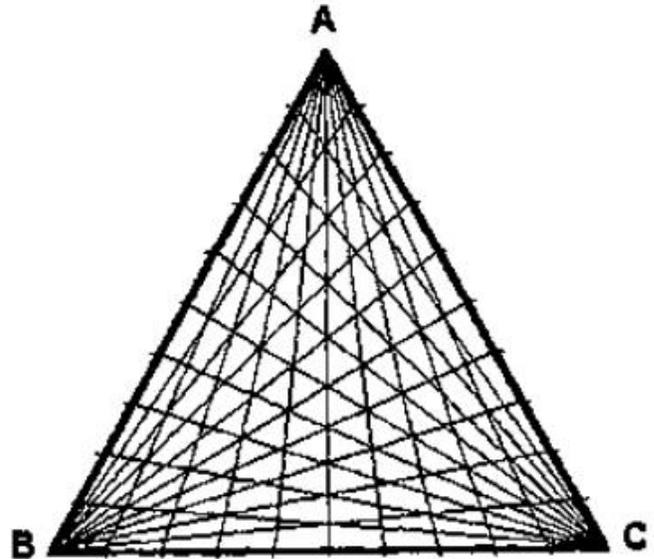


FIGURA 14-1 Diagrama de fase con líneas de relación:

- Línea a: independientemente del porcentaje de A que exista, es decir, sobre un total de $B+C=100\%$, existe un 30% de B y un 70% de C.
- Línea b: independientemente del porcentaje de B que exista, es decir, sobre un total de $A+C=100\%$, existe un 80% de A y un 20% de C.
- Línea c: independientemente del porcentaje de C que exista, es decir, sobre un total de $A+B=100\%$, existe un 60% de A y un 40% de B.

1.5.6 Diagramas de Fase Cuaternarios

La representación de un sistema cuaternario en un diagrama de fases puede hacerse sobre un tetraedro regular, llevando la concentración de cada componente sobre el eje respectivo de un sistema de ejes verticales a cada cara del tetraedro, como se representa en la FIGURA 15-1.

De este modo todas las composiciones quedan determinadas con tres variables, pudiendo obtenerse el valor de la cuarta por diferencia a 1 o a 100%. Cada vértice del tetraedro representa el 100% de ese componente, las aristas, cada uno de los seis sistemas binarios, y las caras, los cuatro sistemas ternarios, que lo integran. Las composiciones de contenido constante de uno de los componentes dentro del tetraedro, vendrán determinadas por el plano paralelo (C_A) a la cara opuesta B, C, D de dicho vértice A del tetraedro.

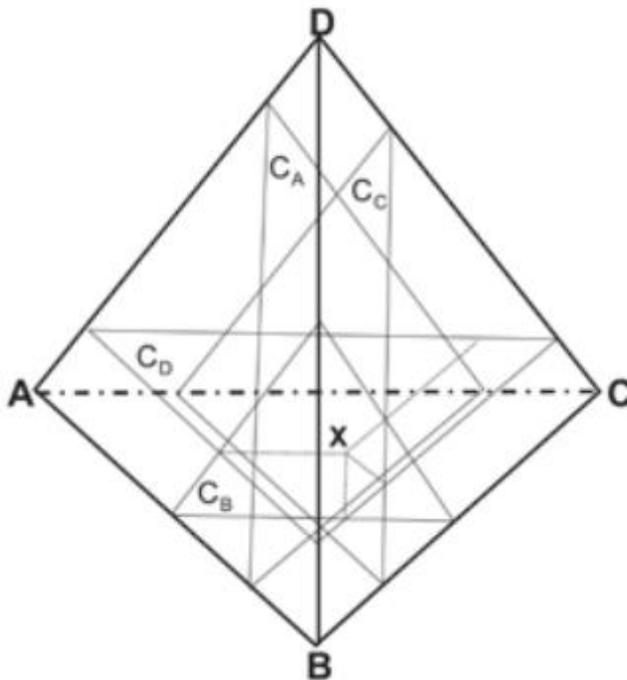


FIGURA 15-1 Sistema de representación para todas las posibles composiciones de cuatro componentes de un sistema cuaternario. C_A , C_B y C_D son los planos de composición constante de A, B, C y D que definen la composición x.

En la FIGURA 15-1 están representadas las relaciones de fusión de un sistema cuaternario ideal con un solo punto eutéctico cuaternario. El tetraedro de composición queda dividido en cuatro volúmenes primarios de cristalización separados por superficies eutécticas binarias. Cada volumen primario representa en función de la temperatura las composiciones de todos los líquidos cuaternarios que pueden coexistir en equilibrio en una determinada fase sólida. Las superficies límite que separan dos volúmenes primarios de cristalización son superficies eutécticas binarias y sobre ellas están situadas las composiciones de todos los componentes líquidos que, en función de la temperatura pueden coexistir

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

en equilibrio con el correspondiente par de fases sólidas. La intersección de tres de las superficies eutécticas binarias, límite común en el que se cortan tres volúmenes primarios de cristalización, da lugar a las líneas eutécticas ternarias (líneas monovariantes representadas por líneas de trazos en la FIGURA 16-1), en las cuales están situadas las composiciones de todos los líquidos presentes, que dependiendo de la temperatura, pueden coexistir con tres fases sólidas.

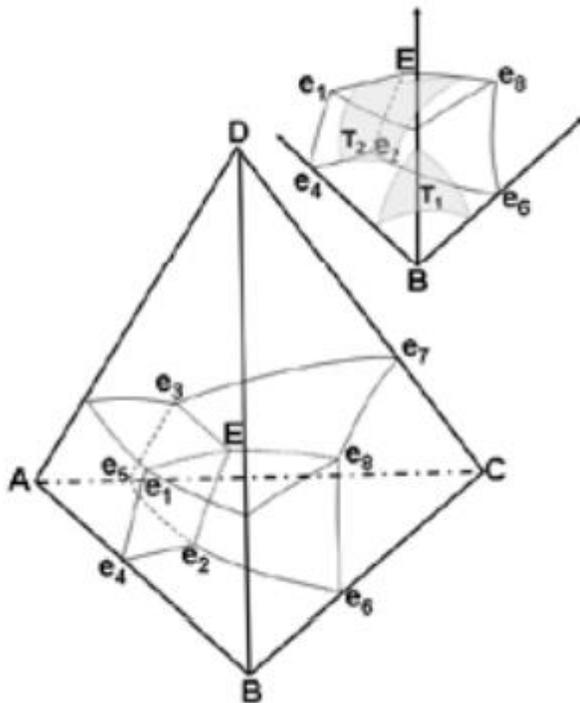


FIGURA 16-1 Sistema cuaternario ideal simple.

1.5.7 Importancia de los Diagramas de Fase en la Ciencia de Materiales

Se dice que existen más de 50,000 materiales disponibles para el ingeniero, pero en el diseño de una estructura o dispositivo, ¿Cómo elegirá el ingeniero entre un menú tan amplio, el material más adecuado?

El objetivo de esta sección es dejar en claro cómo es que la ciencia de materiales e ingeniería se basan en la investigación del equilibrio de fases. El cálculo termodinámico a veces produce diagramas de fase con algún problema, por ejemplo, que algunas superficies, e incluso algunas fases se pierdan. Por otra parte, en muchos casos algunas fases no se toman en consideración debido a una falta de datos termodinámicos.

A menudo se tiene una fuerte influencia en el desarrollo de un campo de investigación, y esto es especialmente en el área de los diagramas de fase, que ha tendido a ser dividido a grandes rasgos en dos sub-áreas. Por un lado están los metalúrgicos y científicos de materiales que estudian los equilibrios de fases a través de diversos medios experimentales que identifican las fases presentes, sus propiedades, seguido por intentos de comprender las energías del estado fundamental de tales fases y su comportamiento en las microestructuras de materiales.

Por otro lado se encuentran otras disciplinas en el área de termoquímica y termodinámica de las fases cuyos objetivos son medir, comprender y modelar las propiedades termodinámicas de las fases y las conexiones entre las propiedades termodinámicas, las consideraciones de energía libre, y las leyes que rigen los equilibrios de fase.

La idea de montar el Diagrama de Fases es desarrollar un instrumento efectivo adicional para los especialistas en la ciencia de materiales y la tecnología; en estos diagramas todas las regiones de 3 fases se dividen en dos fragmentos principales: eutéctico (eutectoide) y peritectico (peritectoide). Las concentraciones de reacciones invariantes permiten el diseño de microestructura del material heterogéneo.

En cuanto al contexto de los materiales, probablemente no hay otro tema amplio que incide más en los diversos aspectos de la ciencia de los materiales y la tecnología que la descripción de estabilidad de fase en términos de temperatura y composición. Los diagramas de fase son los "mapas" que nos guían y dirigen a nuestros numerosos objetivos - en la fabricación, desarrollo, tratamiento, propiedades, diseño de aleación, y la comprensión básica, de la infinidad de materiales existentes.

Desde el primer uso de los diagramas de fase, los científicos y los ingenieros han encontrado extremadamente útil en la descripción de las diversas formas que cierto material puede tomar. Mediante el examen de un diagrama de fase se puede ganar un poco de comprensión en las propiedades mecánicas. Tal vez ninguna área de la ciencia es considerada como básica en tantas disciplinas como que se trata con las transiciones de fase, diagramas de fase, y la regla de las fases. Científicos geólogos, ceramistas, los físicos, los metalúrgicos, ingenieros químicos y químicos, todos

recurren ampliamente empleo de las separaciones de fase y los diagramas de fase en el desarrollo e interpretación de sus campos.

Con el fin de crear materiales con propiedades que se requieren para aplicaciones específicas, es necesario entender cómo formar las fases deseadas mediante el control de la composición, temperatura, atmósfera, etc. También, los diagramas de fase son útiles en darnos visión en la comprensión de cómo la creación de fases cambiará en diferentes entornos, y los cambios atmosféricos (reductores, oxidantes, inertes).

1.5.8 El uso de los Diagramas de Fase en Materiales Técnicos

La razón por la cual los diagramas de fase se han investigado tras 70 años de la construcción de los primeros diagramas de este tipo y pese a que se ha recurrido a varios recursos para su investigación, es simplemente que son fundamentales para la comprensión de sistemas multi-fase y en consecuencia, son esenciales para la comprensión de los materiales de construcción más utilizados para equipos y tuberías usados en procesos industriales.

Esto ocurre especialmente en los procesos de fabricación de metales y materiales cerámicos, por lo tanto, para entender la relación entre la composición química y la constitución (es decir, las fases que se producen) en una aleación metálica o un material cerámico, es necesario un conocimiento claro y profundo de los Diagramas de Fase. Del mismo modo, para entender los cambios que tienen lugar durante el tratamiento térmico de una aleación o durante el disparo de un cuerpo cerámico, debemos saber cuáles son las fases de equilibrio que existen en cada temperatura.

El tratamiento térmico de aceros, por ejemplo, se basa en el diagrama de fases de hierro-carbono (que por cierto lo más común es utilizar un diagrama de equilibrio meta estable), aunque los aceros tratados térmicamente son casi invariables en un estado de no equilibrio.

El equilibrio de fases también juega un papel importante en muchos procesos de metales. Por ejemplo, en los procesos de fabricación de acero, por lo general es necesario que la escoria sea completamente líquida a la temperatura de funcionamiento, pero también es necesario que no esté demasiado lejos del equilibrio con el refractario. En el proceso de fabricación de acero ácido este requisito determina en gran medida del tipo de hierro que va a ser utilizado, ya que es necesario que contenga suficiente Silicio para formar una escoria rica en sílice.

En los procesos básicos, en los que se debe añadir cal a la escoria para promover la eliminación de fósforo, es necesario, por razones similares, el uso de un refractario básico. En general, tanto las escorias, como los refractarios si se utilizan o muy ácidos o muy básicos, y los procesos que requieren de escorias caen entre estos dos extremos, el proceso suele ser problemático.

Mientras que las relaciones de equilibrio térmico determinan la naturaleza y la cantidad de fases que se producen en los sistemas de alta temperatura, hay muchos casos en los que es importante la distribución geométrica de las fases. Por ejemplo, en aleación metálica que contiene una fase frágil, o un refractario que contiene una fase líquida a altas temperaturas, el efecto de estas fases por lo general

será menor si se producen glóbulos discretos, en cambio si se produce un período continuo de películas redondas en los límites de los granos el efecto será mucho mayor.

1.5.8.1 Inmiscibilidad de líquido en masas fundidas de Silicatos

Un ejemplo clásico de la utilidad de los estudios de equilibrio de fases en el campo de los materiales refractarios es el desarrollo de ladrillos de sílice de bajo contenido de alúmina y contenido de alcalinos. En 1927 Greig mostro que, en muchos sistemas básicos de óxido de sílice, las altas concentraciones de sílice de dos fases líquidas inmiscibles se encuentran en fusión. Como resultado la curva de licuefacción se desplaza hacia un menor contenido de SiO_2 de manera que se disminuye la solubilidad de SiO_2 en la masa fundida.

La naturaleza de este efecto se muestra en la FIGURA 17-1 donde se han dibujado las curvas de licuefacción de algunos de los sistemas de óxido de sílice binarios. La existencia de inmiscibilidad se muestra por la aparición en la curva horizontal monotéctica, la terminación de las cuales indica el límite de la diferencia de miscibilidad a la temperatura monotéctica.

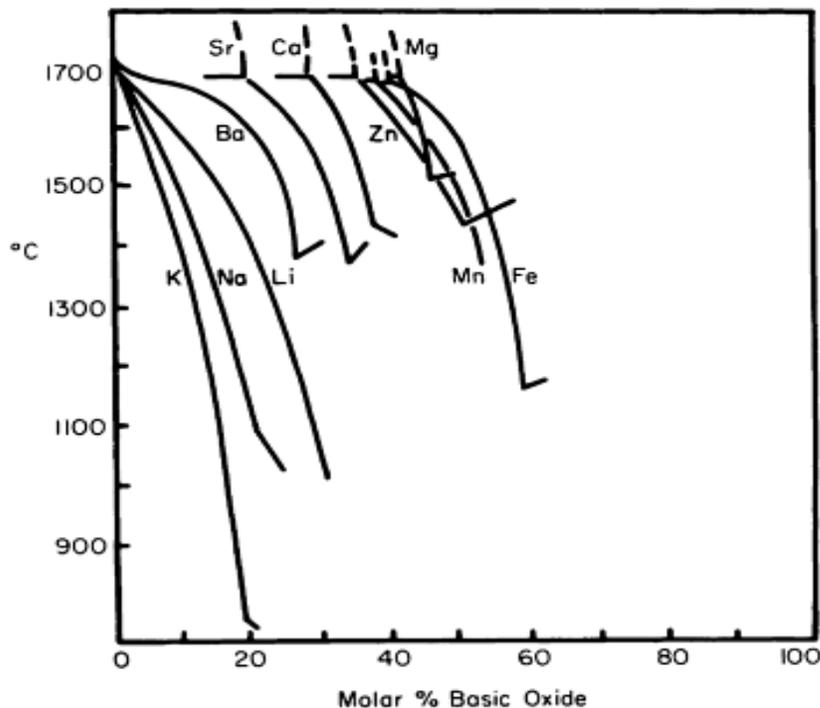


FIGURA 17-1 Curvas de liquidus de los sistemas de óxido de sílice binario

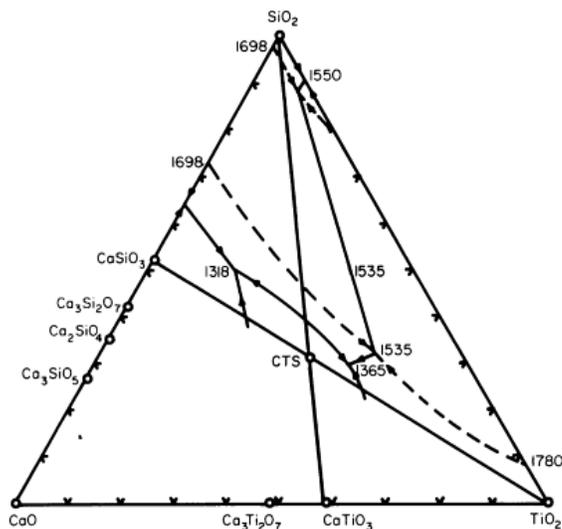
IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Ninguna inmiscibilidad se produce en los sistemas de óxido de sílice de metales alcalinos, pero la pendiente de las curvas de licuefacción disminuye a medida que el tamaño de los cationes disminuye y muestran que la desviación positiva de la ley de Raoult está de nuevo aumentando a medida que disminuye el tamaño de cationes.

En el sistema de $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ de manera similar, la miscibilidad del líquido se produce y Greig mostró que, cuando se añaden alúmina u óxidos alcalinos a los sistemas de silicato en las que ocurre inmiscibilidad, su efecto es hacer que la diferencia de miscibilidad sea menor y en última instancia, se eliminaría por completo, en un rango de 0,3 a 0,5% de Al_2O_3 alcalino o 2,5-3,0% es suficiente para hacer esto en la mayoría de los casos. Como consecuencia de ello, la presencia de estos óxidos, incluso en pequeñas cantidades, causa una marcada disminución en la resistencia de los ladrillos de sílice al estar en contacto con escorias siderúrgicas; también causa un aumento de la formación de la fase líquida a altas temperaturas en los ladrillos, que contienen hasta 2,0% de CaO (añadido como un "mineralizador").

La conclusión de que era dañino el TiO_2 para los ladrillos se basa en el diagrama de fases del sistema de $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$, lo que indica que la miscibilidad en el líquido no ocurrió en este sistema. Sin embargo, se encontró que los ladrillos que contienen hasta un 2,0% de TiO_2 tuvieron un buen desempeño en el servicio y parecía que el comportamiento de TiO_2 podría ser anómalo hasta que una revisión del diagrama de $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ mostró que el diagrama anterior había tenido un error, ya que la miscibilidad se había producido, aunque en el lado eutéctico del TiO_2 .

En el sistema ternario $\text{CaO-TiO}_2\text{-SiO}_2$, esto tuvo el efecto de producir una amplia fase de inmiscibilidad



en todo el diagrama que se muestra en la FIGURA 18-1. En consecuencia, en este sistema, la solubilidad de la sílice sólida en la fase líquida en realidad disminuye ligeramente cuando TiO_2 está presente. Como se muestra en el diagrama, alguna disminución de la temperatura de fusión completa también es de esperar, pero en el contenido de TiO_2 encontrado será muy pequeño.

FIGURA 18-1 Superficie de líquido del sistema ternario $\text{CaO-TiO}_2\text{-SiO}_2$ mostrando extensa área de inmiscibilidad líquido atravesado por $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ eutéctica frontera en 1535 ° C. Inmiscibilidad es normal en el lado de sílice de línea de límite e inversa en el lado TiO_2

1.5.8.2 Diagramas de Equilibrio de Fase en los refractarios básicos

Los estudios de equilibrio de fase también han desempeñado un papel esencial en el desarrollo de la moderna gama de refractarios básicos. Estos son de tres tipos principales, dolomita y magnesita, los cuales han estado en uso como materiales refractarios desde la introducción del acero básico y el tercer tipo es el cromo-magnesita, cuyo uso data de la década de 1930.

La cromita (mineral de cromo) había sido utilizado como un refractario neutral durante muchos años antes, pero su rango de usos había sido limitado por su relativamente bajo punto de resistencia.

Se encontró que al combinar magnesita y cromita daba como resultado un material que era superior al cromo en este aspecto y este descubrimiento dio lugar al desarrollo de hornos a corazón abierto en los que en la parte superior de su estructura están constituidos de cromo-magnesita en lugar de sílice.

Pronto se reconoció la superioridad del cromo-magnesita en relación con materiales refractarios de cromo y esta podría explicarse sobre la base del diagrama de equilibrio de fases del sistema binario $MgO-SiO_2$, que mostró que el efecto de la adición de magnesia es convertir el bajo derretimiento de silicatos de magnesio, que se producen en el mineral que se asociaba con las partes altamente refractarias de cromo, a Forsterita ($2 MgO-SiO_2$), que tiene un punto de fusión de $1940^\circ C$. Esta explicación, sin embargo, no podía demostrar la influencia de los otros componentes en el ladrillo, por ejemplo la cal, se sabe que es dañina, y tampoco toma en cuenta el hecho de que el cromo-magnesita, fue superior a la magnesita en las propiedades de soporte de carga y en la resistencia al ataque de óxido de hierro.

La respuesta a estas preguntas resultó ser una cuestión referida a las relaciones de fase y a la estructura. El primer paso en esta dirección fue la identificación de los conjuntos en fase sólida que coexisten con la fase magnesio-wustita en el sistema de siete componentes $CaO-MgO-FeO-Fe_2O_3-Al_2O_3-SiO_2-Cr_2O_3$. Este problema fue abordado por primera vez en el **Department Royal Technical College, Glasgow Metalurgia**, en la década de 1930, y el trabajo condujo a la formulación de un sistema de conjuntos de fase que define la combinación de fases que coexisten con la magnesia en el estado sólido del sistema de los siete componentes.

Afortunadamente, se encontraron que las relaciones son bastante simples debido al predominio de la solución sólida y de las principales características se pueden entender de las relaciones de fase sólida en la parte correspondiente del sistema $CaO-MgO-SiO_2-Fe_2O_3$ que se muestran en la FIGURA 19-1.

Este último muestra las diversas combinaciones de fase o conjuntos que pueden ocurrir en la presencia de MgO libre (periclasa). Cada conjunto consta de cuatro fases cuyas composiciones se encuentran en las esquinas de un tetraedro y en la parte dentro del tetraedro se encuentra composición del sistema completo. Estos tetraedros más pequeños también definen los límites de composición en el que existen los distintos conjuntos de fase.

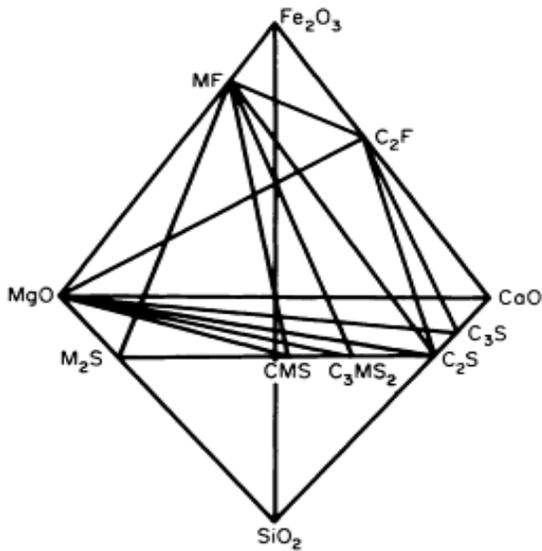


FIGURA 19-1 Relaciones de la fase sólida en la parte correspondiente del sistema $\text{CaO-MgO-SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$

1.6 DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES DE ASHBY

Durante los últimos años la selección de materiales ha asumido una gran importancia y, más aún, debe estar en evaluación continua. En efecto, la aparición de nuevos materiales es frecuente, mientras que decrece la disponibilidad de otros. Otras limitaciones las imponen la preocupación relativa a la contaminación ambiental, al reciclado, a la higiene y seguridad de la mano de obra. Además, el afán por reducir peso o ahorrar energía puede que dicten el uso de materiales diferentes. Otros factores que pueden promover una reevaluación de los materiales son las presiones de la competencia, nacional o extranjera, mayores exigencias en la calidad y duración de los materiales.

Un aspecto más que se debe tener en cuenta es la interdependencia de los materiales y su proceso de elaboración, hasta el punto de que la aparición de nuevos procesos obliga a reconsiderar los materiales ya en proceso. Por lo tanto, para lograr unos resultados satisfactorios, con unos costos moderados y por supuesto, asegurando la calidad, es indispensable que los ingenieros tanto de proyectos como de fabricación ejerzan el máximo cuidado al seleccionar, definir y utilizar materiales.

Convencionalmente, los materiales sólidos son clasificados en seis clases:

- Metales
- Cerámicos
- Polímeros
- Elastómeros
- Vidrios
- Y la combinación de estos, llamados híbridos o compuestos

En la TABLA 3-1 se muestran los miembros de cada una de estas familias.

TABLA 3-1 Clasificación de los materiales para manufactura

FAMILIA	MIEMBROS
METALES (los metales y aleaciones de ingeniería)	Aleaciones de Aluminio
	Aleaciones de Cobre
	Aleaciones de Plomo
	Aleaciones de Magnesio
	Aleaciones de Níquel
	Aceros al Carbono
	Aleaciones de Estaño
	Aleaciones de Titanio
	Aleaciones de Tungsteno
	Aleaciones de Zinc
Polímeros (los termoplásticos y termoestables)	Acrilonitrilo butadieno estireno
	Polímeros de Celulosa
	Ionómeros
	Epoxis
	Fenólicos
	Poliámidas (nylon)
	Policarbonatos
	Poliésteres
	Polieteretercetona
	Polietileno
	Polietileno Tereftalato
	Polimetil Metacrilato
	Polioximetileno (Acetal)

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

	Polipropileno
	Poli estireno
	Politetrafluoroetileno
	Cloruro de polivinilo
Elastómeros (cauchos, natural y sintético)	Caucho de butilo
	EVA
	Isopropeno
	Caucho Natural
	Poli cloropreno (neopreno)
	Poliuretano
	Los elastómeros de silicona
Cerámicas, cerámicas técnicas (Cerámicas finas con aplicación de soporte de carga)	Alúmina
	Nitruro de Aluminio
	Carburo de Boro
	Carburo de Silicio
	Nitruro de Silicio
	Carburo de Tungsteno
Cerámica, cerámica no técnicos (Cerámica porosa de la construcción)	Ladrillo
	Concreto
	Piedra
Vidrios	Vidrio de sosa y cal
	Vidrio boro-silicato
	Vidrio de Sílice
	Vitro-cerámica
Híbridos: compuestos	Polímeros de fibra de carbono reforzado
	Con fibra de vidrio reforzada polímeros
	Cloruro de Silicio reforzado de aluminio

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Híbridos: espumas	Espumas de polímeros flexibles
	Espumas de polímeros rígidos
Híbridos: materiales naturales	Corcho
	Bambú
	Madera

Las propiedades de mecánica de fractura y las propiedades mecánicas presentan un amplio intervalo de valores para los diferentes materiales de uso ingenieril, por lo que, con el fin de facilitar la selección de materiales así como para visualizar las relaciones entre las propiedades, se han ideado diferentes Gráficas de Selección de Materiales.

La difusión de los datos en una Gráfica de Selección, por tanto, aumenta nuestra apreciación de la física subyacente de cada propiedad. Como su nombre indica, las Tablas o Gráficas de Selección de Materiales son también una herramienta valiosa en el diseño de ingeniería, los diseñadores tienen una tarea difícil en la elección de los materiales de los productos, ya que suelen tener en cuenta muchos objetivos y limitaciones de la competencia a la vez, por ejemplo elegir un material que sea ligero y rígido, fuerte y barato, resistente y reciclable, etc. Por lo tanto, la selección de materiales en el diseño es una cuestión de valoración de los intercambios entre varios requisitos en conflicto. Tradicionalmente, los diseñadores han utilizado extensos manuales y su propia experiencia para orientar la elección de material en el diseño.

Las Gráficas de Selección de Materiales son cartas en las que una propiedad es representada en función de otra, presentando regiones de valores típicos de cada par de propiedades. Los datos de estas gráficas son aproximados, que tipifican cada clase de materiales (aceros inoxidables, o polietilenos, por ejemplo) o procesos (fundición en arena, o moldeo por inyección, por ejemplo), pero dentro de cada clase hay una variación considerable. Estos son adecuados para las amplias comparaciones requeridas para el diseño conceptual, y, a menudo, para la realización de cálculos aproximados de diseño. Estos diagramas NO SON PARA EL CÁLCULO en la Ingeniería de Detalle, ya que para esa fase es esencial buscar datos precisos de los manuales y las fichas de datos proporcionados por los proveedores de materiales.

Existen muchas Gráficas de Selección de Materiales, pero existen unas en específico que se consideran las más representativas, fueron propuestas por M. E. Ashby (1988) así que reciben el nombre de “Gráficas de Selección de Materiales de Ashby” o simplemente “Diagramas de Ashby”

Los datos son obtenidos de compendios de propiedades de materiales y son validados por comparación con más de una fuente. Cuando alguna propiedad presenta gran variación debido a su condición estructural, como por ejemplo, la tenacidad a la fractura en deformación plana, que depende del tratamiento térmico, el tamaño de poro, etc., se emplean “globos” que encierran los intervalos de valores típicos de la propiedad para un material dado.

Como es de esperar, rara vez el comportamiento de un material depende sólo de una propiedad. De igual manera, los Diagramas de Ashby, muestran que las propiedades de las diferentes clases de

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

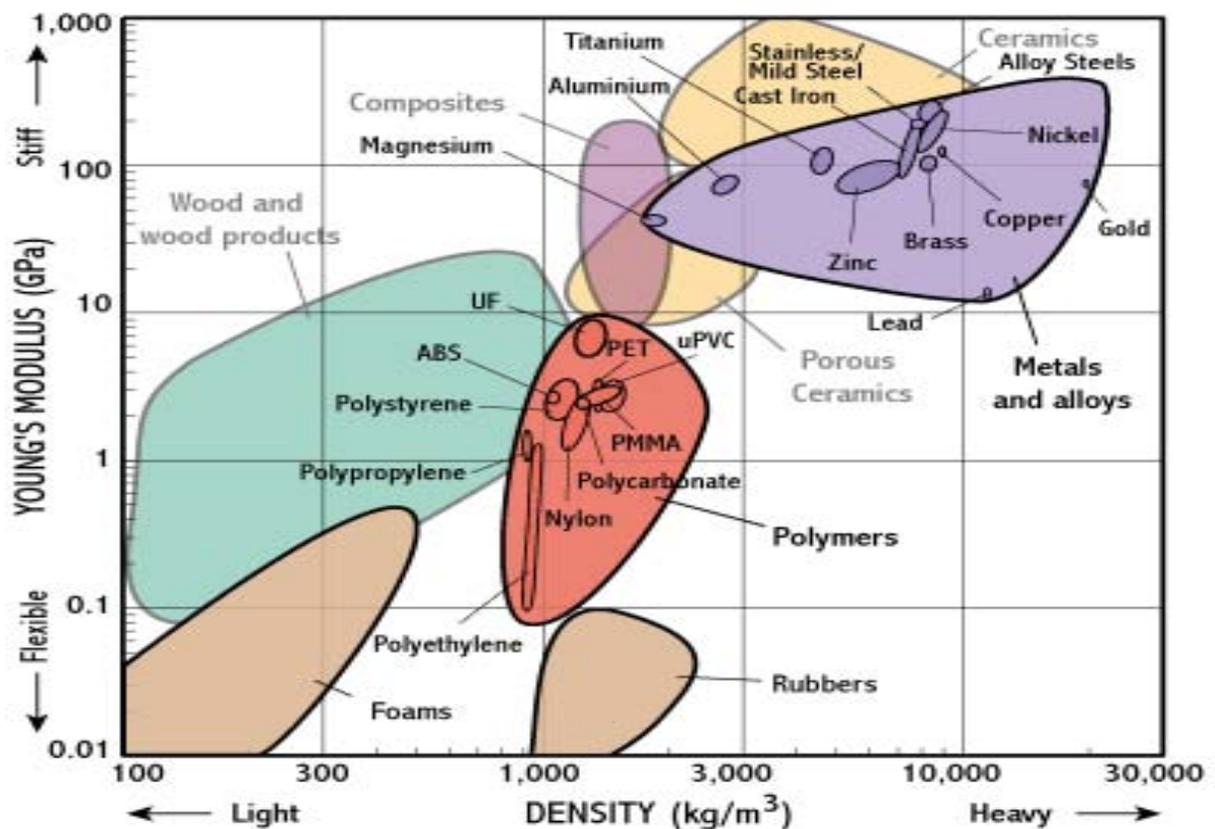
materiales pueden variar en amplios intervalos (dependiendo del estado de estos), formando grupos que se ubican en áreas cerradas, zonas o campos en tales gráficas. Eso significa, que una misma familia de materiales puede tener una apreciable variación en sus propiedades, generando un campo o zona en los mapas.

En estos mapas relacionan entre otras propiedades, la resistencia, módulo de elasticidad, densidad, tenacidad, conductividad térmica, costes, etc., estos diagramas son una nueva forma gráfica de presentar los datos de propiedad material y la mayoría de las características mecánicas se extienden por varios órdenes de magnitud, por lo que se usan escalas logarítmicas.

1.6.1 Gráficas de Selección de Materiales Modulo de Young - Densidad

En la FIGURA 20-1 las burbujas para un tipo de metal o polímero (aceros o aleaciones de aluminio o nylon) son en su mayoría pequeñas. El módulo de Young y el módulo de la densidad del acero sólo dependen de la forma en que los átomos de hierro están acomodados, y la unión entre ellos -el tratamiento térmico casi no tiene efecto-. Llamamos a estas propiedades "microestructura insensible".

FIGURA 20-1 Diagrama de Ashby: Modulo de Young- Densidad.



1.6.1.1 Perspectivas físicas del Diagrama de Ashby

- Las medidas de rigidez nos dan una idea de cuánto un material se extiende elásticamente cuando se aplica una carga. Las medidas del módulo de Young y la rigidez es una constante del material, es decir, es la misma sea cual sea el tamaño de la pieza de prueba.
- La densidad es una propiedad que depende tanto del acomodo atómico en el material, y el módulo de Young depende del tipo de enlace entre los átomos (enlaces de los electrones, enlaces covalentes, iónicos etc.)
- Observe en la FIGURA 20-1 cómo los materiales se encuentran más o menos todos en una diagonal esto se debe a que el módulo de Young está fuertemente relacionado con la densidad.
- Las burbujas de que contienen a los metales y polímeros son pequeñas, esto se debe a que la composición y tratamiento de materiales no tienen un efecto significativo en la densidad o en el módulo de Young.
- Las maderas tienen diferente rigidez en función de si, esto es debido a que la celulosa rígida tiene, sus microfibras alineadas. Tanto papel como los tableros de fibra de densidad media están hechos de pulpa de madera y por ello tienen densidades similares, pero tienen poca variación direccional en el Módulo de Young.
- Las espumas tienen las densidades más bajas porque tienen poros llenos de aire.
- Tenga en cuenta que las escalas son logarítmicas, debido a las grandes gamas de valores.

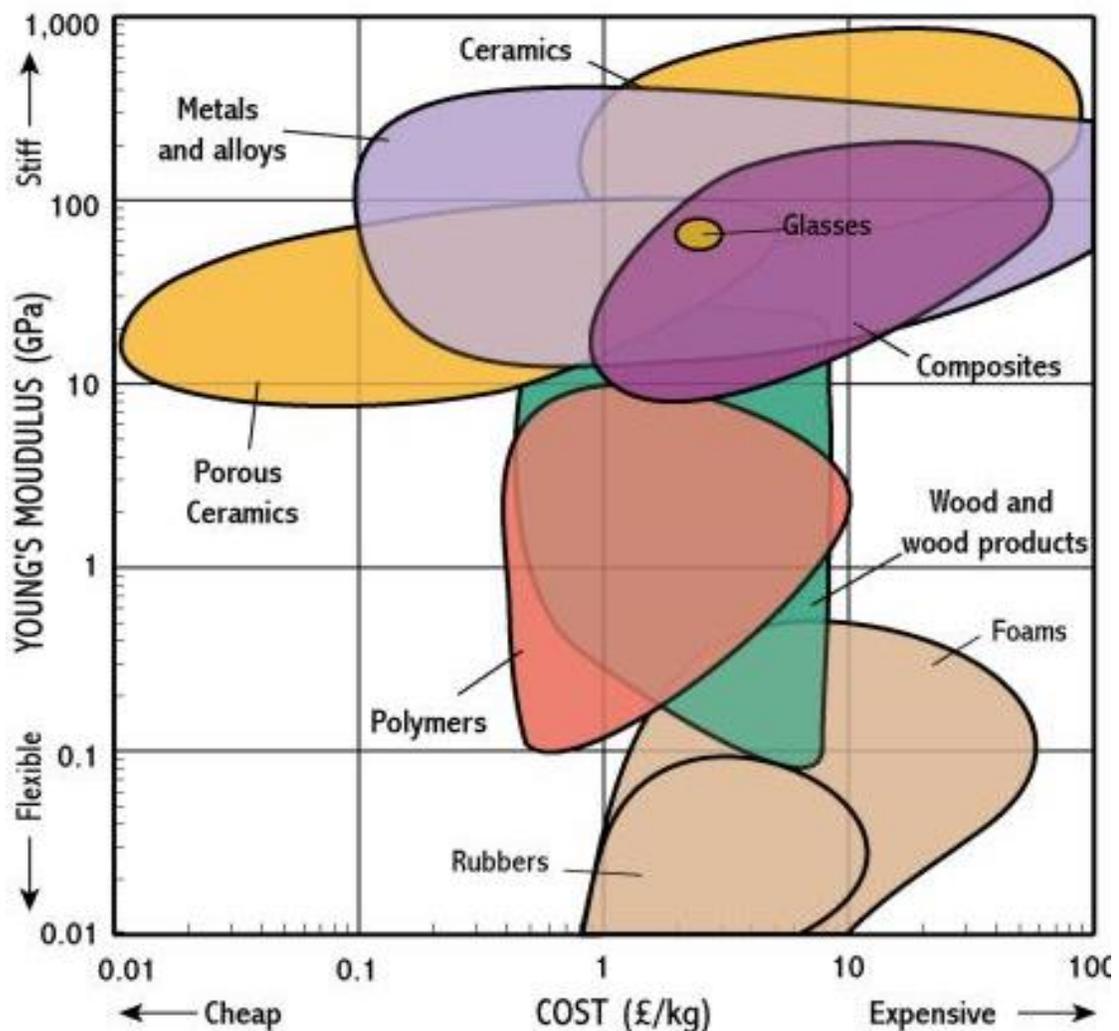
1.6.1.2 Aplicaciones de los Diagramas de Ashby

- ✓ Los materiales ligeros rígidos son difíciles de encontrar, suelen ser empleados para productos deportivos y bicicletas, pero por lo general son bastante caros, y la madera todavía se utiliza para productos más baratos (por ejemplo, remos).
- ✓ Muchas aplicaciones requieren materiales rígidos, por ejemplo, vigas del techo.
- ✓ Muchas aplicaciones requieren materiales de baja densidad, por ejemplo, espumas de embalaje.
- ✓ Polímeros no parecen una buena opción para productos ligeros o rígidos - pero pueden ser reforzadas por la incorporación de nervaduras de refuerzo en el diseño
- ✓ Las cerámicas son bastante ligeras y muy rígidas pero su poca resistencia a la tracción y tenacidad significa que son propensos a la fractura.

1.6.2 Gráficas de Selección de Materiales Modulo de Young - Costo

Las medidas del módulo de rigidez y de Young es una constante del material, es decir, es la misma sea cual sea el tamaño de la pieza de prueba. Muchas aplicaciones requieren materiales rígidos, por ejemplo, vigas, marcos de la bicicleta, estos materiales se encuentran en la parte superior del diagrama ilustrado en la FIGURA 21-1; también muchas aplicaciones requieren materiales de bajo costo, por ejemplo, espumas de embalaje, estos materiales se encuentran a la izquierda del diagrama. Por último los materiales rígidos y menos costosos, se encuentran en la parte superior izquierda del diagrama, en su mayoría metales y cerámicas

FIGURA 21-1 Diagrama de Ashby: Modulo de Young - Costo



1.6.1.1 Perspectivas físicas del Diagrama de Ashby: Modulo de Young - Costo

- ✓ Los Polímeros no parecen una buena opción para productos rígidos y de bajo costo; pero pueden ser reforzados por la incorporación de otros materiales en el diseño.
- ✓ El diamante es el material más rígido debido a su unión covalente completa; pero su precio es alto lo cual significa que no se utiliza para aplicaciones de ingeniería.
- ✓ El polietileno tiene una amplia gama de módulo de Young, porque la 'burbuja' incluye tanto LDPE y HDPE (especificaciones de polietileno).

1.6.1.2 Aplicaciones del Diagrama de Ashby: Modulo de Young - Costo

- ✓ El hormigón es barato y dura mucho, por lo tanto es ideal para las estructuras (FIGURA 22-1).
- ✓ El Hierro fundido es ideal para las plataformas de una máquina, ya que proporciona una gran rigidez a bajo costo (FIGURA 23-1).



FIGURA 22-1 Hormigón poroso utilizado en estructuras

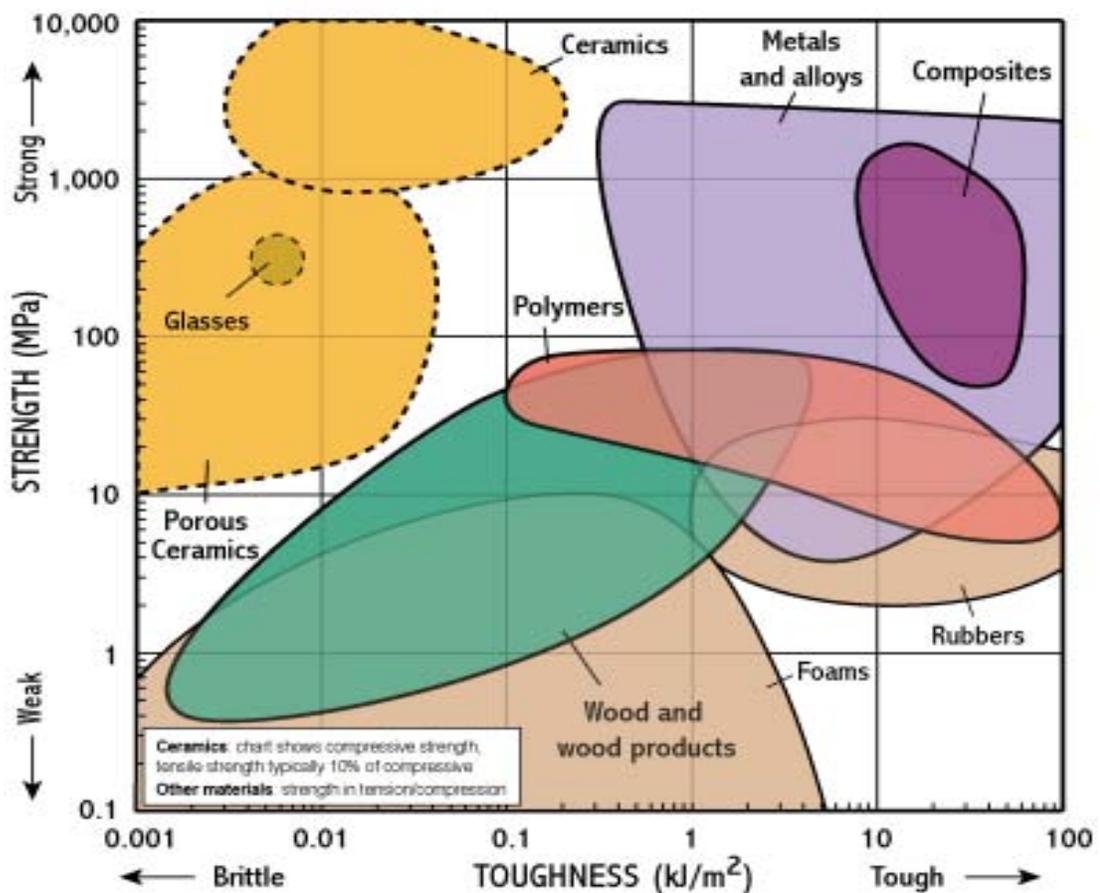
FIGURA 23-1 Tubería de Hierro fundido



1.6.3 Graficas de Selección de Materiales Fuerza-Resistencia

En este diagrama (FIGURA 24-1) se observa que las "burbujas" son mucho más grandes, esto se debe a que la plasticidad y fractura de los materiales son mucho más sensibles a la microestructura del material. Los materiales dúctiles son controlados por flujo plástico, que trabaja por el movimiento de defectos llamados "dislocaciones". El movimiento de las dislocaciones puede ser impedido por el cambio de la microestructura (mediante la aleación y el tratamiento térmico), ya que hacen que el material más duro reduzca su dureza. En materiales frágiles como la cerámica, resistencia y tenacidad dependerá de los defectos, que este tipo de material siempre contiene. Observe también que el gráfico muestra la resistencia a la compresión para la cerámica (que es alta), pero es mucho más débil en tensión. En el gráfico fuerza-resistencia, para la selección de los metales, en general, se obtiene que la tenacidad de un tipo de aleación disminuye a medida que se incrementa su fuerza.

FIGURA 24-1 Diagrama de Ashby: Fuerza - Resistencia



1.6.3.1 Perspectivas físicas del Diagrama de Ashby: Fuerza-Resistencia

- La fuerza mide la resistencia de un material al fallo, dado por la tensión aplicada (o la carga por unidad de área).
- El gráfico muestra el límite elástico en tensión para todos los materiales, a excepción de la cerámica para la que se muestra la resistencia a compresión (su resistencia a la tracción es mucho más baja).
- La dureza mide la energía requerida para propagar una grieta a través de un material; es importante para los materiales que están sometidos a impacto.
- Las burbujas que engloban estos materiales son grandes, en particular para metales, debido a la composición y procesamiento de material y tienen un efecto significativo sobre la resistencia y la tenacidad en el material.
- Las resistencias a la tracción de los materiales frágiles son muy sensibles a la presencia de defectos.

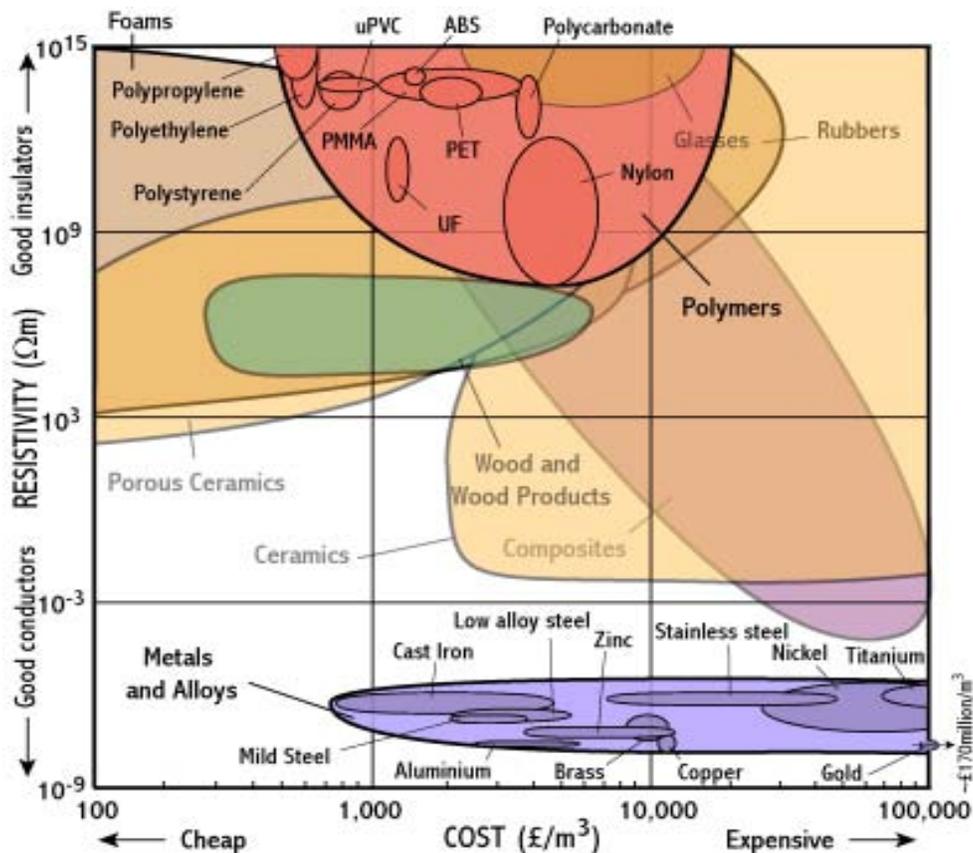
1.6.3.2 Aplicaciones del Diagrama de Ashby: Fuerza-Resistencia

- ✓ Hay muchos casos en los que la fuerza no es buena si el material tiene alta dureza. Las hojas de sierras, cabezas de los martillos y los componentes del motor son comúnmente hechas de acero templado y revenido para obtener moderadamente alta resistencia con buena tenacidad.
- ✓ El acero se utiliza a menudo para absorber la energía en impactos de automóviles, ya que es un material resistente y fuerte.
- ✓ La cerámica no se puede utilizar para los equipos o estructuras que sufren impacto debido a su baja dureza.
- ✓ Los plásticos son bastante sensibles a las grietas y a los defectos, ya que no absorben mucha energía cuando se fracturan; sin embargo, debido a su ductilidad la energía es absorbida forzando el material a la fractura. Esto hace que sean buenas para los juguetes de los niños, ya que su baja resistencia tampoco es importante.
- ✓ El Hierro fundido es frágil, ya que contiene fragmentos de grafito que se comportan como pequeñas grietas en el metal.

1.6.4 Graficas de Selección de Materiales: Resistividad Eléctrica - Costo

La FIGURA 25-1 muestra que los metales, que son conductores, tienen resistividad mucho más baja que casi todos los demás materiales. Los polímeros y cerámicas caen en la parte superior de la tabla, esto quiere decir que son aislantes. Vale la pena notar que el rango de resistividad es enorme, es evidente que en la selección de un conductor en este diagrama habrá diferencias muy significativas por lo que los mejores materiales son aquellos que se encuentran en la parte inferior de la burbuja de los metales, tales como cobre y aluminio. El oro es excelente conductor, pero es un material bastante caro, aun así, se utiliza para contactos eléctricos en microcircuitos. Por último, la conductividad térmica y la conductividad eléctrica están estrechamente relacionadas. El gráfico de la resistividad eléctrica también da una indicación de las propiedades térmicas: los aislantes térmicos se muestran en la parte superior (polímeros y espumas, y cerámicas) y algunos buenos conductores térmicos como los metales en la parte inferior. El rango de conductividad térmica también es grande, por lo que los metales sus propiedades térmicas varían de forma significativa.

FIGURA 25-1 Diagrama de Ashby: Costo - Resistividad Eléctrica



1.6.4.1 Perspectivas físicas del Diagrama de Ashby: Costos-Resistividad Eléctrica

- Los metales son mucho mejores conductores que otros materiales debido a que sus átomos están ionizados, unidos por un "mar" de electrones libres.
- Los metales puros son mejores conductores que las aleaciones esto se debe a que los electrones viajan a través del enrejado de iones y son obstruidos por irregularidades tales como los átomos de aleación.
- Los polímeros y cerámicas son buenos aislantes porque sus electrones están fuertemente unidos a los átomos o iones individuales.
- Los semiconductores son "impurificados" por elementos que proporcionan electrones adicionales (tipo n) o proporcionan agujeros positivos (tipo p) que pueden moverse libremente.

1.6.4.2 Aplicaciones del Diagrama de Ashby: Costo - Resistividad Eléctrica

- ✓ Esta tabla es importante para el diseño de equipos o tuberías a un costo razonable, que requieren un buen aislamiento eléctrico (por ejemplo carcasas de enchufe, hecha de polímeros) o buena conductividad eléctrica (por ejemplo, cables de energía eléctrica, de aluminio o cobre).
- ✓ El oro y la plata tienen las mejores conductividades pero son demasiado caros para ser utilizados, excepto como conectores en aplicaciones electrónicas.
- ✓ Los conductores eléctricos también son generalmente buenos conductores térmicos porque sus electrones libres contribuyen a la conducción térmica. Sin embargo, algunos aislantes tales como mármol y diamante son muy buenos conductores térmicos, ya que la energía se transmite a través de las vibraciones de la red atómica (FIGURA 26-1)



FIGURA 26-1 Materiales conductores

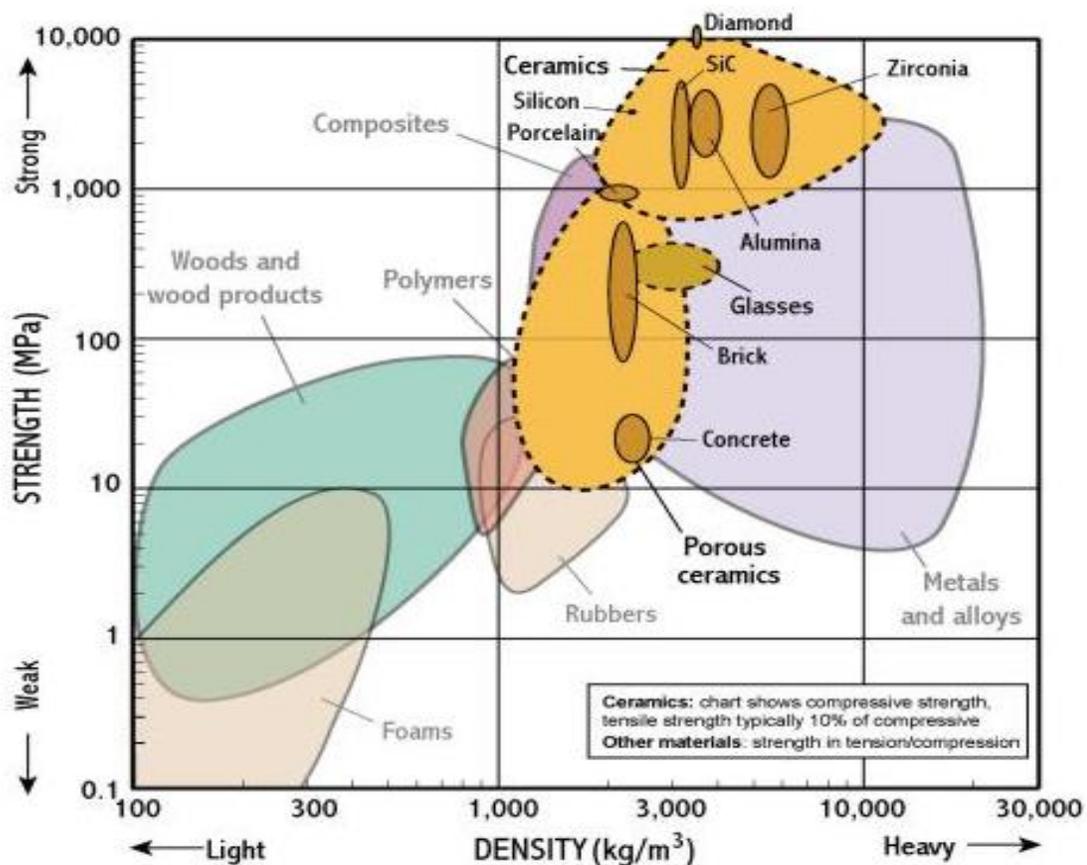
1.6.5 Graficas de Selección de Materiales: Fuerza - Densidad

La Fuerza mide la resistencia que opone un material al fracaso, y está dada por la tensión aplicada (o la carga por unidad de área), el grafico de la FIGURA 27-1 muestra el límite de elasticidad en tensión para todos los materiales, a excepción de la cerámica para la que se muestra la resistencia de compresión (su resistencia a la tracción es mucho más bajo).

Este diagrama es útil para identificar los materiales para los equipos que requieren alta resistencia combinada con un peso mínimo (superior izquierda). La mayoría de los polímeros tienen densidades ligeramente superiores a 1, la mayoría de las maderas poco menos de 1, esto indica que son materiales muy ligeros y por lo tanto que pueden flotar.

La alta resistencia combinada con bajo peso es tan importante que a menudo una propiedad llamada *resistencia específica* se define como la fuerza / densidad.

FIGURA 27-1 Diagrama de Ashby: Fuerza - Densidad



1.6.5.1 Perspectivas físicas del Diagrama de Ashby: Fuerza - Densidad

- ✓ Las burbujas se alargan en el eje de la fuerza, pero no de la densidad. Esto se debe a que los tratamientos de aleación y de calor tienen un fuerte efecto en la fuerza, pero poco sobre la densidad, de los materiales.
- ✓ La fuerza se correlaciona con la densidad de modo que la mayoría de los materiales se encuentran en la parte superior izquierda e inferior derecha de forma diagonal.
- ✓ Los materiales compuestos proporcionan un medio para lograr una alta resistencia con bajo peso porque poseen fibras muy fuertes en matrices ligeras.
- ✓ Las maderas se pueden comparar con las espumas de polímero (FIGURA 29-1), ya que ambos materiales tienen poros llenos de aire, es por eso que flotan en el agua y obviamente tienen una baja densidad.
- ✓ La madera logra una alta resistencia a baja densidad por su eficiente microestructura celular (FIGURA 28-1).

1.6.5.2 Aplicaciones del Diagrama de Ashby: Fuerza - Densidad

- ✓ Los Aerodinos o aeroplanos tienden a ser construidos a partir de materiales ligeros y fuertes (tubos de metal con nylon o cubiertas similares).
- ✓ Para piezas en forma de marcos a menudo se utilizan tubos de aluminio de bajo peso.

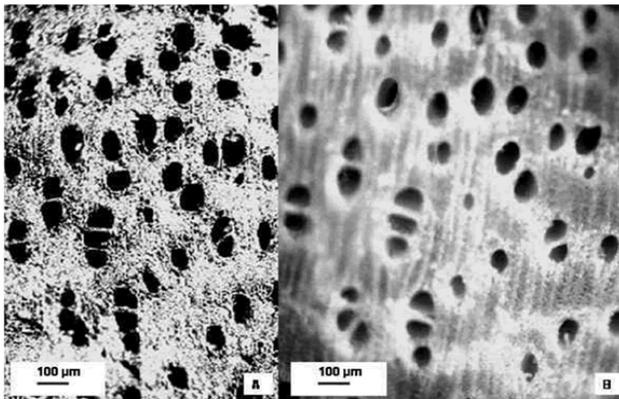
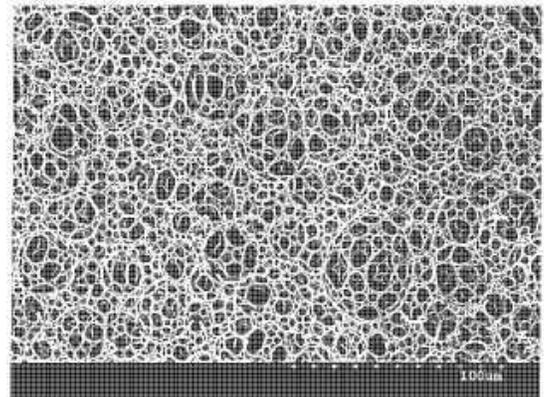


FIGURA 28-1 Poros que poseen las maderas

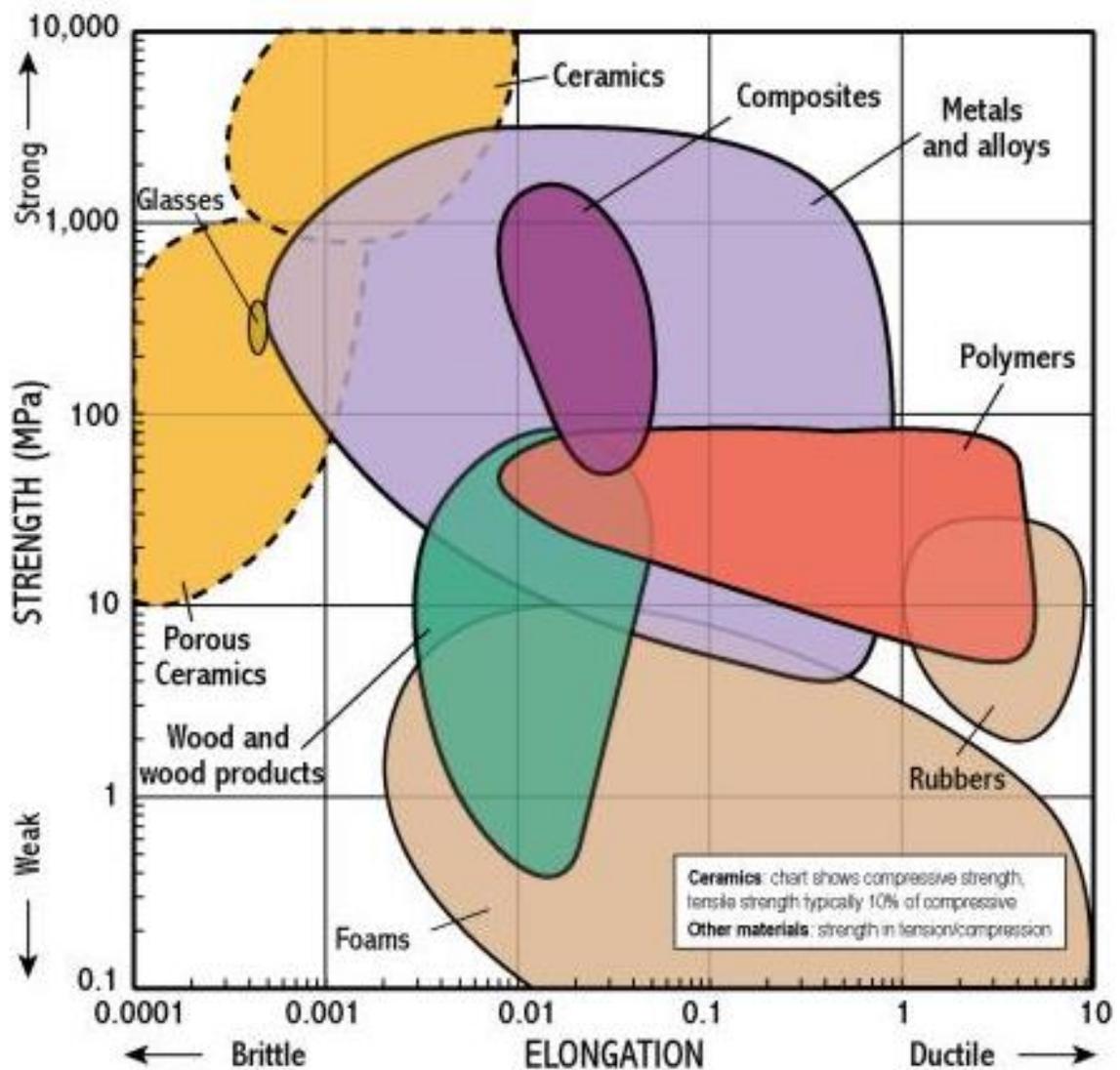
FIGURA 29-1 Poros que poseen las espumas poliméricas



1.6.6 Gráficas de Selección de Materiales: Fuerza - Elongación

El gráfico de la FIGURA 30-1 muestra el límite elástico en tensión para todos los materiales, a excepción de la cerámica, para la que se muestra la resistencia a compresión (debido a que su resistencia a la tracción es mucho más baja). La elongación mide la variación porcentual de longitud antes de la fractura ya que el alargamiento o elongación a la rotura es una medida de la ductilidad.

FIGURA 30-1 Diagrama de Ashby: Fuerza - Elongación



1.6.6.1 Perspectivas físicas del Diagrama de Ashby: Fuerza - Elongación

- ✓ Cerámica tienen elongaciones muy bajas (<1%) porque no pueden deformarse plásticamente.
- ✓ Los metales tienen elongación moderada al fracaso (1-50%) con deformación, esto es porque se produce por el flujo de plástico.
- ✓ Los termoplásticos tienen grandes elongaciones (> 100%) debido a que las moléculas pueden estirarse y deslizarse sobre otras moléculas.
- ✓ Los Cauchos tienen elongaciones grandes porque las cadenas se pueden enrollar / desenrollar elásticamente.
- ✓ Los termoestables tienen bajas elongaciones (<5%) debido a que las moléculas se unen entre sí en una red de manera que no pueden deslizarse una sobre otra.
- ✓ Una forma de fortalecer un metal es hacer difícil el flujo plástico ya que esto reduce la ductilidad y elongación.

1.6.6.2 Aplicaciones del Diagrama de Ashby: Fuerza - Elongación

- ✓ Pocos materiales están diseñados a alargarse significativamente, el ejemplo de esto es la protección contra impactos, como barreras de protección (FIGURA 31-1).
- ✓ El gráfico ayuda a identificar materiales que pueden deformarse fácilmente en nuevas formas durante la fabricación.
- ✓ A los diseñadores les gusta usar metales con alargamiento significativo al fracaso, ya que son más tolerantes de los malos tratos, por ejemplo, el chasis del automóvil.

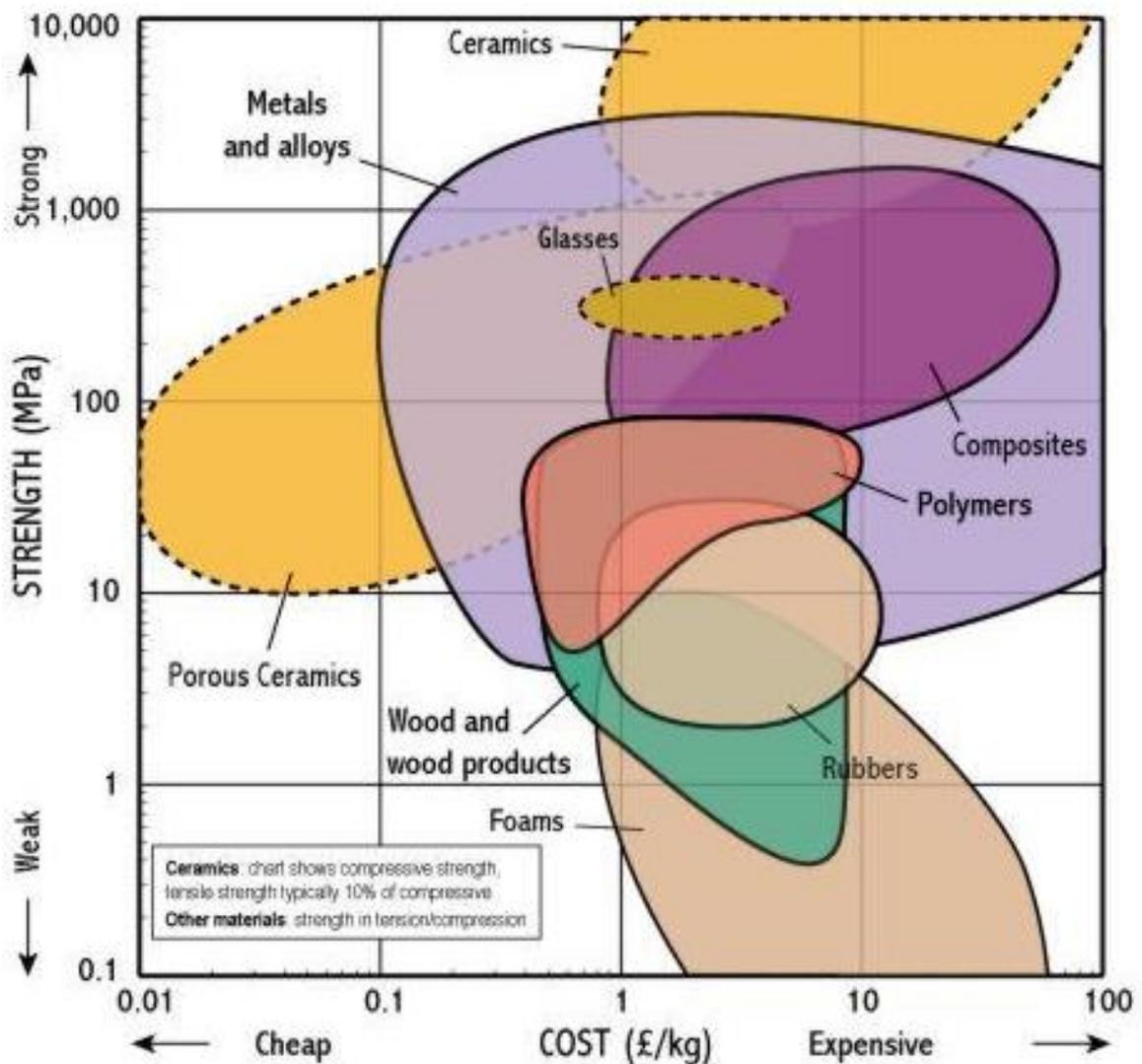


FIGURA 31-1 Barreras de protección, diseñadas para alargar su longitud a consecuencia de impactos.

1.6.7 Gráfica de Selección de Materiales: Fuerza - Costo

Muchas aplicaciones requieren materiales fuertes, por ejemplo, destornilladores, cinturones de seguridad, etc. estos se encuentran en la parte superior del Grafico que se muestra en la FIGURA 32-1, lamentablemente hay pocos materiales de alta resistencia baratos (parte superior izquierda)

FIGURA 32-1 Diagrama de Ashby: Fuerza - Costo



1.6.7.1 Perspectivas físicas del Diagrama de Ashby: Fuerza - Costo

- ✓ Productos cerámicos y vítreos tienen enlaces covalentes direccionales. Son débiles en la tensión debido a que son sensibles a pequeñas grietas o defectos.
- ✓ Los metales no tienen enlaces direccionales y tienen propiedades similares en tracción y compresión.
- ✓ Las aleaciones son mucho más fuertes que los metales puros.
- ✓ Los metales pueden ser fortalecidos mediante tratamiento térmico para cambiar la microestructura.

1.6.7.2 Aplicaciones del Diagrama de Ashby: Fuerza - Costo

- ✓ La Cerámica se usa para la construcción de ladrillos refractarios y para recubrimientos para palas de motores (FIGURA 33-1).
- ✓ El Teflón se emplea como una superficie antiadherente para sartenes (FIGURA 34-1).
- ✓ El tungsteno es utilizado para los filamentos de bombillas.



FIGURA 33-1 Ladrillo refractario, utilizado en la construcción de hornos de gran tamaño.



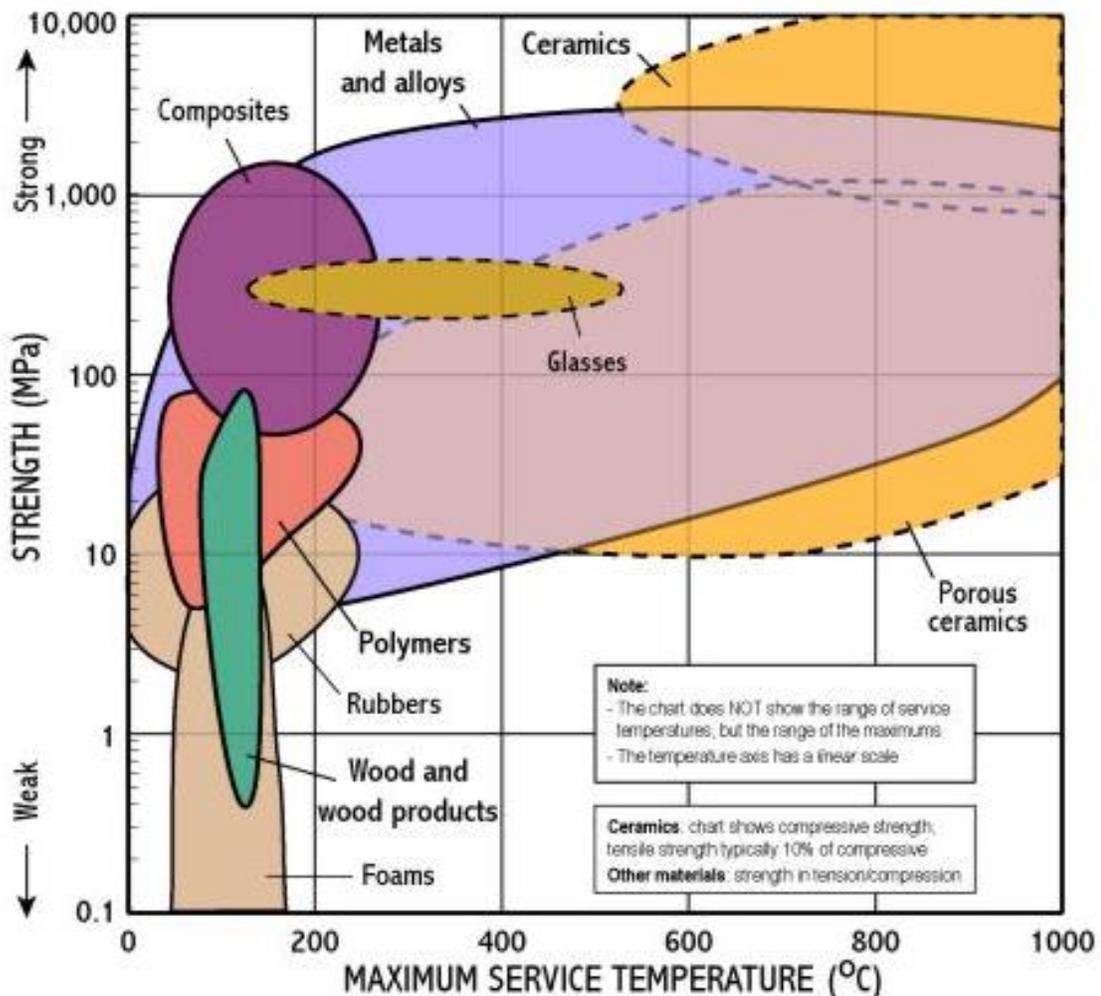
FIGURA 34-1 Teflón, utilizado como material antiadherente.

1.6.8 Gráficas de Selección de Materiales: Fuerza – Temperatura Máxima de Servicio

La temperatura máxima de servicio indica la temperatura máxima a la que un material puede ser utilizado en la ingeniería, si esta temperatura está por encima del límite, su fuerza disminuye rápidamente; este diagrama (FIGURA 35-1) es útil para identificar los materiales para los equipos que funcionan a temperaturas superiores a la temperatura ambiente, por ejemplo, utensilios de cocina, motores de automóviles y tubos de escape.

Los polímeros se limitan a bajas temperaturas, los metales a temperaturas intermedias, y sólo cerámicas pueden soportar temperaturas muy altas.

FIGURA 35-1 Diagrama de Ashby: Fuerza – Temperatura Máxima de Servicio



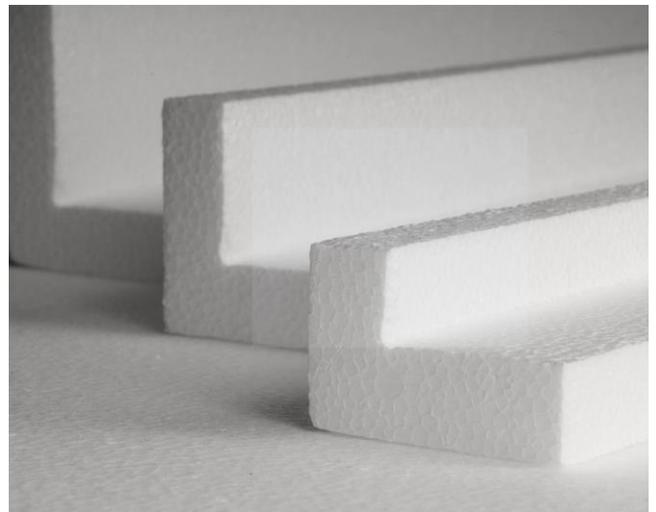
1.6.8.1 Perspectivas físicas del Diagrama de Ashby: Fuerza - Temperatura Máxima de Servicio

- ✓ Los polímeros termoplásticos funcionan a temperaturas más bajas que los termoestables porque las fuerzas de Van der Waals mantienen juntas las cadenas.
- ✓ Las cerámicas pueden operar a alta temperatura debido a los enlaces covalentes que son muy estables (FIGURA 36-1).
- ✓ El poliestireno tiene una temperatura de uso máxima inferior a 100 ° C (FIGURA 37-1).



FIGURA 36-1 Los ladrillos cerámicos, se emplean en la construcción de hornos refractarios los cuales son capaces de operar a temperaturas muy altas

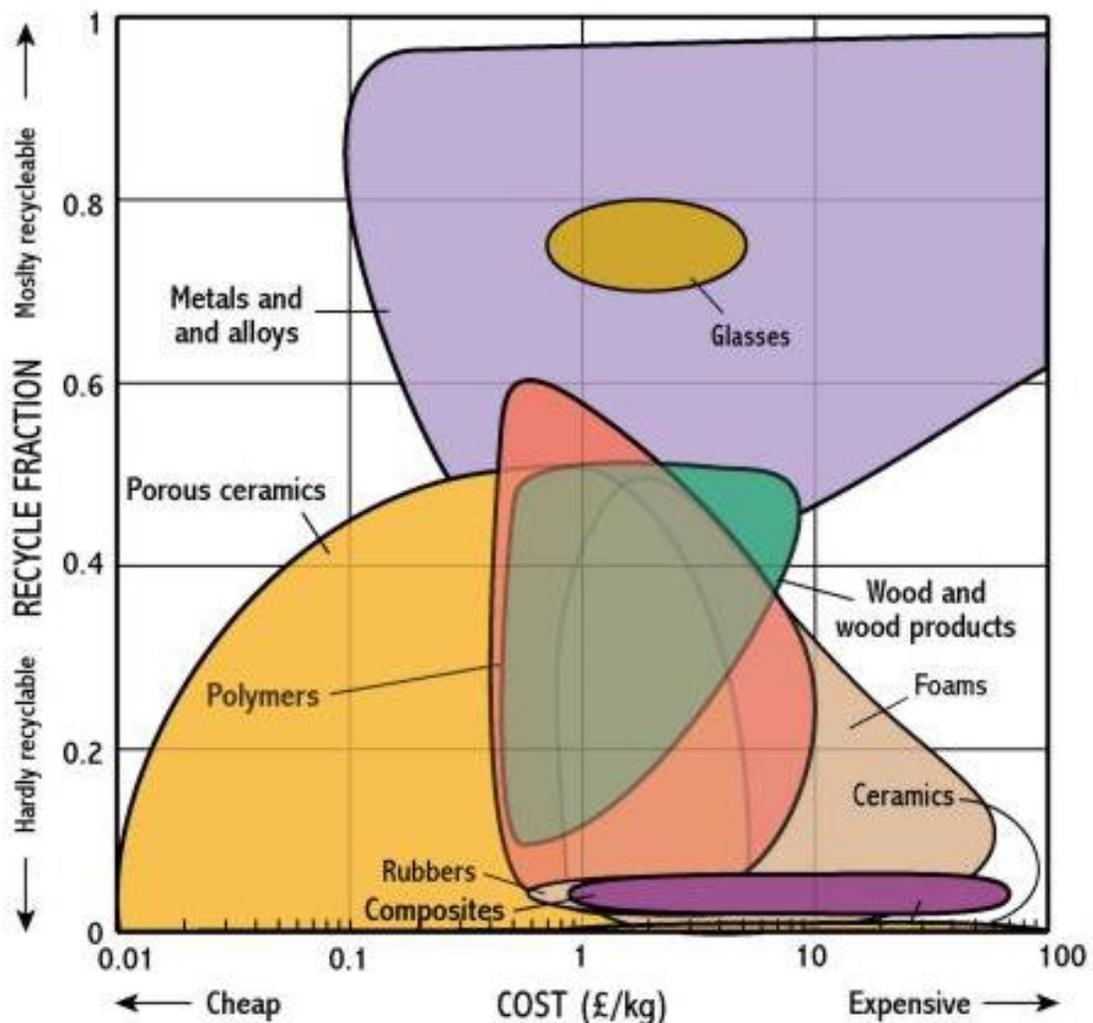
FIGURA 37-1 El poliestireno solo se puede someter a temperaturas menores a 100 °C



1.6.9 Gráficas de Selección de Materiales: Fracción de reciclaje - Costo

La fracción reciclada quiere decir que la fracción de algún material se puede reciclar de forma rentable, las fracciones de alto reciclaje no se alcanzan necesariamente en la actualidad. El reciclaje implica devolver el material a su forma natural, pero volver a usarlo es a veces más eficiente energéticamente hablando. Este grafico (FIGURA 38-1) es útil para identificar los materiales que se reciclan en gran medida, y la exploración de los que no lo son. Naturalmente se hacen grandes esfuerzos para reciclar materiales caros.

FIGURA 38-1 Diagrama de Ashby: Fracción de reciclaje - Costo



1.6.9.1 Perspectivas físicas del Diagrama de Ashby: Fracción de reciclaje - Costo

- ✓ A pesar de los altos costos, los materiales compuestos resultan difíciles de reciclar; la mayoría se basan en materiales termoestables, que no pueden fundirse, y en todos los compuestos es difícil separar las fibras de estos materiales.
- ✓ Los termoplásticos se usan indistintamente (haciendo su separación difícil) o se utilizan los materiales de baja densidad, para fabricar objetos de gran volumen (por ejemplo, botellas) haciendo reciclaje más costoso.

1.6.9.2 Aplicaciones del Diagrama de Ashby: Fracción de reciclaje – Costo

- ✓ Los metales son particularmente adecuados para el reciclado, ya que pueden ser fácilmente fundidos para darles otra forma; a menudo se utilizan para fabricar objetos grandes o complicados (por ejemplo, barcos, coches, latas de bebidas, tuberías, etc.)
- ✓ Con los termoestables no puede pasar lo mismo, es por eso que se conduce a bajos niveles de reciclaje, y la cerámica casi nunca se recicla (FIGURA 39-1).



FIGURA 39-1 Los materiales plásticos son más fáciles de reciclar ya que pueden tomar la forma que se les dé.

1.6.10 Gráficas de Selección de Materiales: Energía – Costo

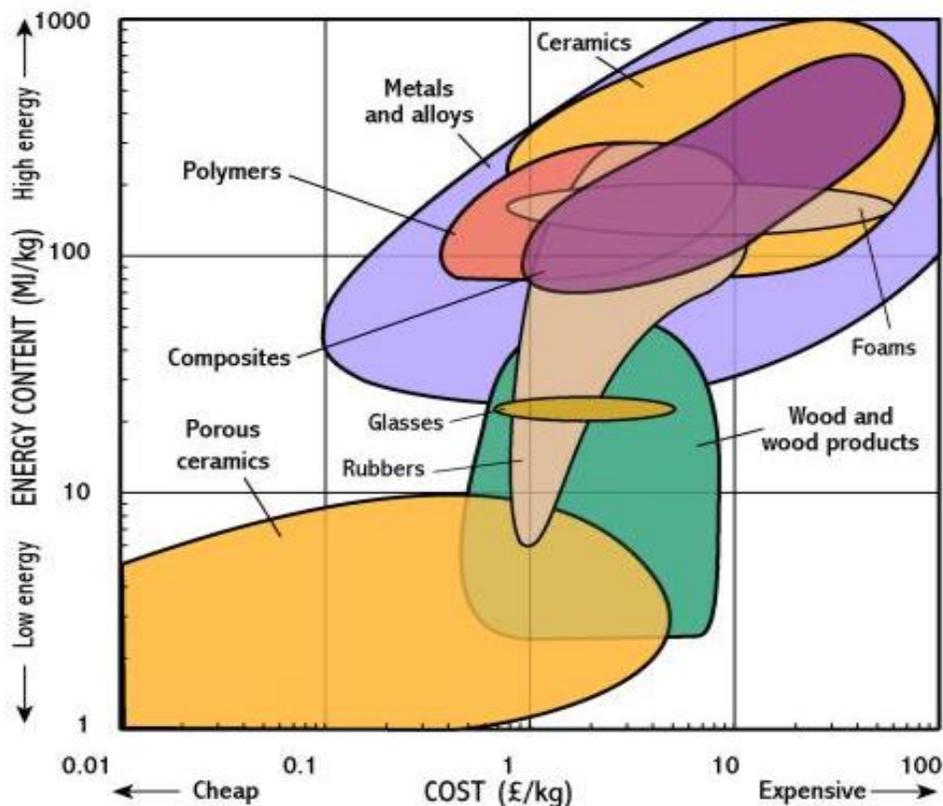
En general, la energía requerida para producir un material es un factor importante en el costo de materia prima. Como resultado la mayoría de los materiales se encuentran en una línea trazada desde la parte inferior izquierda (bajo costo / bajo contenido de energía) hasta la parte superior derecha (alto costo / contenido energético mayor) del diagrama mostrado en la FIGURA 40-1.

Es difícil evaluar el impacto ambiental del uso de un material sobre otro, ya que hay muchos factores, desde la producción hasta su eliminación.

El contenido de energía utilizada para producir un material da una indicación aproximada del costo ambiental de la producción, para materiales que consumen mucha energía al ser producidos hay grandes ahorros de costos y de energía.

El oro es un metal precioso que se puede vender a un precio muy alto; esto significa que se puede gastar más energía en la extracción por rocas mineras que contienen sólo una pequeña fracción de oro.

FIGURA 40-1 Diagrama de Ashby: Energía – Costo



1.6.10.1 Perspectivas físicas del Diagrama de Ashby: Energía – Costo

- ✓ Medir el contenido de energía de un material es difícil, pero incluye:
 - La energía necesaria para recolectar el material de las minas.
 - la energía requerida para refinar, extraer o sintetizar el material.
- ✓ Los polímeros son fabricados por refinación y procesamiento de hidrocarburos de petróleo; la energía utilizada por kilogramo, es similar a la energía necesaria para producir muchos metales.
- ✓ Los materiales de construcción como el hormigón, ladrillo y madera requieren relativamente poca energía para su producción y por lo tanto son materiales de bajo costo.
- ✓ Los metales son generalmente extraídos de sus óxidos, esto toma una gran cantidad de energía, por ejemplo, la vigésima parte del consumo total de energía en los Estados Unidos se utiliza para producir aluminio.

1.6.10.2 Aplicaciones del Diagrama de Ashby: Energía – Costo

- ✓ Seleccionar materiales que tienen un menor impacto ambiental y contribuyen menos al calentamiento global.
- ✓ Se debe considerar el impacto ambiental de un solo uso de productos desechables, por ejemplo, batas desechables, láminas, etc. en los hospitales.
- ✓ También se considera el impacto ambiental en gran volumen, de los productos de alto consumo energético, como los coches.

Todos los Diagramas antes mencionados emplean una escala logarítmica debido a que se puede abarcar los cuatro órdenes de magnitud que caracterizan a los materiales estructurales. Estos márgenes de variación, tan amplios, están basados en la diferente naturaleza, longitud y ángulos de enlace entre átomos en la materia condensada sólida; arquitectura molecular, índice de empaquetamiento y peso de los átomos; rigidez de los enlaces y mecanismos posibles de endurecimiento (por solución sólida, precipitación, tamaño de poro, adición de partículas, fibras o tejidos de refuerzo).

Finalmente podemos definir que un Diagrama de Selección de Materiales documenta la selección de materiales de nuevos equipos y tuberías de la refinería, procesos químicos, energía y otras industrias.



CAPITULO 2

DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

La gran mayoría de avances tecnológicos logrados en la sociedad moderna, se han apoyado en el descubrimiento y desarrollo de materiales de ingeniería y proceso de fabricación usados en su obtención. Una adecuada selección de materiales y procesos, garantiza a los diseñadores el correcto funcionamiento (performance) de los elementos diseñados.

Desde el punto de vista práctico, la posibilidad de usar varios métodos y poderlos confrontar, garantiza una mayor eficiencia en la selección correcta del material. La mayoría de métodos parten de la disponibilidad de una amplia gama de materiales, los cuales se debe entrar a analizar y refinar, ya sea con ayuda de: recomendaciones (métodos tradicionales), mapas de materiales (método gráfico) o información escrita que se encuentran en fuentes bibliográficas o en forma de software en bases de datos virtuales. En general, el refinamiento se hace de acuerdo con las propiedades exigidas por el componente a diseñar y sustentado con criterios como: disponibilidad, facilidad de obtención, vida de servicio, factores ambientales y costos, entre otros. De esta forma, se llega a la selección de un único tipo de material, el cual debe resultar el más apropiado para el fin pretendido.

La selección del tipo de material que se requiere para una aplicación determinada, es solo una de las fases en las que un diseñador o ingeniero de materiales se basa. El conjunto de fases previas a la selección comprende:

1. Necesidad
2. Diseño Conceptual
3. Diseño De Formulación
4. Diseño En Detalle
5. Manufactura Y Montaje

Las actividades completas que llevan a la selección del material más adecuado se resumen en la FIGURA 1-2.

Cabe mencionar, que para la utilización de cualquiera de los métodos de selección de materiales que existen, el diseñador o ingeniero de materiales, debe partir de la etapa conceptual, en la cual se identifica una categoría o categorías muy amplias como posibles materiales a usar. El tipo y valor del esfuerzo aplicado y la forma geométrica, entre otras variables que deben considerarse, otorgan restricciones en cuanto al tipo de material a seleccionar.

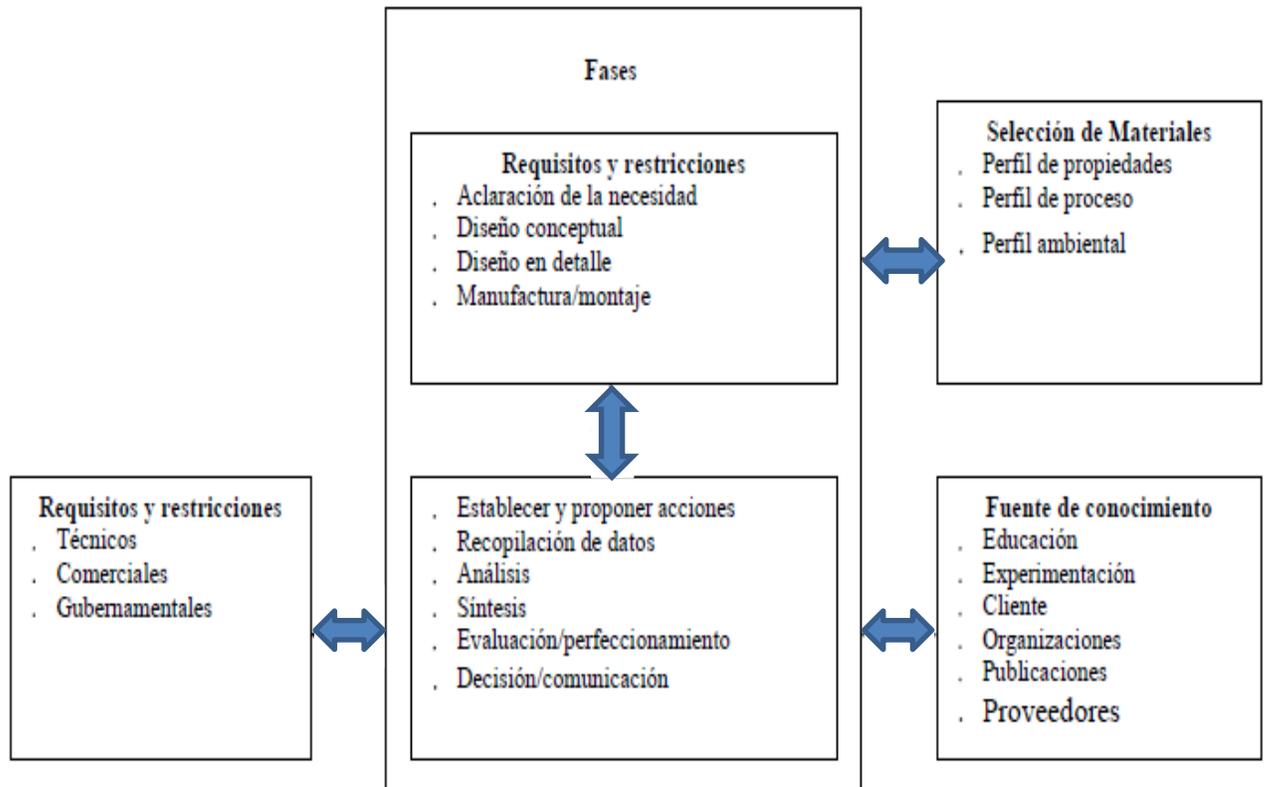


FIGURA 1-2 Fases de la selección de materiales

Un diseñador de materiales siempre está queriendo encontrar el material ideal para su equipo y tuberías de proceso y servicios auxiliares. Se pueden mencionar, entre otras características, que un material ideal cumple con la siguiente lista de requisitos:

- ✓ Inagotable y siempre disponible para su reemplazo
- ✓ Que sea barato de refinar y producir
- ✓ Que sea fuerte, rígido, y dimensionalmente estable a diferentes temperaturas
- ✓ Que sea liviano
- ✓ Que sea resistente a la corrosión y al desgaste
- ✓ Que no tenga efectos sobre el medio ambiente o las personas
- ✓ Que sea biodegradable
- ✓ Que tenga numerosos usos

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Estos requisitos hacen que el ingeniero de materiales tenga dificultad en seleccionar el material ideal. Es por esto, que se usan métodos más o menos exactos, que permiten hacer una aproximación del material más idóneo para alguna aplicación.

En general, los métodos para selección de materiales se basan en una serie de parámetros entre físicos, mecánicos, térmicos, eléctricos y de fabricación que determinan la utilidad técnica de un material. Algunos de estos parámetros son mostrados en la TABLA 1-2.

TABLA 1-2 Parámetros que permiten determinar la utilidad técnica de un material

Propiedades insensibles a la microestructura	Propiedades sensibles a la microestructura
Densidad	Resistencia (a la fluencia, a la tracción, última, etc.)
Módulo de elasticidad	Ductilidad
Conductividad térmica	Tenacidad a la fractura (K_{1c})
Coefficiente de expansión térmica lineal	Fatiga y propiedades cíclicas, fatiga por corrosión
Punto de fusión, T_f	Termo fluencia
Temperatura de transición vítrea, T_v para polímeros	Impacto
Corrosión uniforme (mm/año)	Dureza
Corrosión por unidad de masa	
Otras propiedades	
Facilidad de colado	
Facilidad para tratar térmicamente	
Conformabilidad	
Maquinabilidad	
Soldabilidad	

Debido al alto número de factores que afectan la selección de materiales, el diseñador determina cuáles son las propiedades más relevantes para la aplicación que se tiene y con base en ellas, hace la selección. En general los métodos para seleccionar materiales hacen una refinación más o menos amplia de estos parámetros

2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES DE INGENIERÍA Y SUS APLICACIONES

La mayoría de los materiales de ingeniería pueden clasificarse en: metales y no metales dentro de la categoría de los no metálicos se tiene a: los cerámicos y polímeros; entre los metales los cerámicos y los polímeros se forma un grupo de tres materiales básicos utilizados en la manufactura. Tanto sus características químicas como sus propiedades físicas y mecánicas son diferentes; estas diferencias afectan los procesos de manufactura. Además de estas tres categorías básicas existe otra: los materiales compuestos, los cuales son mezclas no homogéneas de los otros tres tipos básicos de materiales.

2.1.1 Metales

Los metales usados en la manufactura son comúnmente aleaciones, las cuales están compuestas de dos o más elementos, en donde por lo menos uno es metálico. Los metales pueden dividirse en dos grupos: 1) ferrosos y 2) no ferrosos.

2.1.1.1 Metales Ferrosos

Los metales ferrosos se basan en el hierro; el grupo incluye acero y hierro colado; éstos constituyen el grupo de materiales comerciales más importantes y comprende más de las tres cuartas partes del tonelaje de metal que se utiliza en todo el mundo. El hierro puro tiene poco uso comercial; pero aleado con el carbón tiene más usos y mayor valor comercial que cualquier otro metal.

Las aleaciones de hierro y carbón pueden formar acero y hierro colado. Los aceros de baja aleación son aleaciones hierro-carbono que contienen elementos aleantes adicionales en cantidades que totalizan menos del 5% en peso, aproximadamente. Debido a estas adiciones, los aceros de baja aleación tienen propiedades mecánicas que son superiores a los aceros al carbono para las aplicaciones dadas. Las propiedades superiores significan usualmente mayor resistencia, dureza, dureza en caliente, resistencia al desgaste, tenacidad y combinaciones más deseables de estas propiedades.

Los elementos comunes que se añaden a estas aleaciones son el cromo, el manganeso, el molibdeno, el níquel y el vanadio, algunas veces en forma individual, pero generalmente en combinación. Estos elementos forman soluciones sólidas con el hierro y compuestos metálicos con el carbono (carburos).

Suponiendo que exista la cantidad suficiente de carbono para reaccionar. Podemos resumir los efectos de los principales elementos de la siguiente manera:

- **Cromo (Cr).** Mejora la resistencia, dureza, resistencia al desgaste y dureza en caliente. Este elemento mejora significativamente las propiedades de resistencia a la corrosión.

- **Manganeso (Mn).** Mejora la resistencia y dureza del acero. Cuando el acero se trata térmicamente, el incremento del manganeso mejora la templabilidad.
- **Molibdeno (Mo).** Aumenta la tenacidad, la dureza en caliente y la resistencia a la termoinfluencia. También mejora la templabilidad y forma carburos resistentes al desgaste.
- **Níquel (Ni).** Mejora la resistencia y tenacidad. Incrementa la templabilidad, pero no tanto como los otros elementos de aleación en el acero. En cantidades significativas mejora la resistencia a la corrosión y es otro de los elementos mayoritarios (además del cromo) en ciertos tipos de acero inoxidable.
- **Vanadio (V).** Inhibe el crecimiento de los granos durante el procesamiento a temperaturas elevadas y durante el tratamiento térmico, lo cual mejora la resistencia y tenacidad del acero. También forma carburos que incrementan la resistencia al desgaste.

El hierro colado es una aleación de hierro y carbón (2 a 4%) que se utiliza en fundición (principalmente fundición en arena). En esta mezcla también se encuentra presente el silicio (en cantidades desde 0.5 a 3%), y frecuentemente se agregan otros elementos para obtener propiedades deseables en el producto final. El hierro colado se encuentra disponible en diferentes formas, las cuales se describen a continuación:

- ✓ **Fundición Gris:** Tiene una composición que varía entre 2.5 y 4 % de carbono y 1 a 3% de silicio. La dispersión de las hojuelas de grafito representa dos propiedades atractivas: 1) buena amortiguación a la vibración, que es una característica deseable en motores y otras máquinas; y 2) cualidades de lubricación internas, que hacen maquinable la fundición.
- ✓ **Fundición Nodular (dúctil):** Es un hierro con la composición del hierro gris, en la cual el metal fundido se trata químicamente antes de vaciarlo para provocar la formación de nódulos de grafito en lugar de hojuelas. El resultado es un hierro más fuerte y más dúctil; sus aplicaciones incluyen componentes de maquinaria que requieren alta resistencia mecánica y buena resistencia al desgaste.
- ✓ **Fundición Blanca:** Posee menor contenido de carbono y silicio que la fundición gris. Se forma mediante un enfriamiento más rápido del metal fundido después de haberlo vaciado, esto causa que el carbono permanezca combinado químicamente con el hierro en forma de cementita (carburo de hierro), en lugar de precipitar la solución en forma de hojuelas.
- ✓ **Fundición maleable:** Cuando las piezas de fundición blanca se tratan térmicamente para separar el carbono en solución y formar agregados de grafito, el metal resultante se llama fundición maleable. La nueva microestructura puede tener una ductilidad sustancial (arriba de 20% de elongación), que es una diferencia significativa con respecto al metal del cual procede. Los productos típicos hechos con fundición maleable incluyen accesorios para tubería y bridas, algunos componentes para máquinas y partes de equipo ferroviario.

2.1.1.2 Metales No Ferrosos

Los metales no ferrosos incluyen elementos metálicos y aleaciones que no se basan en el hierro. Los metales de ingeniería más importantes en el grupo de los no ferrosos son el aluminio, el cobre, el magnesio, el níquel, el titanio, el zinc y sus aleaciones.

Aunque el grupo de metales no ferrosos no puede igualar la resistencia de los aceros, algunas aleaciones no ferrosas tienen características, como resistencia a la corrosión y relaciones resistencia-peso, que los hacen competitivos con los aceros en aplicaciones para esfuerzos moderados y altos.

Además, muchos de ellos tienen otras propiedades distintas a las mecánicas que los hacen ideales para aplicaciones en las que el acero podría ser inadecuado. Por ejemplo, el cobre tiene una de las menores resistividades eléctricas entre los metales y es ampliamente usado para conductores eléctricos.

El **Aluminio (Al)** es un excelente conductor térmico y sus aplicaciones incluyen intercambiadores de calor y utensilios de cocina. Tiene una alta conductividad eléctrica y térmica, y su resistencia a la corrosión es excelente debido a la formación de una película superficial dura y delgada de óxido. Es un metal muy dúctil y notable por su facilidad de formado. El aluminio puro tiene una resistencia relativamente baja, pero puede alearse y tratarse térmicamente para competir con algunos de los aceros, especialmente cuando el peso es una importante consideración.

El **Magnesio (Mg)** es el más ligero de los metales estructurales. Este metal no ferroso y sus aleaciones se encuentran disponibles en ambas formas: forjadas y en fundición. Su maquinado es relativamente fácil. Sin embargo las partículas de magnesio (como pequeñas virutas) se oxidan rápidamente y debe tenerse cuidado para evitar riesgos de incendio. El magnesio como metal puro es relativamente suave y carece de la suficiente resistencia para la mayoría de las aplicaciones en ingeniería.

El **Cobre (Cu)** puro tiene un color rosado o rojizo característico, pero su propiedad más distintiva en ingeniería es su baja resistividad eléctrica, una de las más bajas de todos los elementos. Debido a ésta propiedad y a su abundancia relativa en la naturaleza, el cobre, comercialmente puro es ampliamente usado como conductor eléctrico y es altamente resistente a la corrosión.

Por otra parte, la resistencia y dureza del cobre son relativamente bajas, especialmente cuando se toma en cuenta el peso. En consecuencia, para mejorar su resistencia (y por otras razones), el cobre se alea frecuentemente. El bronce es una aleación de cobre y estaño (alrededor de 90% Cu y 10% Sn), a pesar de su antigüedad ancestral aún se utiliza ampliamente en la actualidad. Se han desarrollado aleaciones adicionales de bronce basadas en otros elementos fuera del estaño; éstas incluyen bronce de aluminio y silicio. El latón es otra aleación familiar de cobre, compuesta de cobre y zinc (alrededor de 65% Cu y 35% Zn). La aleación con mayor resistencia del cobre es el berilio-cobre (solamente un 2% Be). Puede

tratarse térmicamente para obtener resistencias a la tensión de 1035 MPa. Las aleaciones Be-Cu se usan para resortes.

El **Níquel (Ni)** es un elemento similar al hierro en muchos aspectos; Es magnético y su módulo de elasticidad es prácticamente el mismo que el hierro y el acero. Difiere del hierro en que es mucho más resistente a la corrosión y las propiedades de sus aleaciones a altas temperaturas son generalmente superiores. Debido a sus características de resistencia a la corrosión, se usa ampliamente como:

- I. Un elemento de aleación en acero, tal como el acero inoxidable
- II. Como un metal de chapeado sobre otros metales como el acero al carbón.

Las aleaciones de níquel son comercialmente importantes por sí mismas y notables por su resistencia a la corrosión y su desempeño a altas temperaturas.

El **Titanio (Ti)** es medianamente abundante en la naturaleza, constituye cerca del 1% de la corteza terrestre; su importancia ha crecido debido a sus aplicaciones aeroespaciales, en las cuales se explota su peso ligero y su buena razón resistencia-peso. El coeficiente de expansión térmico del titanio es relativamente bajo comparado con otros metales, es más rígido y fuerte en comparación con el aluminio y tiene buena resistencia a temperaturas elevadas. El titanio en su estado puro es reactivo, lo cual presenta problemas para su procesamiento, especialmente en estado fundido. Sin embargo, a temperatura ambiente forma un delgado recubrimiento adherente de óxido (TiO_2) que suministra excelente resistencia a la corrosión.

Estas propiedades dan lugar a dos áreas principales de aplicación del titanio: en estado comercialmente puro, el titanio se usa para componentes resistentes a la corrosión, tales como componentes marinos, implantes y prótesis; y las aleaciones del titanio se usan como componentes con alta resistencia en un rango de temperaturas, desde la temperatura ambiente hasta 550 °C donde se aprovecha su excelente relación resistencia-peso. Estas últimas aplicaciones incluyen componentes de aviones y de proyectiles. Algunos de los elementos de aleación usados con el titanio incluyen al aluminio, el manganeso, el estaño y el vanadio.

El **Zinc (Zn)** debido a su bajo punto de fusión lo hace sumamente atractivo como un metal de fundición. También suministra protección contra la corrosión cuando se aplica como recubrimiento sobre el acero o hierro. Las aleaciones de zinc se usan ampliamente en la fundición para producciones masivas de componentes destinados a la industria automotriz y accesorios. Otra aplicación importante del zinc se encuentra en la galvanización del acero (de ahí el término “acero galvanizado” ya que refiere al acero que ha sido recubierto con zinc). Como su nombre lo indica, se crea una celda galvánica en el acero (Zn es el ánodo y el acero es el cátodo), la cual protege al acero de los ataques de la corrosión. Finalmente, un tercer uso importante del zinc se encuentra en el latón. Como se señaló antes, esta aleación consiste en dos metales, cobre y zinc en la relación aproximada de dos terceras partes de Cu y una tercera parte de Zn. Como se analizó anteriormente.

2.1.2 Cerámicos

Un material cerámico se define comúnmente como un material que contiene elementos metálicos (o semimetálicos) y no metálicos. Los elementos no metálicos típicos son el oxígeno, el nitrógeno y el carbón. Algunas veces se incluye en la familia de los materiales cerámicos al diamante, el cual no se ajusta a la definición anterior.

Los materiales cerámicos abarcan una gran variedad de materiales tradicionales y actuales. Entre los materiales tradicionales que se han usado por miles de años se encuentran: el barro, cuya disponibilidad en la naturaleza es abundante, y está compuesto por finas partículas de silicatos hidratados de aluminio y otros minerales, el cual se usa para hacer ladrillos, tejas y alfarería; la sílice (SiO_2), y son la base de casi todos los productos de vidrio; la alúmina (AlO_3) y el carburo de silicio, dos materiales abrasivos usados en procesos de esmerilado.

Los materiales cerámicos actuales incluyen algunos de estos materiales, como la alúmina, cuyas propiedades se mejoran de varias formas mediante métodos modernos de proceso. Los materiales cerámicos más nuevos incluyen carburos de metales, como el carburo de tungsteno y el carburo de titanio que son empleados ampliamente en la fabricación de buriles, y los nitruros metálicos y semimetálicos como el nitruro de titanio y el nitruro de boro que se usan como herramientas de corte y abrasivos.

Los materiales cerámicos pueden dividirse para propósitos de proceso en:

- 1) Cerámicos Cristalinos
- 2) Vidrios

Se requieren diferentes métodos de manufactura para los dos tipos. Los materiales cerámicos cristalinos son formados de diversas maneras a partir de polvos y luego se sintetizan (se calientan a una temperatura por debajo del punto de fusión para aglutinar y endurecer los polvos). Los materiales vítreos (vidrio) pueden derretirse, vaciarse y luego formarse mediante procesos como el tradicional soplado de vidrio.

2.1.3 Polímeros

Un polímero es un compuesto formado por repetidas unidades estructurales llamadas “meros” cuyos átomos comparten electrones para formar moléculas muy grandes. Los polímeros están constituidos generalmente por carbón y otros elementos como hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y cloro. Los polímeros se dividen en tres categorías: Polímeros termoplásticos, Polímeros termo fijos y Elastómeros.

2.1.3.1 Polímeros Termoplásticos

Los termoplásticos pueden someterse a múltiples ciclos de calentamiento y enfriamiento sin alterar sustancialmente la estructura molecular del polímero. Los termoplásticos típicos a temperatura ambiente poseen las siguientes características:

- I. Menor rigidez; el módulo de elasticidad es de dos a tres veces más bajo que los metales y los cerámicos.
- II. La resistencia a la tensión es más baja, cerca del 10% con respecto a la de los metales.
- III. Dureza muy baja.
- IV. Ductilidad más alta en promedio, con un rango de valores, desde una elongación del 1 % para el poli estireno, y hasta el 500% o más para el propileno.

En cuanto a sus propiedades físicas, los polímeros termoplásticos poseen:

1. Densidades más bajas que los metales y los materiales cerámicos, las gravedades específicas típicas para los polímeros son alrededor de 1.2, para los cerámicos alrededor de 2.5, y para los metales alrededor de 7.0.
2. Coeficientes de expansión térmica mucho más altos, aproximadamente cinco veces el valor de los metales y 10 veces el de los cerámicos.
3. Temperaturas de fusión muy bajas.
4. Conductividades térmicas que son alrededor de tres órdenes de magnitud más bajo que los de los metales.
5. Propiedades de aislamiento eléctrico.

Los productos termoplásticos incluyen artículos moldeados y extruidos, fibras, películas y láminas, materiales de empaque, pinturas y barnices. Se adquiere normalmente en forma de polvos o bolitas (grano grueso).

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

En la TABLA 2-2 se muestran las clases de polímeros termoplásticos con información sobre su resistencia a la tensión, temperatura máxima de servicio, algunas propiedades, el proceso de fabricación y algunas aplicaciones.

TABLA 2-2 Clases de polímeros termo plásticos principales y sus aplicaciones

Clase	Resistencia a la tensión MPa	Temperatura máxima de servicio °C	Propiedades importantes	Proceso de fabricación (materia prima)	Aplicaciones
ABS	28-55	120	Dureza, rigidez y tenacidad; amplio espectro de propiedades; degradables en la intemperie.	Extrusión, moldeo, formado en frío, calandrado (resina y aditivos)	Molduras de automóvil, cajas de impulsores, tubería, cascos, perillas, rejillas, alojamientos.
Acetales	55-69	80-105	Fortaleza y rigidez con buena resistencias a la humedad, calor y químicos; resiste la mayoría de los solventes pero no los ácidos minerales fuertes	Extrusión, moldeo, formado, maquinado (resinas, algunos con fibras de vidrio y otros rellenos y aditivos.	Engranajes, piñones, carretillas, muelles de hojas, cojinetes, palancas, abanicos, tubería, válvulas etc.
Acrílicos	42-69	60-110	Resistencia moderada, suavidad, baja resistencia al calor ; buena óptica, clara a coloreada; buena resistencia eléctrica	Extrusión, moldeo, termo formado revestimiento, maquinado (compuestos moldeados y láminas coladas)	Lentes, letreros, decoraciones, exhibidores de novedades, carátulas, acabados transparentes o coloreados, botellas

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Clase	Resistencia a la tensión MPa	Temperatura a máxima de servicio °C	Propiedades importantes	Proceso de fabricación (materia prima)	Aplicaciones
Celulósicos	10-59	50-90	Tenacidad, facilidad de proceso; buena transparencia y brillo de superficie; muchos colores; resistencia moderada al calor	Extrusión, moldeo, Termo formado, revestimiento, maquinado (moldeo de compuestos, películas, hojas, barras, polvos)	Perillas, manijas, aparatos domésticos acabados transparentes y coloreados, bolas de billar, tuberías, volantes de automóvil
Fluoroplástico	17-45	175-290	Resistencia química sobresaliente, a la electricidad y a la temperatura, a la intemperie baja fricción; baja resistencia mecánica pero puede reforzarse; tenaz a baja temperatura	Extrusión, moldeo, revestimiento formado, colado por dispersión, maquinado (granulados, perdigonado, polvos y dispersiones con agregado de rellenos, películas, hojas)	Cojinetes, sellos, tubería, aislamiento eléctrico, esmaltes, revestimientos que no se vuelven pegajosos con la temperatura, superficies no adherentes, blindajes ablativos

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Clase	Resistencia a la tensión MPa	Temperatura máxima de servicio °C	Propiedades importantes	Proceso de fabricación (materia prima)	Aplicaciones
Monómeros	14-34	70	Ligero, tenaz, transparente y flexible no rígido y cierta fluencia	Extrusión, moldeo, Termo formado (resinas y estabilizadores)	Películas, juguetes, contenedores, charolas, aislamiento de alambres
Fenoxis	48-117	75	Buena ductilidad estabilidad y propiedades a baja temperatura	Extrusión, moldeo, Termo formado; (varios grados de resinas, algunos reforzados)	Partes en flujo de agua, dispositivos electrónicos, aparatos domésticos
Poliamidas	55-207	120-150	Alta resistencia, rigidez, resistente a la temperatura, electricidad y los químicos, absorbe agua, se suaviza con solventes	Extrusión, moldeo, sintetizado, formado, colado, revestimiento, maquinado (sólido y líquido, resinas con rellenos y refuerzo)	Telas, cerdas, suturas, tubos, cojinetes, camas, engranes, empaques, aislamiento
Policarbonatos	62-72	120	Alta resistencia mecánica, eléctrica, hasta -170°C; ductilidad, rigidez y	Extrusión, moldeo, espumas, maquinado (resinas)	lentes, cubiertas, mirillas de calibradores, accesorios de alumbrado,

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Clase	Resistencia a la tensión MPa	Temperatura a máxima de servicio °C	Propiedades importantes	Proceso de fabricación (materia prima)	Aplicaciones
Poliésteres	55-121	110	Buena resistencia química, al agua, abrasión y resistencia eléctrica, tenacidad	Extrusión y moldeo (resinas, algunas reforzadas)	Bombas, medidores, engranes, rodillos, componentes electromecánicos
Poliétilenos	4-48	90	Tenaz hasta 98°C; buena resistencia química, a la humedad y eléctrica; baja fricción; plástico de más uso; flexible y rígido	Trabajado en todos los procesos (resinas con aditivos)	Alojamientos, tuberías, ductos, botellas, cubetas, tanques, objetos caseros, juguetes, revestimiento, películas, empaques
Poliamidas	69-172	315	Fuerte, rígido y estable con excelente resistencia al calor, abrasión, fluencia y radiación; flexible a 270°C	Moldeo y sinterizado (polvo, revestimiento, películas, formas sólidas)	Válvulas, aislamiento eléctrico, cientos de partes en cada motor de chorro

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Clase	Resistencia a la tensión MPa	Temperatura máxima de servicio °C	Propiedades importantes	Proceso de fabricación (materia prima)	Aplicaciones
Polipropilenos	34-59	120	Resistencia química, humedad y electricidad; grados especiales para resistencia al impacto y servicio a temperaturas altas y bajas	Extrusión, moldeo, laminado, revestimiento sinterizado (resina con aditivos)	Equipo eléctrico, bisagras, tubería, empaque, equipaje, molduras de automóvil
Poli estirenos	14-55	60-80	Buena resistencia Eléctrica	Extrusión, moldeo, Termo formado, espumado (resina con aditivos)	Tubería, juguetes, aislamiento a alta frecuencia, cajas de baterías, placas dentales, vajillas y aparatos doméstico
Polisulfona	69	150-260	Rígido y dúctil hasta 100°C; estable y resistencia eléctrica	Extrusión, moldeo, Termo formado (resina con aditivos)	Partes eléctricas y para automóvil, alojamiento, tubería, aislamiento de cables

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Clase	Resistencia a la tensión MPa	Temperatura a máxima de servicio °C	Propiedades importantes	Proceso de fabricación (materia prima)	Aplicaciones
Vinilos	7-48	60-105	Muy flexible hasta rígido, buena resistencia a la flama, eléctrica, química, aceite, abrasión y a la intemperie en varios grados; coloreable y atractivo; fácil de procesar	Extrusión, moldeo, revestimiento, colado, espumado (resina con aditivos, dispersiones, hojas, películas)	Pisos y cubiertas de paredes, tapicería, ropa impermeable, laterales de casas, tuberías, juguetes, aislamiento, disco fonográficos, cristal inastillable de seguridad

2.1.3.2 Polímeros Termo fijos

Estas moléculas se transforman químicamente en una estructura rígida cuando se enfrían después de una condición plástica por calentamiento, de aquí el nombre de termo fijo. Debido a las diferencias en la composición química y estructura molecular, las propiedades de los plásticos termo fijos son diferentes de los termoplásticos. En general, los termo-fijos tienen las siguientes características:

1. Más rígidos con módulos de elasticidad dos o tres veces más grandes.
2. Frágiles, prácticamente no poseen ductilidad.
3. Menos solubles en los solventes comunes.
4. Capaces de funcionar a temperaturas altas.
5. No pueden ser refundidos, en lugar de esto se degradan o se queman.

En la TABLA 3-2 se muestran algunas especificaciones de los polímeros termofijos así como sus aplicaciones.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

TABLA 3-2 Polímeros Termo fijos principales y sus aplicaciones

Clase	Resistencia a la Tensión MPa	Temperatura máxima de servicio °C	Propiedades importantes	Proceso de fabricación (materia prima)	Aplicaciones
Alquidos	21-62	150	Buen aislamiento eléctrico, estabilidad dimensional, resistencia al impacto	Moldeo (polvos, líquidos, hojas suaves, cuerdas, trozos, pedazos)	Equipo eléctrico
Alfílicos	28-55	180	Alta resistencia a la humedad y química, estabilidad, y resistencia dieléctrica	Moldeo y extrusión, laminación, (polvos, líquidos)	Equipo electrónico, lentes, laminados.
Aminos	34-69	80-100	Colorido dureza; resiste rayados, detergentes y muchos líquidos	Moldeo y laminado, (polvos, granulados, líquidos, espumas)	Vajillas, utensilios domésticos

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Clase	Resistencia a la Tensión MPa	Temperatura máxima de servicio °C	Propiedades importantes	Proceso de fabricación (materia prima)	Aplicaciones
Epoxis	34-207	260	Buenas propiedades eléctricas y mecánicas, resistente al calor y químicos, fuertes	Colado extrusión, moldeo y preservación en tina (polvos, líquidos, espumas)	Adhesivos, tanques y envolventes
Fenólicos	34-69	150-260	Rígido, estable, buena resistencia eléctrica y química, colores limitados	Moldeo y colados, (polvos, perdigones, soluciones e impregnados)	Equipo eléctrico, paneles laminados, aglutinantes para ruedas de esmerilar
Poliésteres	7-345	65-150	Para hacer esfuerzos tenaces; resiste la mayoría de los solventes, ácidos	Moldeo, colados, laminados (polvos, líquidos hojas, barras y tubos)	Partes para carrocería de automóviles, decoraciones, lanchas, maletas

2.1.3.3 Elastómeros

Estos polímeros exhiben un comportamiento elástico importante, de aquí el nombre de elastómero. Los elastómeros son polímeros capaces de sufrir grandes deformaciones elásticas cuando se les sujeta a esfuerzos relativamente bajos, Algunos elastómeros pueden soportar deformaciones de hasta el 500% o más, pero retornan a su forma original. El ejemplo más popular de un elastómero es desde luego el hule. Podemos dividir a los hules en dos categorías: 1) hule natural, derivado de ciertas plantas y 2) polímeros sintéticos producidos por procesos de polimerización, similares a los que se utilizan para los termoplásticos y los termo-fijos. Los elastómeros más importantes se muestran en la TABLA 4-2.

TABLA 4-2 Elastómeros principales y sus características

Clase	Propiedades	Características importantes
Hule natural, poliisopreno natural, NR	A: R B: 20 C: 7.5-8.5	Excelentes propiedades físicas; buena resistencia al corte, mordidas y abrasión; baja resistencia al calor, ozono y aceite
Isopreno, poliisopreno sintético, IR	A: R B: 1.7 C: 3.0-8.0	Lo mismo que el hule natural pero requiere menos masticación; llantas de automóvil, bandas de transmisión de potencia, mangueras, empaques, rodillos

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Clase	Propiedades	Características importantes
GR-S o Buna S, estireno butadieno, SBR	A: R B: 1.7 C: 4.0-6.0	* Buenas propiedades físicas cuando se le refuerza; excelente resistencia al agua y a la abrasión; no resiste aceite, ozono o intemperie
Butil isobutileno isopreno, IIR	A: R B: 18 C: 7.5-9.0	* Excelente resistencia a la intemperie y al calor; buena impermeabilidad al gas, buena resistencia química, resistencia mecánica aceptable; cámaras de llantas, mangueras de vapor
Clorobutil-, cloro isobutileno isopreno, IIR modificado	A: T B: 18 C: 7.5-9.0	* Propiedades similares al butilo con temperaturas de servicio a 200°C y buena resistencia al aceite cuando se mezcla; para tubos internos (cámaras) y vejigas de curado
Poli butadieno, cis-4, BR	A: R B: 4 C: 4.0-10.0	* Propiedades generales similares a las del hule y del SBR pero mejor resistencia a la abrasión y a la intemperie, servicio a baja temperatura
Etileno propileno, EPM (termo polímero EPDM)	A: R B: 7 máx. C: pobre	* Buenas propiedades mecánicas cuando se le refuerza; excepcional para resistir la luz solar, ozono; buenas propiedades eléctricas y de temperatura; para aislamiento, zapatos, encintados contra intemperie

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Clase	Propiedades	Características importantes
Neopreno, cloropreno, CR	A: S B: 25 C: 8.0-9.0	* Excelente resistencia al ozono, calor, intemperie y flama y propiedades mecánicas; buena resistencia química y al aceite; para mangueras de aceite, revestimiento de tanques y aislamiento.
Buna N, nitrilo, acrilonitrilobutadieno, NBR	A: S B: 5 C: 4.5-7.0	* Excelente resistencia química y al aceite; propiedades mecánicas aceptables y pobres a baja temperatura; partes para carburador y tanques de gasolina y bomba, empaques y rodillos para imprenta.
Hypalon (HYP), polietileno clorosulfonado, CSM	A: S B: 25 máx. C: máx. 6.0	* Excelente resistencia al ozono, intemperie y ácidos, resistencia aceptable al aceite y servicio a baja temperatura hasta 120 °C para mangueras químicas y de petróleo, conectores, etc., zapatos y pisos.
Uretano, poliéster U, AU, poliéster U, EU	A: S B: 35 y más C: 5.4-7.5	* Resistencia excepcional a la abrasión, corte y desgarramiento, buena resistencia al oxígeno, ozono y a la luz solar; especial para amortiguación de vibraciones y aislamiento acústico; baja resistencia al calor y la humedad.
Hules silicones, MQ, PMQ, etc.	A: T B: 7 C: 1 -0-5. 0	* Temperatura 85 a 315 °C; alta resistencia al oxígeno, ozono y radiación; fraguado en alta compresión; baja resistencia mecánica al desgaste y al aceite; aislamiento, sellos, empaques

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Clase	Propiedades	Características importantes
Viton, elastómeros de fluorocarbono, FKM	A:T B: 15 y más	Temperatura 40 a 315 °C ; resistencia sobresaliente química y al aceite, especialmente a alta temperatura; buenas propiedades mecánicas; para equipo industrial y de aviación,
Hules acrílicos, poli acrilato ACM	A:T B:2 C:4.5-7.5	Excelente resistencia al ozono y aceite; pobre resistencia al agua; para sellos, empaques, mangueras y anillos-O

*Código para designación de propiedades: A: servicio, R designa sin resistencia a los aceites, S para resistencia específica a los aceites, T para exposición prolongada a temperaturas anormales y aceites compuestos; B resistencia relativa medía a la tensión de goma pura MPa; C alargamiento hasta ruptura al 100%

2.1.4 Compuestos

Los materiales compuestos no constituyen realmente una categoría separada de los materiales; sino que constituyen una mezcla de los otros tres tipos de materiales. Un material compuesto se logra comúnmente con dos fases en las que se procesan separadamente los materiales y luego se unen para lograr propiedades superiores a los de sus constituyentes. La estructura usual de un material compuesto está formada por partículas o fibras de una fase mezcladas con una segunda fase llamada matriz.

Los materiales compuestos se encuentran en la naturaleza (madera, por ejemplo) y pueden también producirse sintéticamente. Estos últimos son los que nos interesan; comprenden fibras de vidrio en matriz de polímero como los plásticos reforzados con fibras; fibras de polímero de una clase en matriz de un segundo tipo de polímero; y materiales cerámicos en matriz metálica, como carburo de tungsteno en una cubierta de cobalto para formar un buril de carburo cementado.

Las propiedades de los materiales compuestos dependen de sus componentes, de la forma física de dichos componentes y de la manera en que se combinan para formar el material final. Algunos materiales compuestos combinan alta resistencia con peso ligero y son apropiados para utilizarse como componentes de aviones, carrocerías de automóviles, cascos de botes, raquetas de tenis y cañas de pesca; otros son fuertes, duros y capaces de mantener estas propiedades a temperaturas elevadas, como por ejemplo los buriles de carburo cementado.

2.2 CRITERIOS Y HERRAMIENTAS PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES

Como ya se ha mencionado, la corrosión es la causa principal de la destrucción de los equipos y tuberías en la industria química. La mayoría de las destrucciones pueden prevenirse eligiendo adecuadamente los materiales para la especificación y construcción de los equipos de proceso y tuberías. Como ya se explicó anteriormente los materiales no solo son metales, también se tienen a los plásticos, cauchos, materiales cerámicos y pinturas.

En las plantas que operan de manera continua, por ejemplo, las refinerías de petróleo e instalaciones petroquímicas, las pérdidas de producción debidas a deterioros por corrosión son tan costosas que justifican el uso de los materiales más caros, como por ejemplo el tántalo, en intercambiadores de calor de unidades de recuperación de ácido. En instalaciones más sencillas, puede ser más económico seleccionar materiales de menor costo y programar limpiezas frecuentes de los equipos para prevenir la corrosión.

En las plantas de fabricación de productos farmacéuticos, donde la contaminación es inaceptable es necesario realizar recubrimientos, por ejemplo, a base de resinas epoxi. En caso de temperaturas muy altas, se recurre a los recubrimientos a base de teflón, a pesar de su elevado costo y difícil aplicación.

A menudo la corrosión puede prevenirse mejor cuidando pequeños detalles en el diseño que seleccionando los materiales más resistentes; un ejemplo es el ácido sulfúrico concentrado en frío, puede transportarse en tuberías de acero al carbón, siempre que la velocidad de circulación sea inferior a 1 m/s. Debido a ello, en este caso, es mejor utilizar tuberías de acero al carbón de diámetros grandes que de acero inoxidable de diámetros pequeños.

Las tuberías soldadas son menos costosas que las que no tienen costura, pero en condiciones corrosivas hay que especificar el tratamiento térmico a que debe someterse después de la soldadura. Después de seleccionar los materiales hay que asegurarse que los equipos o tuberías, según sea el caso, han sido fabricados con las especificaciones correctas; además es indispensable adjuntar un pliego de condiciones detallado para cada caso.

Pero para la selección del material no solo se enfoca en una sola propiedad o factor si no que deberá optimizarse, teniendo en cuenta la inversión y los costos de operación, tales como los costos del ciclo de vida (CCV) de equipos o tuberías, que se reducen al mínimo mientras que se garantice seguridad y fiabilidad aceptable.

2.2.1 Factores Físicos

Los factores que intervienen en este grupo generalmente son las dimensiones, la forma y el peso del material que se necesita. Todos estos factores se relacionan con el tratamiento del material. Las dimensiones y la forma pueden restringir el tratamiento térmico del material. La forma del material determina si se necesita una pieza fundida o forjada. El peso del material tiene implicaciones no solo en los costos iniciales, sino también durante el proceso de fabricación. Las dimensiones disponibles también juegan un papel importante, pues determina si se consideran otros materiales. Por ejemplo, los plásticos o el aluminio requieren de dimensiones mayores para alcanzar el mismo rendimiento estructural del acero.

2.2.2 Factores Mecánicos

Los factores mecánicos tienen que ver con la capacidad del material para soportar los diferentes tipos de esfuerzos que se les imponen. Las propiedades mecánicas del material que se utilizan como criterios de selección en el diseño son: la resistencia, el módulo de elasticidad, la tenacidad, la resistencia a la fatiga, la termo fluencia, etc.

2.2.3 Procesamiento y Fabricación

Estos factores se relacionan con la capacidad para dar forma al material. Es común la utilización de procesos de fundición y de conformado. Los metales dúctiles y los materiales termoplásticos se les conforman mediante procesos de deformación, porque son rápidos y apropiados para la producción masiva.

Los materiales cerámicos frágiles y de alto punto de fusión, se les da forma, por lo general, mediante un proceso de sinterizado o de metalurgia de polvos. En los materiales compuestos se utilizan técnicas de formado por aspersion y de almacenamiento. La fabricación abarca los procedimientos de unión (soldadura autógena, TIG, MIG, MAG, etc.), de conformado y de maquinado así como los procedimientos de acabado (pulido, rectificado, etc.).

2.2.4 Factores de Vida Útil de los Componentes

Estos factores están relacionados con el tiempo de vida útil de los materiales, para desempeñar las funciones establecidas en el producto. Las propiedades pertenecientes a este grupo son la resistencia a la corrosión, a la oxidación y al desgaste, la termo-fluencia y las propiedades de fatiga bajo cargas dinámicas. El comportamiento de un material es más difícil de predecir durante la etapa de diseño.

2.2.5 Costos y Disponibilidad

Los costos y la disponibilidad de materiales son dos factores inseparables en la actualidad. De la misma forma, la cantidad y estandarización tienen relación con el costo. Aun cuando los materiales están disponibles, es importante si los pedidos se realizan en toneladas, kilogramos o gramos. Las normas de materiales más conocidas no aportan información sobre el costo y disponibilidad de los mismos.

2.2.6 Otros Criterios de Selección de Materiales

Los siguientes criterios son clave para la selección de materiales:

- Vida de diseño.
- Las condiciones de operación de ese equipo o tubería.
- La experiencia con los materiales y métodos de protección contra la corrosión en condiciones similares a la corrosividad.
- Filosofía aplicada para el mantenimiento y el grado de redundancia del sistema.
- Peso mínimo.
- Inspección y monitoreo de aparición de corrosión.
- Efecto del entorno externo e interno, incluida la compatibilidad de los diferentes materiales.
- Evaluación de las probabilidades de fallo, los modos de fallo y las consecuencias. Se pagará cualquier efecto adverso que se tenga en la salud humana, el medio ambiente, la seguridad y los bienes materiales.
- Se tomarán en cuenta las cuestiones ambientales relacionadas con la inhibición de la corrosión y otros tratamientos químicos.
- Para los principales sistemas donde la relación *materiales/fabricación* representan importantes inversiones y/o costos operativos, un análisis de costos de ciclo de vida deben ser la base para la selección del material.

Para la selección de materiales óptimos para los sistemas de equipo y tuberías, se llevará a cabo un análisis que consiste en:

- ✓ Evaluación de corrosividad.
- ✓ Evaluación de erosividad, teniendo en cuenta las partículas sólidas, líquido de alta velocidad y gotas.
- ✓ Consecuencias de la selección del material para el espesor requerido de la pared y por lo tanto el peso del equipo o tubería.
- ✓ Posibilidad de inhibición satisfactoria de la corrosión.
- ✓ Los costos de fabricación, de soldadura e instalación relacionadas con espesor de pared de la tubería.
- ✓ Para las tuberías, el efecto de *espesor de pared/peso de la tubería* sobre el sistema y los costos de instalación.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

- ✓ Los costos adicionales relacionados con los inhibidores de acero al carbón, control de la corrosión, inspección interna, protección de la superficie, etc.
- ✓ El acceso y el costo de reemplazo de sistema o equipo.

Los elementos de costos que se incluyen en el análisis del CCV son:

- ✓ Costos de materiales / fabricación / instalación: Como mínimo, los costos iniciales de inversión y los costos de fabricación de material para el sistema primario deberá ser incluido.
- ✓ Los costos de puesta en marcha: Como mínimo, todos los costos, incluidos los de puesta en marcha, la instalación y las pruebas serán incluidos.
- ✓ Los gastos operacionales: Como mínimo, se incluirán todos los costos de operación y mantenimiento del sistema primario. Los costos operativos se definen para incluir los costos de los sistemas operativos y para paros de la planta previstos e imprevistos. Los costos de mantenimiento incluyen los costos del sistema primario debido a todo tipo de mantenimiento, tales como la inspección prevista, reparaciones no planeadas del equipo o de todo el sistema así como cambios y número de reemplazos durante el diseño.

Otros factores

- ✓ Vida de diseño del sistema tiene que ser definido. La tasa de interés, tasa de inflación y las normas tributarias tienen que ser definidas.
- ✓ El posible valor residual, de las ventas del sistema o el valor reemplazado al final de la vida de diseño pueden ser incluidas en los cálculos de CCV.

2.3 PROCESO DE SELECCIÓN DE MATERIALES

En las primeras etapas del desarrollo de un nuevo producto, las preguntas como las siguientes se plantean: ¿Qué es? ¿Qué hace? ¿Cómo lo hace? Después de responder a estas preguntas es posible especificar los requisitos de rendimiento de las diferentes partes involucradas en el diseño y plantear a grandes rasgos los principales requisitos de rendimiento y procesamiento de materiales.

Esto es seguido por la selección inicial de los materiales mediante el cual ciertas clases de materiales y los procesos de fabricación pueden ser eliminados y los restantes pueden ser elegidos como posibles candidatos.

2.3.1 Revisión de las condiciones de funcionamiento

El primer paso en el proceso de selección de materiales es una revisión exhaustiva de las condiciones corrosivas ambientales y de operación de los equipos. Esta revisión requiere el aporte de los ingenieros de procesos, ya que darán una definición precisa del ambiente químico, incluyendo la presencia de algunas trazas de los compuestos químicos. Por ejemplo, la aleación de níquel-molibdeno es altamente resistente al ácido clorhídrico (HCl) hasta el punto de ebullición atmosférico. Sin embargo, la presencia de pequeñas cantidades de iones metálicos oxidantes, tales como el ion férrico (Fe^{3+}), dará lugar a una corrosión severa. Otras condiciones de funcionamiento que requieren una definición, especialmente para los equipos utilizados en la industria de transformación química, incluyen temperaturas, presiones, caudales, etc.

Las condiciones anormales a menudo se pasan por alto durante el proceso de selección. Por ejemplo, acero al carbón puede ser la opción óptima para los recipientes y tuberías, que deben contener los gases de hidrocarburos no corrosivos, tales como etileno, bajo presión y temperaturas normales. Sin embargo, el efecto de enfriamiento que se produce durante la ventilación a la atmósfera, por cualquier razón, puede bajar la temperatura de los recipientes, tuberías y válvulas de alivio por debajo de la temperatura de fractura dúctil a frágil. Por lo tanto, sería apropiada la selección de aceros especiales calificados por pruebas de impacto a la temperatura más baja esperada.

Las condiciones de funcionamiento están directamente relacionadas con las características requeridas de la pieza o el producto. Por ejemplo, si la parte lleva una carga de tracción uniaxial, la resistencia a la fluencia de un material candidato puede estar directamente relacionado con la capacidad de carga del producto. Sin embargo, algunas características de la parte del producto pueden no tener correspondencia con propiedades sencillas de los materiales mensurables, como en el caso de la resistencia al choque térmico, resistencia al desgaste, fiabilidad, etc. Bajo estas condiciones, el proceso de evaluación puede ser bastante complejo y dependerá de las predicciones basadas en pruebas de servicio simuladas o en las más estrechamente relacionadas con propiedades mecánicas, físicas o químicas. Por ejemplo, resistencia al choque térmico puede ser relacionado con el coeficiente de

expansión térmica, conductividad térmica, módulo de elasticidad, ductilidad, y resistencia a la tracción. Por otro lado, la resistencia a la corrosión por tensión puede ser relacionada con la resistencia a la tracción y el potencial electroquímico.

2.3.2 Revisión de diseño.

El procesamiento de un material es una medida de su capacidad para ser trabajado para conformarse en una pieza terminada. Con referencia a un método de fabricación específica, el procesamiento de un material se puede definir como moldeabilidad, soldabilidad, maquinabilidad, etc. Su ductilidad y templeabilidad puede ser relevante si el material será deformado o endurecido por tratamiento térmico, respectivamente.

El tipo y el diseño de los equipos y sus diversos componentes deben considerarse, junto con el tamaño, la complejidad y el estado crítico en el que esté dando servicio. La selección de un material para un tanque de almacenamiento sencillo generalmente no requiere la misma atención y esfuerzo como la elección del material de construcción para un reactor de proceso químico altamente sofisticado. Esto es especialmente cierto cuando se consideran piezas únicas de los equipos grandes de un solo tren en plantas de proceso continuo en las que un fracaso significaría detener toda la operación. En este caso, se debe tener mucha atención al seleccionar el material óptimo.

Los materiales utilizados en piezas para unirse a un equipo requieren tanta atención como los propios materiales del equipo de proceso. Muchos conjuntos atornillados como los agitadores en los reactores, así como ruedas remachadas en los compresores centrífugos, han fracasado catastróficamente porque los pernos o remaches no tenían la resistencia adecuada o resistencia a la corrosión. Cuando la soldadura es el método de unión, el ingeniero de materiales tiene el reto de asegurarse de que las soldaduras son tan resistentes a la corrosión como los metales de base. Generalmente, el metal de soldadura debe ser igual al metal de base en cuanto a la composición química y debe ser prácticamente libre de defectos superficiales, tales como la porosidad, inclusiones de escoria, la penetración incompleta o falta de fusión, para el servicio libre de mantenimiento.

2.3.3 Selección de posibles materiales.

La fiabilidad de un material puede ser definida como la probabilidad de que realice correctamente su función durante su vida esperada sin fallo alguno. La fiabilidad del material es difícil de medir, porque no sólo depende de las propiedades inherentes del material. En general, los nuevos materiales y los materiales no estándar tienden a tener una menor fiabilidad que los materiales estándar, ya que estos están correctamente establecidos.

A pesar de las dificultades de la evaluación de la fiabilidad, a menudo es un factor de selección importante que debe tenerse en cuenta. Las técnicas de análisis de fallos se suelen utilizar para predecir las diferentes formas en las que un producto puede fallar y puede ser considerado como un enfoque

sistemático para la evaluación de fiabilidad. Las causas de la falla de una pieza en servicio por lo general se remontan a defectos en materiales y procesamiento, diseño defectuoso, condiciones inesperadas del servicio, o mal uso del producto.

Una vez que el ambiente químico, las condiciones de operación, el tipo y el diseño de los equipos han sido definidos, el examen de los materiales de construcción ha finalizado. Ocasionalmente, la selección se basa en la experiencia fiable o en proyectos pasados y, como tal, está bien definida. Sin embargo, la selección no es nada sencilla por razones tales, como ambientes químicos complejos y requisitos de los códigos estrictos.

La lista de materiales para elegir es grande debido a que los metales ferrosos, metales no ferrosos y aleaciones, termoplásticos, plásticos termoestables reforzados, vidrio, carbono y grafito, y revestimientos de resina se encuentran entre los distintos materiales disponibles. Muchos materiales se excluyen inmediatamente debido a las condiciones de servicio, es decir, presiones demasiado altas para los plásticos termoestables, temperaturas demasiado altas para revestimientos y recubrimientos no metálicos, tales como resinas epóxicas, de goma o temperaturas del medio ambiente son demasiado agresivas para el acero al carbón, y así sucesivamente. Las opciones restantes todavía pueden ser mayores.

Siempre es deseable minimizar la lista de los materiales; esto permite una evaluación a profundidad. En otros casos, la lista inicial puede ser excepcionalmente pequeña a causa de un profundo conocimiento limitado acerca de las condiciones de funcionamiento del entorno químico complejo. Una búsqueda de fuentes de datos se debe seguir en cada caso.

2.3.4 Estudio de la literatura.

Se podría empezar con un estudio de la literatura, el uso de fuentes aplicables tales como resúmenes sobre corrosión, junto con las encuestas de datos de corrosión publicados por la Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión (NACE). Esta sociedad técnica, junto con la Oficina Nacional de Normalización, inició un programa en curso para informatizar los datos de referencia sobre el comportamiento de los materiales en ambientes corrosivos.

Otras fuentes de datos incluyen una amplia variedad de manuales, actas de congresos y compilaciones bibliográficas publicadas por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM). Además, se han desarrollado sistemas, que son programas informáticos que contienen métodos e información proporcionada por los expertos, son las últimas herramientas disponibles para la selección de materiales. Tales sistemas están diseñados para resolver problemas, hacer predicciones, sugieren posibles tratamientos, una oferta de materiales y el asesoramiento a la corrosión con un alto grado de precisión.

La experiencia y datos generados a menudo sirven como las bases más fiables para la selección de materiales. Idealmente, a ello se suma la experiencia exterior, cuando esté disponible, a partir de materiales de proveedores y fabricantes de equipos para completar este proceso de selección inicial. Los

contactos con los clientes referidos por los vendedores no deben pasarse por alto para la experiencia añadida.

En esta etapa, la lista de posibles materiales debería reducirse a un número razonable para la evaluación en profundidad. La selección final no debe basarse únicamente en las fuentes de datos anteriores, ya que en la mayoría de los casos los datos proporcionados son insuficientes para la caracterización completa de un entorno o un conjunto de condiciones.

2.3.5 Evaluación de Materiales

La evaluación minuciosa de cada material candidato debe comenzar con un conocimiento amplio de las formas de productos disponibles, junto con el caso de la fabricación por métodos estándar. Por ejemplo, sería perder tiempo y dinero para evaluar una aleación **FE₁₄-5Si** para nada más un componente tal como una carcasa de una bomba o cuerpo de una válvula. La aleación no está disponible en cualquier otra forma, debido a su pobre capacidad de soldadura, esta aleación también se debe descartar para aplicaciones que implican soldadura.

Las pruebas de corrosión en ambientes representativos es generalmente, el siguiente paso. El alcance de la investigación (y la determinación de condiciones de prueba) depende de factores tales como:

- ✓ Grado de incertidumbre tras la información disponible que haya sido contemplada
- ✓ Las consecuencias de realizar una selección no tan confiable o menos óptima
- ✓ El tiempo disponible para la evaluación

Las pruebas de laboratorio de los materiales candidatos son comunes y en algunos casos puede ser el único medio disponible para la determinación final. Siempre que sea posible, se deben utilizar los fluidos de proceso reales, de lo contrario, se deben seleccionar las mezclas que simulan el entorno real. Existe un riesgo considerable en el uso de este último método, debido a que los componentes no definidos pueden tener un efecto significativo en el rendimiento de un material en particular.

Dependiendo de la aplicación, se pesan y se miden compuestos de materiales candidatos que están expuestos a los fluidos corrosivos bajo una variedad de condiciones que van desde la simple prueba de inmersión estática a una temperatura controlada bajo condiciones de transferencia de calor y velocidad combinados.

Después de la exposición durante un periodo de tiempo determinado (generalmente un mínimo de 1 semana), en el caso de los metales y aleaciones, los materiales se limpian y vuelven a pesarse, y se calcula la velocidad de corrosión sobre la base de la pérdida de peso y la superficie expuesta. La tasa se expresa habitualmente en milímetros de penetración por año o en pulgadas de penetración por año.

Además, las placas de prueba se examinan bajo un microscopio en busca de evidencia de ataque local, como picaduras, corrosión de la grieta, y exfoliación. Estas placas especiales, a menudo son expuestas para determinar si se pueden producir otras formas de corrosión en algunos metales y aleaciones. Estas

placas pueden requerir examen metalográfico para pruebas de aleación, la corrosión bajo tensión (SCC), la corrosión intergranular, y otros fenómenos de corrosión.

Los materiales no metálicos, tales como los termoplásticos, recubrimientos, resinas termoestables, elastómeros reforzados, y cerámicas, también se evalúan con las pruebas de laboratorio, pero los criterios son diferentes de los utilizados para los metales. Primero, el tiempo de exposición debe ser más largo (generalmente de 1 a 3 meses) antes de que ocurran cambios significativos, aunque también los tiempos de exposición de 6 meses a 1 año son comunes. El cálculo de la velocidad de corrosión sobre la base de la pérdida de peso y área de superficie no son aplicables en la mayoría de los casos. En este caso es de mayor importancia los cambios en peso, volumen, dureza, resistencia y su aspecto, antes y después de la exposición.

Otro método es probar los materiales candidatos en condiciones más parecidas a la aplicación final, es decir, en una planta piloto o en equipos a gran escala, debido a que las condiciones no son uniformes (como los flujos, o la composición) dentro de equipos de proceso, ya que con esto la fiabilidad se mejora y aún más cuando es posible probar los componentes en equipos fabricados a partir de materiales candidatos. Con este método podríamos tener conocimiento de cómo y cuánto se afectara nuestro material. Las principales desventajas de este método de ensayo son el costo de fabricación, instalación, remoción y evaluación, ya que son altos; también el tiempo que el equipo que está fuera de servicio y desmontado para su evaluación; y el hecho de que un componente de prueba pueda fallar prematuramente y causar una parada de la unidad y / o daños al equipo.

2.3.6 Especificaciones de los materiales

En este punto, todos los materiales candidatos han sido evaluados a fondo y los materiales de construcción se han seleccionado para la aplicación particular. Ahora deben estar preparadas las especificaciones que deben ser claras y concisas para asegurar que se obtiene el material según lo ordenado y que cumple con todos los requisitos de la aplicación, y esto se consigue siguiendo normas o estándares los cuales establecen reglas para cumplir con dichos requisitos.

Las especificaciones más utilizadas y tal vez las más conocidas son las normas de ASTM y otras normas similares en distintos países de los Estados Unidos incluyen las normas DIN (Alemania), BS (Gran Bretaña), AFNOR (Francia), la UNI (Italia), NBN (Bélgica) y JIS (Japón). Otras especificaciones de los materiales que son bien conocidas, pero son más limitados en la aplicación son: Society of Automotive Engineers (SAE), American Welding Society (AWS), American Petroleum Institute (API), y el American National Standard Institute (ANSI).

Los requisitos de fabricación también se deben explicar a detalle para evitar errores que podrían acortar la vida útil del equipo y para satisfacer los requisitos de las agencias reguladoras estatales y federales y las compañías de seguros. El código ASME gobierna la fabricación de equipos para la industria de la refinación. Los sistemas de tubería para estas industrias es generalmente fabricada por códigos ANSI aplicables. En estos códigos, las tensiones admisibles en los cálculos de diseño se han determinado para prácticamente todos los metales y aleaciones que puedan ser seleccionadas para su servicio en

ambientes corrosivos y no corrosivos, donde la soldadura es el método principal de unión, los procedimientos de soldadura deben ser calificados antes de que comience la fabricación. Las pruebas y el aseguramiento de la calidad, tales como radiografías, pruebas hidrostáticas, y la inspección ultrasónica, también están incluidos en los códigos y se especifican en su caso para garantizar el cumplimiento.

El fabricante proporciona dibujos detallados que enumeran las dimensiones, tolerancias, todas las especificaciones de los materiales, fabricación y detalles de la soldadura y los requisitos para las pruebas y aseguramiento de la calidad para su revisión. Para la prefabricación se llevan a cabo reuniones para la revisión final de todos los planos y detalles para que el cliente y el vendedor estén de acuerdo. Por lo tanto, los problemas o errores que podrían conducir a costosos retrasos en la fabricación o fallas en el servicio pueden ser detectados a tiempo y corregidos.

El dinero gastado durante la inspección en la fabricación de los equipos y el montaje para asegurar el cumplimiento de las especificaciones es reembolsado en el arranque. En algunos casos, cada equipo de un conjunto debe ser probado para evitar la corrosión excesiva y / o un fallo prematuro. Por ejemplo, una comprobación adicional de la calidad de un recipiente fabricado de tipo AISI 316L acero inoxidable para el servicio con ácido acético caliente podría ser probar cada placa, brida, boquilla, soldadura, y así sucesivamente, por la presencia de molibdeno mediante el uso de un método de prueba llamado mancha química. La ausencia de molibdeno, indica el uso equivocado de un acero inoxidable, tales como el tipo 304L, daría lugar a una corrosión acelerada en este servicio.

2.3.7 Costo

El costo es por lo general un factor importante en la evaluación de los materiales, debido a que en muchas aplicaciones hay un límite de costo para un equipo dado. Cuando se supera el límite de costo, el diseño tiene que ser cambiado para permitir el uso de un material menos costoso. En algunos de los casos, los materiales relativamente más caros pueden eventualmente producir un equipo menos caro que un material de bajo costo que es más caro de procesar.

2.3.8 Observación de seguimiento

Una vez construido, instalado y puesto en servicio, los equipos, tuberías, reactor, intercambiador de calor, etc., deben ser controlados por el ingeniero de materiales para confirmar que la selección de los materiales de construcción fue adecuada y cumple con los demás requisitos para la aplicación deseada. Las paradas del sistema instalado son frecuentes para las inspecciones minuciosas y la evaluación periódica de las placas de corrosión puestas en lugares clave en los equipos representando tanto las técnicas ideales como las más difíciles de monitorear.

2.4 NORMAS ESTABLECIDAS QUE SE EMPLEAN EN LA SELECCIÓN DE MATERIALES EN UN PROYECTO.

La revolución industrial abrió un nuevo capítulo en la historia de las especificaciones de materiales. Constructores de locomotoras, fabricantes ferroviarios de acero, y los constructores de máquinas de vapor que utilizan nuevos materiales como el acero, ya no podían confiar en la experiencia de la artesanía de los siglos pasados. Los nuevos materiales y técnicas inventadas durante este período requieren nuevos conocimientos técnicos. Por otra parte, los fabricantes encuentran numerosos problemas de calidad en los productos finales, tales como carriles de acero, ya que los proveedores proporcionan materiales de mala calidad. Algunos carriles americanos fueron tan mal hechos, que muchas compañías de ferrocarriles prefieren actualmente las importaciones británicas, que son más caras, pero confiables.

Para evitar estos problemas, algunos fabricantes emitieron descripciones detalladas de sus materiales para asegurar que sus suministros cumplen ciertos estándares de calidad. Para llevar a cabo los controles de calidad, las empresas siderúrgicas estadounidenses usaron nuevo equipo de prueba como el probador de acero Riehle o una versión de Little Giant de Tinius Olsen, que se utilizaron para determinar la resistencia a la tracción.

Durante muchas décadas se han ido estableciendo sociedades que han estandarizado ciertas normas para una buena selección de materiales, por ejemplo, en 1880 se estableció la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME); el Instituto Americano del Petróleo (API) fue establecido en 1919; el comité de ASME para BPVC (código de recipientes a presión de la caldera) Sección III de la energía nuclear se propuso en el año 1963; Instituto de Equipo y Materiales Semiconductores (SEMI) se estableció en 1973.

Los 200 desarrolladores del Estándar Nacional Americano (ANSI) de las organizaciones acreditadas como ANSI (Instituto Nacional Americano de Estándares) se encargan de desarrollar estándares para la industria y junto con sus más de 10,000 estándares nacionales publicados, hacen un esfuerzo continuo para que exista armonía entre estos estándares.

Gracias a este esfuerzo de armonización el ingeniero químico de una Industria Petroquímica o Química puede hacer uso de múltiples estándares en un proyecto, sin la preocupación de declaraciones contradictorias entre esos estándares. Aunque esto no quiere decir que no hay un requisito más estricto en un estándar sobre otro.

Al adoptar estos estándares, se llegan a consensos en los comités de expertos, en los cuales se evalúa, analiza, debate y vota en múltiples niveles para acreditar la estandarización. El establecimiento del control de los materiales, la fabricación, la inspección, y pruebas en un proyecto requiere de una documentación.

Es evidente que la aportación de un ingeniero o especialista en un proyecto es esencial para la selección de los materiales, no sólo para propósitos de diseño, sino también por las decisiones de reemplazo y

reparación de un equipo, o de un sistema de tuberías que no ha podido funcionar como se espera o que se ha dañado. La excelencia en la selección de materiales es la base para evitar infracciones del confinamiento, y es otro tema que debe ser especificado en los documentos de control de corrosión. Tanto ASTM como NACE tienen una serie de publicaciones útiles y prácticas relativas a la selección de materiales para la industria de refinación y fabricación de productos químicos recomendados. Uno de los más útiles es la norma API RP 571, que da información de los daños que afectan al equipo fijo en la industria de refinación, esta norma ha sido recientemente actualizada y ampliada en la segunda edición.

2.4.1 ASTM Internacional

ASTM International, anteriormente conocida como la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, es un líder reconocido a nivel mundial en el desarrollo y entrega de normas internacionales de consenso voluntario. Hoy, unas 12.000 normas ASTM se utilizan en todo el mundo para mejorar la calidad del producto, aumentar la seguridad, facilitar el acceso a los mercados y el comercio y fomentar la confianza de los consumidores.

ASTM en el desarrollo de normas internacionales es impulsado por las contribuciones de sus miembros: más de 30.000 de los mejores expertos técnicos del mundo y profesionales de negocios que representan a 150 países. Para trabajar en un proceso abierto y transparente, además del uso de la infraestructura electrónica avanzada de la ASTM, los miembros de ASTM entregan los métodos de prueba, especificaciones, guías y prácticas que apoyan a las industrias y los gobiernos en todo el mundo.

Se formó en 1898 por los químicos y los ingenieros del ferrocarril de Pennsylvania. En el momento de su creación, la organización era conocida como la Sección Americana de la Asociación Internacional para el Ensayo de Materiales. Charles B. Dudley, Ph.D. químico que fue la fuerza impulsora detrás de la formación de esta Sociedad. En 2001, la Sociedad se hizo conocida como ASTM International.

A continuación en la TABLA 5-2 y TABLA 6-2 se da un breve resumen de algunas normas de ASTM que se han establecido y usado durante muchos años, y hacen referencia a especificaciones de algunos materiales para ser usados en la Industria Química y la Industria Petroquímica.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

TABLA 5-2 Normas ASTM Aplicadas para Selección de Materiales para Equipo

CODIGO DE LA NORMA	NOMBRE DE LA NORMA	DESCRIPCION
ASTM A242/A242M-04(2009)	Especificación Normalizada para Acero Estructural de Alta Resistencia y Baja Aleación	Esta especificación trata sobre perfiles, placas y barras de acero estructural de alta resistencia y baja aleación para construcción electro soldada, remachada o atornillada proyectados principalmente para ser utilizados como elementos estructurales donde son importantes los ahorros en peso [masa] o la durabilidad agregada
ASTM A515 / A515M – 10	Especificación de placas para recipientes a presión de acero al carbón, para servicio de medianas y altastemperaturas	Esta especificación trata de las placas de acero de carbono-silicio principalmente para servicio intermedio y de mayor temperatura en las calderas con costura y otros recipientes a presión. Las placas están disponibles en tres calidades que tienen diferentes niveles de fuerza: Grado 60; Grado 65; y Grado 70. El acero debe ser hecho para una práctica de tamaño de poro austenítico grueso.
ASTM A724 / A724M - 09(2013)	Especificación estándar para placas de recipientes a presión, templado y revenido, para recipientes a presión con costura	Esta especificación cubre los requisitos estándar para los tres grados de acero de manganeso y silicio de carbono, los grados designados A, B, y C. Grado C se puede producir con una adición de boro. Las placas serán templadas y revenidas y estarán destinadas para la aplicación en recipientes a presión soldados en capas.
ASTM B265 – 13	Especificación de titanio recocido y tira de aleación de titanio, hoja, y placa.	Esta especificación habla del titanio recocido, tira de aleación de titanio, hoja, y la placa. Los grados de titanio y metal de la aleación de titanio están cubiertos por esta especificación que dice que tendrán los requisitos de composición química de: nitrógeno, carbono, hidrógeno, hierro, oxígeno, aluminio, vanadio, estaño, rutenio, paladio, cobalto, molibdeno, cromo, níquel, niobio, circonio, silicio y titanio.
ASTM B843 - 13	Especificación estándar para ánodos de aleación de magnesio para la protección catódica	Esta especificación trata sobre los requisitos estándar para ánodos de aleación de magnesio en forma de reparto y perfiles extrusionados para su uso en la protección catódica.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

CODIGO DE LA NORMA	NOMBRE DE LA NORMA	DESCRIPCION
ASTM B898 - 11	Especificación estándar para las placas reactivas y refractarias del metal con revestimiento	Esta especificación cubre las placas que están unidas a un metal base de forma continua, en uno o ambos lados se va a contener: titanio, circonio, tántalo, niobio, y sus aleaciones. Este material se usa generalmente para la construcción de recipientes a presión.
ASTM B391 - 09e	Especificación estándar para lingotes de niobio y aleaciones de niobio aleación	Esta especificación trata sobre lingotes de niobio no aleados y aleados elaborados al vacío o por fusión de un haz de electrones para producir metal consolidado. Los materiales cubiertos por esta especificación son: R04200-Tipo 1, niobio puro en reactores R04210-Tipo 2, calidad comercial de niobio puro R04251-Tipo 3, aleación de niobio en reactores R04261-Tipo 4, que es una aleación de niobio de grado comercial.
ASTM A48 / A48M - 03(2012)	Especificación estándar para piezas a base de fundición gris	Esta especificación trata sobre el hierro gris para uso general de la ingeniería donde la resistencia a la tracción es una consideración importante. Las barras de prueba se designan en las categorías: S, A, B, y C, según el grosor de su sección de pared.
ASTM B96 / B96M - 11	Especificación estándar para aleación cobre-silicio placa, lámina, y barras.	Esta especificación detalla los requisitos para la placa de aleación de cobre-silicio, hojas, tiras y barras laminadas para la fabricación en general, y de recipientes a presión. Las aleaciones involucradas son aleaciones de cobre UNS Nos. C65100, C65400, C65500.
ASTM B171 / B171M - 12	Especificación estándar para las placas y hojas de aleación de cobre empleados en recipientes a presión, condensadores e intercambiadores de calor	Esta especificación establece los requisitos para las placas, hojas y círculos cortados de las especificaciones: UNS C36500, C44300, C44400, C44500, C46400, C46500, C61300, C61400, C63000, C63200, C70600, C70620, C71500, C71520, C72200 o aleaciones de cobre. Estos materiales se recomiendan para su uso en la construcción de recipientes a presión, condensadores e intercambiadores de calor.

**IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL
DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE
NAFTAS**

CODIGO DE LA NORMA	NOMBRE DE LA NORMA	DESCRIPCION
ASTM B432 - 14	Especificación estándar para la placa de cobre y aleación de cobre con revestimiento de acero	Esta especificación cubre las placas de acero al carbón o base de acero de baja aleación, a la que una capa de cobre o de aleación de cobre como revestimiento, están unidos integralmente y de forma continua en uno o ambos lados. El material está generalmente destinado a aplicaciones de recipientes a presión, pero se puede usar en otras aplicaciones estructurales donde la resistencia a la corrosión o la conductividad de la aleación son de primordial importancia.
ASTM A192 / A192M - 02(2012)	Especificación estándar para tubos de caldera de acero al carbón sin costura para servicio de alta presión	Esta guía cubre las especificaciones estándar para tubos sin fisuras de acero al carbón para caldera y tubos para recalentadores que dan un servicio de alta presión. El acero debe ajustarse a la composición química requerida para el carbono, manganeso, fósforo, azufre y silicio.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

TABLA 6-2 Normas ASTM Aplicadas para Selección de Materiales para Tuberías

CODIGO DE LA NORMA	NOMBRE DE LA NORMA	DESCRIPCION
ASTM A53/A53M-10	Especificación Normalizada para Tubos de Acero Negro e Inmersos en Caliente, Galvanizados, Soldados y Sin Costura	Esta especificación trata sobre tubos de acero galvanizados por inmersión en caliente, negro, soldado y sin costura en NPS 1/8 hasta NPS 26 (DN 6 hasta DN 650). Los tubos ordenados bajo esta especificación se destinan para usos a presión y mecánicos y son también aceptables para usos comunes en líneas de vapor, agua, gas y aire.
ASTM B345 / B345M – 11	Especificación estándar para tubería de aluminio y aleaciones de aluminio extruido sin soldadura, para sistemas de tubería de distribución de petróleo	Esta especificación trata sobre los tubos de aluminio y aleación de aluminio, sin soldadura, y tubos de aluminio extruido sin fisuras para sistemas de tubería de transporte y distribución de gas y petróleo.
ASTM B466 / B466M – 14	Especificación de tubos sin fisuras de cobre-níquel	Esta especificación cubre los requisitos de fisuras (UNS C70400, C70600, C71000, C71500, C71520, C72200) en tuberías de cobre-níquel y tubos en tramos rectos, adecuados para aplicaciones de ingeniería.
ASTM B467 - 14	Especificación para tubería soldada con aleaciones de Cobre-Níquel Tubería	Esta especificación cubre los tubos de aleación cobre-níquel soldados son producidos a partir de la aleación de cobre UNS: C70600 y C71500 para la fabricación general; norma establece los requisitos para la tubería de aleación de cobre-níquel soldadas para usos generales de ingeniería.
ASTM B745 / B745M - 12	Especificación estándar para corrugado de aluminio Tubo para Cloacas y Drenajes	Esta especificación trata sobre los tubos de aluminio corrugado destinado a ser utilizado para el drenaje de aguas pluviales, drenajes, construcción de alcantarillas, y usos similares. Tubería cubierto por esta especificación no se utiliza normalmente para el transporte de residuos sanitarios o industriales

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

CODIGO DE LA NORMA	NOMBRE DE LA NORMA	DESCRIPCION
ASTM B861 – 14	Especificación estándar para titanio y aleación de titanio sin soldadura para tuberías	<p>Esta especificación cubre los requisitos de 34 grados de titanio y aleación de titanio para tuberías sin soldadura, destinada a resistir la corrosión en general y el servicio a temperaturas elevadas. Las aleaciones pueden suministrarse en las siguientes condiciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Grados 5, 23, 24, 25, 29, 35, o 36 – serán recocidos ✓ Grados 9, 18, 28, o 38 - frío o recocido ✓ Grados 9, 18, 23, 28, o 29 - estado beta transformado ✓ Grados 19, 20, o 21 – trabajo con solución tratada.
ASTM A1045 - 10	Especificación estándar para poli vinílico Flexible (cloruro de vinilo) (PVC) Juntas utilizado en conexión de porcelana	Esta especificación trata sobre las necesidades de material y de rendimiento para juntas de compresión de PVC plastificado utilizados en la conexión de los accesorios de plomería porcelana vitrificada residencial y comercial de diámetros 2, 3 y 4 pulgadas utilizadas en líneas de drenaje sanitario
ASTM A1056 - 12	Especificación estándar para acoplamientos de hierro fundido utilizados para unir tuberías y accesorios de Hierro	Esta especificación trata sobre los materiales y las pruebas de acoplamientos de hierro fundido para la unión tubería y conexiones de suelo para los tamaños de 11/2 a 10 pulgadas
ASTM A74 - 13a	Especificación estándar para tubería y accesorios fabricados a base de hierro fundido	Esta especificación trata sobre tubería y conexiones de suelo a base de hierro fundido gris para su uso en cañerías de desagüe, drenaje, agua residual y ventilación sanitaria, y las aplicaciones de aguas pluviales. Estas tuberías y los accesorios no están diseñados para aplicaciones a presión.
ASTM A377 - 03(2014)	Índice Estándar de Especificaciones para la tubería de presión de hierro dúctil	Este índice identifica las especificaciones que cubren tubería de presión de hierro dúctil adecuado para llevar agua y otros líquidos bajo presión.
ASTM B42 - 10	Especificación estándar sin fisuras para la Tubería de cobre, Tamaños estándar	Esta especificación trata sobre tubos de cobre sin soldadura en todos los tamaños de tubería estándar nominales, para su uso adecuado en las tuberías como líneas de alimentación de calderas, y para fines similares.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

CODIGO DE LA NORMA	NOMBRE DE LA NORMA	DESCRIPCION
ASTM B68 / B68M - 11	Especificación estándar para tubos de cobre sin costuras, recocido brillante	Esta especificación establece los requisitos para tubo de cobre recocido brillante transparente adecuado para su uso en la refrigeración, líneas de aceite, líneas de gasolina, y así sucesivamente, donde se requiere tubo con una superficie interior esencialmente libre de escala y la suciedad.
ASTM B359 / B359M - 12e1	Especificación estándar para tubos de cobre y aleación de cobre sin fisuras para condensadores e intercambiadores de calor	Esta especificación establece los requisitos para los tubos de cobre, sin soldaduras y de aleación de cobre en el que la superficie externa o interna, o ambas, han sido modificadas por un proceso de conformación en frío para producir una superficie mejorada integral y así mejorar la transferencia de calor. Los tubos se utilizan típicamente en condensadores de superficie, evaporadores e intercambiadores de calor.
ASTM B395 / B395M - 13	Especificación estándar para los tubos de condensadores, evaporadores, intercambiadores de calor y sifones	Esta especificación establece los requisitos para los tubos de condensadores, evaporadores, intercambiadores de calor y sifones que se fabrican a partir de cobre sin costura y aleación de cobre. El material de fabricación deberá ser de tal calidad y pureza que el producto final tendrá las propiedades y características especificadas.
ASTM B543 / B543M - 12	Especificación estándar para tubos con costura de cobre y aleación de cobre	Esta norma establece los requisitos para el tubo soldado de cobre y diversas aleaciones de cobre hasta el 31/8 pulgadas., Inclusive, de diámetro, para su uso en condensadores de superficie, evaporadores, intercambiadores de calor, y la fabricación general.
ASTM A106 / A106M - 14	Especificación estándar para el carbono sin costura tubos de acero para servicio de alta temperatura	Esta especificación cubre la tubería de acero al carbón para servicio de alta temperatura. Estos tubos son adecuados para la soldadura, doblado, embridado, y operaciones de formación similares.

**IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL
DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE
NAFTAS**

CODIGO DE LA NORMA	NOMBRE DE LA NORMA	DESCRIPCION
ASTM A178 / A178M - 02(2012)	Especificación estándar para Tubos soldados, de acero al carbón y carbono manganeso para calderas y	Esta especificación cubre los estándares para tubos de alta resistencia, soldados, de acero al carbón y aleaciones de acero al carbón -manganeso para ser usado en tubos de caldera, conductos de humo de calderas, tubos recalentadores y fines seguros. El acero se clasifica en: A (acero de bajo carbono), C (acero medio en carbono) o D (acero al carbón -manganeso).
ASTM A192 / A192M - 02(2012)	Especificación estándar para tubos de acero al carbón sin costura	Esta guía cubre las especificaciones estándar para tubos sin fisuras de acero al carbón para caldera y tubos para recalentadores que dan un servicio de alta presión. El acero debe ajustarse a la composición química requerida para el carbono, manganeso, fósforo, azufre y silicio.

2.4.2 NACE Internacional

NACE Internacional define la normalización como el proceso de formulación y aplicación de normas o procedimientos para lograr un enfoque científico y de ingeniería a una específica actividad con la cooperación de todas las partes interesadas y para el beneficio de todos los interesados.

NACE ha publicado normas (TABLA 7-2 y TABLA 8-2) desde 1969 y ha sido acreditado por la ANSI (American National Standards Institute) como un desarrollador de normas. Un "Estándar NACE International" significa que ese estándar es propiedad de NACE Internacional.

NACE también trabaja con ISO, a veces la adopción de las normas ISO, y las normas ISO son derivadas de estándares de las normas NACE. Un estándar ISO consiste en el texto de una norma de NACE (por convenio).

NACE publica tres tipos de normas: Práctica Estándar, Método de Prueba Estándar, y requerimientos de Materiales Estándar. Hasta el año 2006, publicó la *Norma NACE Prácticas Recomendadas*, conocido por el acrónimo "RP" (por sus siglas en inglés).

La palabra "recomendado" fue eliminada debido a malentendidos frecuentes de su significado, y ese tipo de estándar se convirtió en simplemente "La Práctica Estándar". Todas estas normas simplemente tienen diferentes propósitos, y las palabras adicionales se utilizan para aclarar esos fines.

Las definiciones de los tipos de norma NACE son los siguientes:

✓ **Práctica Estándar (SP):**

Métodos de selección, diseño, instalación o funcionamiento de un material o de un sistema cuando el control de la corrosión es un factor de suma importancia. Esta clase de norma puede brindar detalles de construcción de un sistema de control de la corrosión; métodos de tratamiento de la superficie de materiales para reducir los requisitos para el uso de dispositivos de control de la corrosión; criterios para la correcta operación y mantenimiento de un sistema de control de la corrosión; métodos para el uso adecuado de técnicas de control de la corrosión; procedimientos para aumentar la eficacia, la seguridad, y beneficios económicos de una instalación o sistema; procedimientos para el uso adecuado de una instalación de un sistema de control de la corrosión para evitar su deterioro; u otras prácticas que requieren una descripción de técnicas o parámetros de control para un sistema.

✓ **Método de prueba (TM):**

Pruebas relacionadas con la prevención y control de la corrosión. Esta clase de norma puede dar la forma de realización de las pruebas de cualquier tipo para determinar las características de un material, del diseño o funcionamiento de este. El método de prueba no incluye los criterios de

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

aceptación o de rendimiento. Estos criterios pueden ser cubiertos en la práctica estándar o por los requerimientos de materiales.

✓ **Requerimientos de Materiales(MR):**

Son las normas que definen si se recomienda un material cuando la corrosión es un factor de mucho cuidado en la selección, aplicación, y mantenimiento del material. Esta clase de norma puede incluir la composición química del material, sus propiedades mecánicas, sus propiedades físicas, la selección del material, y otros aspectos de su fabricación y aplicación.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

TABLA 7-2 Normas NACE Aplicadas para la Selección de Materiales para Equipo

NORMA	TITULO	DESCRIPCION
SP0775-2013 (anteriormente RP0775)	Preparación, instalación, análisis e interpretación de las muestras de corrosión en las operaciones petroleras	Alienta el uso de uniformes, métodos probados en la industria para controlar la corrosión en los sistemas de producción de petróleo. Describe los procedimientos para preparar, analizar e instalación de las placas o muestras de corrosión. También se incluyen los cálculos de la tasa de corrosión y una forma típica para registrar datos.
SP0690-2009 (anteriormente RP0690)	Norma para la recopilación de datos de materiales resistentes a la corrosión en una base de datos computarizada	Define las categorías de datos y elementos específicos (campos) que se consideran deseables o esenciales para dar cabida a las estrategias de búsqueda y comparación de datos fiables en las bases de datos computarizadas de corrosión. Las entradas de datos están diseñadas para dar cabida a los datos relativos a los tipos de corrosión y servir de guía para la estructuración de recopilaciones de bases de datos de fuentes múltiples con la capacidad de evaluar la compatibilidad de los materiales de ingeniería (metales y no metales) para una amplia gama de exposiciones a distintas condiciones ambientales.
SP0294-2006 (anteriormente RP0294)	Diseño, fabricación, e inspección de tanques para el almacenamiento de Ácido sulfúrico y óleum (Ácido sulfúrico fumeante) concentrado a temperatura ambiente	Proporciona diseño, fabricación, y prácticas de inspección recomendados para el mantenimiento de la integridad mecánica y la minimización de la posible aparición de la corrosión sin ser detectados en los tanques de proceso de ácido sulfúrico, óleum o tanques de almacenamiento a presión atmosférica y de baja presión. Se presentan pautas de inspección que ayudan en la detección y el seguimiento de la corrosión, con el objetivo de evitar fallas catastróficas que pueden ser causados por la corrosión del acero al carbón.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

NORMA	TITULO	DESCRIPCION
SP0196-2011 (anteriormente RP0196)	Ánodo galvánico de protección catódica de superficies de acero sumergidas en tanques de almacenamiento de Agua	Presenta procedimientos utilizados en la prestación de protección catódica de ánodo galvánico de las superficies de acero normalmente sumergidos dentro de los tanques de almacenamiento de agua utilizados para el suministro de agua municipal y protección contra incendios. Incluye guías para el diseño y la instalación de estos sistemas de protección catódica; además incluye métodos para determinar la eficacia de estos sistemas; y recomendaciones para la operación y mantenimiento de estos sistemas.
SP0273-2007 (anteriormente RP0273)	Manipulación y uso adecuado de los ácidos inhibidos en yacimientos petrolíferos	Describe los métodos y procedimientos para el manejo y uso de ácido clorhídrico inhibido para aplicaciones de campos petroleros. Incluye consideraciones generales cuando se utiliza inhibidores de ácido en pozos, tales como materiales y equipos, preparación de la solución de ácido, bombeo de solución de ácido y la inyección de este, así como la manipulación de fluidos.
SP0178-2007 (anteriormente RP0178)	Detalles de Fabricación, Requisitos acabado de la superficie, y consideraciones características de diseño para tanques y recipientes para ser alineados para servicio de inmersión	Proporciona recomendaciones detalladas sobre el diseño, la fabricación, y los requisitos de acabado superficial con descripciones genéricas y gráficos de diversos grados de soldaduras que pueden especificarse para el revestimiento de tanques y recipientes
SP0487-2007 (anteriormente RP0487)	Consideraciones relacionadas con la selección y evaluación preventivas para la protección contra la corrosión.	Discute consideraciones en los criterios de selección y de rendimiento de los revestimientos provisionales. Los criterios de control de calidad se enumeran para que el fabricante y el usuario para seleccionar los procedimientos de prueba adecuados para mantener los estándares establecidos. La norma tiene por objeto ayudar al nuevo comprador o usuario, así como al usuario experimentado de revestimientos provisionales en la selección y evaluación de estos recubrimientos.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

NORMA	TITULO	DESCRIPCION
SP0302-2007 (anteriormente RP0302)	Selección y aplicación de un sistema de recubrimiento para superficies internas de nuevos y usados carros- cisterna	Aborda la necesidad de aplicar la calidad de los revestimientos para las superficies interiores del carro-tanque que transporta azufre fundido. Preparación de la superficie; selección y aplicación de materiales de recubrimiento; la inspección del sistema de revestimiento completado; y probar el uso de instrumentos adecuados que puedan ser fácilmente recubiertos.
SP0176-2007 (anteriormente RP0176)	Control de la corrosión del acero en Plataformas marinas asociadas a la producción de petróleo	Proporciona guías para los materiales respecto a las prácticas y los métodos de control de la corrosión de estructuras marinas fijas asociadas a la producción de petróleo; aborda el diseño estructural, criterios de protección catódica, diseño e instalación de sistemas de protección catódica, el control de las corrientes de interferencia, escudos dieléctricos, preparación de superficies, etc.
SP0491-2012	Hoja de trabajo para la selección de materiales para juntas no metálicas	Proporciona directrices y una hoja de trabajo que se utilizarán en la selección de materiales de las juntas no metálicas para aplicaciones de campos petroleros.
SP0403-2008 (anteriormente RP0403)	Prevención de la corrosión por tensión o agrietamiento del acero al carbón en las Refinerías	Esta norma tiene por objeto proporcionar orientación a los que diseñan, fabricación y / o se encargan del mantenimiento de equipos de acero al carbón y de tubería que se expone a ambientes cáusticos
NACE No. 11/SSPC-PA 8	Película delgada de revestimientos orgánicos aplicados en recipientes de proceso de acero al carbón	Especifica los procedimientos para diseñar, instalar, inspeccionar los revestimientos orgánicos de película delgada aplicadas a nuevos recipientes de proceso de acero al carbón para evitar la corrosión y otras formas de degradación, tales como agrietamiento inducido por el hidrógeno, o para evitar la contaminación del producto. También es útil para el revestimiento de aplicaciones en recipientes de proceso existentes y equipos.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

NORMA	TITULO	DESCRIPCION
TM0174-2002	Métodos de Laboratorio para la Evaluación de revestimientos de protección y otros materiales de revestimiento en Servicio de inmersión	Proporciona directrices para ayudar a los fabricantes y usuarios a evaluar los revestimientos de protección y selección de los materiales, proporcionando métodos de prueba estándar para la evaluación de recubrimientos protectores usados como forros para servicio de inmersión. Este estándar proporciona dos métodos de ensayo para la evaluación de revestimientos protectores sobre cualquier sustrato, como el acero, cobre, aluminio, etc.
MR0103-2012	Materiales resistentes a la corrosión por tensión de sulfuro en ambientes de Refinación del Petróleo	Define requerimientos de materiales para la resistencia al sulfuro de agrietamiento por tensión (SSC) en entornos de proceso de una Refinería pura (es decir, los ambientes que contienen sulfuro de hidrógeno húmedo [H ₂ S]). El término "agrietamiento por H ₂ S húmedo " tal como se utiliza en la industria de refinación abarca una serie de mecanismos de daño que pueden ocurrir como resultado de los efectos de la carga de hidrógeno en las Refinerías.
NACE No. 10/SSPC-PA 6	Fibra de vidrio reforzado (FRP) para revestimientos aplicados a la parte Inferior de tanques de almacenamiento de acero al carbón	Esta práctica estándar especifica los procedimientos para diseñar, aplicar y revisar plásticos de fibra de vidrio reforzado (FRP) que se aplican internamente a la parte inferior de tanques de almacenamiento de acero al carbón en superficie (AST).
NACE TM0169/ASTM G31	Guía estándar para pruebas de laboratorio sobre Corrosión de metales	Estandariza las pruebas de corrosión por inmersión, y proporciona un consenso sobre la tecnología en este campo de pruebas de corrosión de laboratorio. Enumera y analiza los factores que deben ser considerados en la selección de materiales.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

TABLA 8-2 Normas NACE Aplicadas para la Selección de Materiales para Tuberías

NORMA	TITULO	DESCRIPCION
SP0177-2014 (anteriormente RP0177)	Mitigación de Corriente Alterna y Efectos del relámpago sobre Estructuras Metálicas y Sistemas de Control de Corrosión	Presenta directrices y procedimientos para su uso durante el diseño, construcción, operación y mantenimiento de estructuras metálicas y sistemas de control de la corrosión utilizan para mitigar el efecto de relámpagos y corriente alterna en cabeza (CA) sistemas de transmisión.
SP0607-2007/ISO 15589-2 (Modificada)	Industrias del petróleo y gas natural: protección catódica del sistema de tubería: transporte costa afuera (NACE modificada, adopción de estándar ISO)	Esta norma ANSI / NACE es una adopción modificada de la norma ISO 15589-2. Especifica los requisitos y da recomendaciones para los estudios previos a la instalación, el diseño, materiales, equipos, fabricación, instalación, puesta en servicio, operación, inspección y mantenimiento de los sistemas de protección catódica de ductos marítimos para las industrias de petróleo y gas natural, tal como se define en la norma ISO 13623. Esta norma es aplicable a tuberías de carbono y de acero inoxidable en servicios marítimos, adaptaciones, modificaciones y reparaciones realizadas a los sistemas de tuberías existentes.
SP0108-2008	Control de corrosión de estructuras marítimas por capas de Protección	La norma cubre los materiales de revestimiento, protocolo de pruebas de recubrimientos y criterios de aceptación, la preparación de superficies, aplicación de recubrimientos, control de calidad, y los métodos de reparación. También cubre los sistemas genéricos de protección de revestimiento, revestimientos de cierre y control de la corrosión de las bridas, soportes de tuberías y tubos de acero inoxidable.
SP0185-2007 (anteriormente RP0185)	Recubrimiento con adhesivos suaves para tubería sumergida	Describe los detalles de los materiales y métodos de aplicación de dos tipos de sistemas de recubrimiento de resina de poli olefina extruida sobre los adhesivos suaves en la tubería para el servicio bajo tierra o sumergido en el mar.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

NORMA	TITULO	DESCRIPCION
SP0113-2013	Método de selección para la integridad del sistema de tuberías	Proporciona una guía para determinar el método de evaluaciones adecuadas para el diagnóstico de las amenazas de la corrosión reconocidas como parte de un proceso de integridad de ductos. El proceso de evaluación en la presente norma tiene por objeto específicamente abordar ductos enterrados y construidos a partir de materiales ferrosos.
RP0375-2006	Ceras empleadas en los recubrimientos para un sistema de tuberías	Proporciona requerimientos de materiales, recomendaciones preparación de superficies, y las técnicas de aplicación para el uso exitoso de ceras y componentes envoltorios calientes o en frío en sistemas de revestimiento de cinta de cera para la protección de tuberías, accesorios y válvulas.
SP0200-2008 (anteriormente RP0200)	Prácticas para tuberías revestidas de acero	Detalla las prácticas aceptables para el diseño, fabricación, instalación y mantenimiento de tuberías metálicas revestidas de acero.
SP0285-2011 (anteriormente RP0285)	Control de la corrosión en tanques de almacenamiento subterráneo y sistemas de protección catódica	Esta norma proporciona recomendaciones para controlar la corrosión externa en los sistemas de tanques de almacenamiento subterráneos de protección catódica. En concreto son los tanques de acero con o sin recubrimiento; se sustituyen con nuevos tanques de acero suave revestidos; tuberías metálicas y los conectores flexibles; y otros componentes metálicos. Se incluyen las recomendaciones sobre criterios de protección catódica, diseño, instalación, operación y mantenimiento
SP0186-2007 (anteriormente RP0186)	Aplicación de la protección catódica para superficies externas de acero	Identifica los procedimientos utilizados para determinar la necesidad de protección catódica y requisitos actuales para tuberías en sitio, asociados con la producción de petróleo y gas y almacenamiento de este. La norma también describe las prácticas para el diseño e instalación de sistemas de protección catódica, para su operación y mantenimiento.
SP0472-2010 (anteriormente RP0472)	Los métodos y controles para evitar la propagación de grietas en piezas soldadas de acero al carbón en ambientes de Refinación de Petróleo	Establece pautas para prevenir la mayoría de las formas de agrietamiento de las soldaduras en equipos para refinerías de acero al carbón y de tubería.

**IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL
DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE
NAFTAS**

NORMA	TITULO	DESCRIPCION
RP0304-2004	Diseño, Instalación y Operación de tuberías termoplásticas para Transatlánticos que dan servicio en Yacimientos Petrolíferos	Define el proceso necesario para diseñar, instalar y operar un gasoducto termoplástico forrado. La intención de establecer un estándar para el rendimiento en el ámbito de los procedimientos e instrucciones ya desarrolladas por los instaladores y operadores.
SP0109-2009	Aplicación de revestimientos en tuberías metálicas enterradas	Presenta directrices para garantizar la adecuada selección, aplicación y ejecución de revestimientos y materiales utilizados como la protección contra la corrosión externa para nuevos y existentes sistemas de tuberías y accesorios.
TM0111-2011	Método de prueba para la evaluación de corrosión por tensión del etanol en aceros al carbono	Esta norma establece un método de prueba para determinar la velocidad de deformación lenta (SSR) para la detección y evaluación de la susceptibilidad de los aceros al etanol, estas pruebas se aplican principalmente en sistemas de tubería.

2.3.4 NOM (Norma Oficial Mexicana)

La Normatividad Mexicana es una serie de normas (TABLA 9-2) cuyo objetivo es asegurar valores, cantidades y características mínimas o máximas en el diseño, producción o servicio de los bienes de consumo entre personas morales y/o personas físicas, sobre todo los de uso extenso y de fácil adquisición por parte del público en general, poniendo atención especial en el público no especializado en la materia. De estas normas existen dos tipos básicos en la legislación mexicana: las Normas Oficiales Mexicanas, llamadas Normas NOM, y las Normas Mexicanas, llamadas Normas NMX. Sólo las NOM son de uso obligatorio en su alcance, y las segundas solo expresan una recomendación de parámetros o procedimientos, aunque, en caso de ser mencionadas como parte de una NOM esta será de uso obligatorio.

TABLA 9-2 Normas NOM Aplicadas para la Selección de Materiales para Equipo

CLAVE DE LA NORMA	TITULO DE LA NORMA	DESCRIPCION
NOM-009-SESH-2011	Recipientes para contener gas L.P., tipo no transportable. Especificaciones y métodos de prueba.	El material utilizado para la fabricación de las partes sujetas a presión del recipiente debe cumplir con las especificaciones establecidas en la Tabla 1 . El material utilizado en las partes del recipiente no sujetas a presión, que sean soldadas a la pared sujeta a presión, debe ser de acero compatible para su unión soldable.
NOM-046-SCT2/2010	Especificaciones y características relativas al diseño, construcción, inspección y pruebas de cisternas portátiles de gases licuados no refrigerados.	<p>Cuando se utilice acero de grano fino, el valor garantizado del límite elástico no superará los 460 N/mm² y el valor garantizado del límite superior de la resistencia a la tracción no será superior a 725 N/mm² según la especificación del material. Los materiales de las cisternas portátiles o carro-tanques deben estar adaptados al ambiente exterior en el que vayan a operar.</p> <p>Los depósitos de las cisternas portátiles, sus accesorios y sus tuberías deben estar fabricados con materiales que: a) Sean prácticamente inmunes a la acción de los gases licuados no refrigerados transportados; b) Sean eficazmente neutralizados por reacción química.</p>

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Las siguientes normas son normas adicionales que también se aplican para la selección de materiales para equipo y tubería (TABLA 10-2 y TABLA 11-2).

TABLA 10-2 Normas NMX (Normas Mexicanas) Aplicadas para la Selección de Materiales para Equipo

CLAVE DE LA NORMA	TITULO DE LA NORMA	DESCRIPCION
NMX-S-011-1970	Recipientes sin costura para gases a alta presión	Esta norma se aplica a recipientes con capacidad máxima de 500 litros y presión máxima de trabajo de 200 kg/cm ² . Los cilindros deben ser de acero contruidos de una sola pieza, sometidos a un proceso mecánico en caliente para cerrar sus extremos; que sirven para almacenar y transportar gases a presión

TABLA 11-2 Normas NMX (Normas Mexicanas) Aplicadas para la Selección de Materiales para Tubería

CLAVE DE LA NORMA	TITULO DE LA NORMA	DESCRIPCION
NMX-B-185-CANACERO-2013	Industria siderúrgica: tubería de acero inoxidable austenítico con y sin costura-especificaciones y métodos de prueba (cancela a la NMX-B-185-1988).	Cámara nacional de la industria del hierro y del acero (canacero)
PROY-NMX-X-047-SCFI-2013	Industria del gas-tubos y conexiones de poliamida sin plastificante (PA-U) para la conducción de gas natural (GN)- especificaciones y métodos de prueba.	Equipo Para Manejo Y Uso De Gas L. P. Y Natural

2.3.5 NRF (Normas de Referencia)

Con fundamento en el artículo 67 de la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización, las Normas de Referencia son las que elaboran las entidades de la administración pública federal (PEMEX, CFE etc.), en aquellos casos en que las normas mexicanas o internacionales, no cubran sus requerimientos, o bien las especificaciones que se contengan se consideren inaplicables u obsoletas, cuando dichas entidades requieran adquirir, arrendar o contratar bienes o servicios. En la TABLA 12-2 y TABLA 13-2 se describen estas normas.

TABLA 12-2 Normas NRF Aplicadas para la Selección de Materiales para Equipo

CLAVE DE LA NORMA	TITULO DE LA NORMA	DESCRIPCION
PROY-M-NRF-113-PEMEX-2007	Diseño y construcción de tanques atmosféricos	<p>Esta Norma de Referencia establece requisitos técnicos y documentales para el diseño, especificación de materiales, construcción, fabricación, montaje, inspección y pruebas de tanques atmosféricos cilíndricos verticales de fondo uniformemente apoyado.</p> <p>Esta Norma de Referencia no es aplicable para:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Tanques con presión interna de diseño mayor de 18 kPa (2.5 lb/in²). b) Tanques en servicio refrigerado o temperatura de diseño superior de 93°C. c) Reparación, rehabilitación o modificación de tanques atmosféricos.
NRF-017-PEMEX-2007	Protección catódica en tanques de almacenamiento	<p>Establecer los requisitos técnicos y documentales mínimos para la adquisición o contratación de los servicios para el diseño, construcción, mantenimiento, inspección y pruebas de los sistemas de protección catódica para tanques de almacenamiento que contengan hidrocarburos</p>

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

CLAVE DE LA NORMA	TITULO DE LA NORMA	DESCRIPCION
NRF-028-PEMEX-2010	Diseño y construcción de recipientes a presión	Esta norma hace referencia a la especificación, diseño, calculo, fabricación, construcción, inspección, exámenes y pruebas, de recipientes metálicos y componentes metálicos sujetos a una presión de operación diferente a la atmosférica y hasta una presión de diseño interna o externa de 20 MPa (204 kg/cm ²).
NRF-113-PEMEX-2007	DISEÑO DE TANQUES ATMOSFÉRICOS	Esta norma de referencia cubre el diseño y materiales de tanques atmosféricos cilíndricos verticales de acero, soldados, cerrados o abiertos en su parte superior. El diseño de estos tanques debe soportar presiones internas hasta 2 lb/pulg ² . En esta norma se establecen los métodos para el cálculo de los espesores de las placas del fondo, envolvente y techo de los tanques.
NRF-124-PEMEX-2007	Materiales refractarios para Calentadores a fuego directo	Esta Norma de Referencia establece los requerimientos que deben cumplir el contratista o proveedor para el suministro de materiales refractarios en calentadores a fuego directo para Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios. Esta Norma contempla los siguientes materiales: ladrillo refractario denso y aislante, mortero refractario base húmeda y seca y concreto refractario denso y aislante. No contempla la adquisición de piezas refractarias especiales.
NRF-134-PEMEX-2012	Cambiadores de calor enfriados por aire	Esta norma establece los requisitos técnicos que deben cumplir los proveedores o contratistas en el diseño térmico, hidráulico, mecánico-estructural, materiales, fabricación, inspección y pruebas, limpieza y pintura, preparación para embarque de los cambiadores de calor enfriados por aire.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

CLAVE DE LA NORMA	TITULO DE LA NORMA	DESCRIPCION
NRF-136-PEMEX-2011	Platos e internos para torres de proceso	Esta norma de referencia, establece los requerimientos en cuanto a diseño, fabricación, instalación, requerimientos de funcionamiento, inspección y pruebas, documentación, embarque y garantías; para la adquisición de platos internos de torres que serán utilizadas por Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios. Esta NRF aplica para los casos de plantas nuevas, sustitución de platos, así como para el rediseño para mejoras en eficiencia global.
NRF-137-PEMEX-2012	Diseño de estructuras de acero terrestres	Esta Norma establece los requerimientos técnicos y documentales para la ingeniería de estructuras de acero. Esta Norma no aplica para plataformas marinas.
NRF-175-PEMEX-2013	Acero estructural para plataformas marinas	Establece los requisitos técnicos que se deben cumplir en la adquisición de los aceros estructurales empleados por los contratistas y proveedores para el diseño, fabricación e instalación de plataformas marinas.
NRF-273-PEMEX-2010	Aluminio estructural - materiales para plataformas marinas	Establecer los requisitos técnicos y documentales que se deben cumplir en la contratación de la selección, sujeción, pruebas, tratamiento térmico o mecánico y los materiales de aporte para su soldadura, de los diferentes productos en aleaciones de aluminio para uso en estructuras de plataformas marinas.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

TABLA 13-2 Normas NRF Aplicadas para la Selección de Materiales para Tubería

CLAVE DE LA NORMA	TITULO DE LA NORMA	DESCRIPCION
NRF-001-PEMEX-2013	Tubería de acero para recolección, transporte y distribución de Hidrocarburos	<p>Esta Norma de Referencia establece los requisitos que deben cumplir los Tubos de acero al carbón y micro aleado para sistemas de ductos de recolección, transporte y distribución de hidrocarburos y sus derivados.</p> <p>Esta NRF es de aplicación general y observancia obligatoria para la adquisición de tubos de acero para sistemas de ductos, que lleve a cabo Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios.</p>
NRF-004-PEMEX-2011	Protección con recubrimientos anticorrosivos a instalaciones superficiales de ductos	<p>Esta norma de referencia es de aplicación general y observancia obligatoria en la adquisición o contratación de bienes y servicios relativos a las actividades de selección, suministro y aplicación de los sistemas de recubrimientos anticorrosivos para instalaciones superficiales de ductos que transportan hidrocarburos y sus derivados.</p>
NRF-012-PEMEX-2009	Tubería de resina reforzada con fibra de vidrio para la recolección y transporte de hidrocarburos	<p>Establecer los requisitos mínimos para el diseño, fabricación, construcción y pruebas de tuberías a base de polímeros reforzados con fibra de vidrio, destinados a la recolección, transporte y distribución de hidrocarburos y fluidos corrosivos, líquidos y gaseosos.</p>
NRF-013-PEMEX-2009	Diseño de líneas submarinas en el Golfo de México	<p>Esta norma de referencia establece los requisitos mínimos para el diseño de ductos marinos de tubería de acero al carbón para las siguientes condiciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura hasta 150°C (302°F). • Presiones hasta 351,5 kg/cm² (5 000 lb/pulg²). • Profundidades hasta 200 m (656,17 pies) en la Sonda de Campeche y Litoral Tabasco. • Profundidades hasta 100 m (328,09 pies) en la Región Norte y Lankahuasa

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

CLAVE DE LA NORMA	TITULO DE LA NORMA	DESCRIPCION
NRF-032-PEMEX-2012	Sistemas de tubería en plantas industriales – diseño y especificaciones de materiales	Esta NRF establece los requerimientos mínimos aplicables a la ingeniería de diseño y especificaciones de materiales de la Tubería utilizada en los procesos que se llevan a cabo en las instalaciones industriales terrestres y marítimas, de los centros de trabajo de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios. Establece las especificaciones técnicas para materiales de tubería, conexiones y accesorios que se utilizan en los procesos donde se incluye aceite crudo y gas como materia prima, productos intermedios y productos terminados del procesamiento del petróleo y el gas, así como fluidos criogénicos, sólidos fluidizados (catalizadores), desfuegos y los servicios auxiliares como vapor, aire, agua y gas combustible, entre otros.
NRF-096-PEMEX-2010	Conexiones y accesorios para ductos de recolección y transporte de hidrocarburos	Establece las características, requerimientos técnicos y documentales que se deben cumplir para la adquisición de los materiales, conexiones y accesorios que se utilizan comúnmente en la construcción de los sistemas de ductos de recolección y transporte de hidrocarburos.

2.5 MÉTODOS CUANTITATIVOS USADOS PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES

Se estima que hay más de 40.000 aleaciones metálicas actualmente útiles y probablemente cerca de esa cifra hay materiales no metálicos como plásticos, cerámicas y vidrios, materiales compuestos, y semiconductores. Esta gran cantidad de materiales y los muchos procesos de fabricación disponibles para el ingeniero, junto con las relaciones complejas entre los diferentes parámetros de selección, a menudo hacen de la selección de un material una tarea difícil. Si el proceso de selección se lleva a cabo al azar, posiblemente habrá el riesgo de pasar por alto un material alternativo que sea más atractivo. Este riesgo se puede reducir con la adopción de un procedimiento de selección de materiales sistemático. Una variedad de procedimientos de selección cuantitativos se han desarrollado para analizar la gran cantidad de datos implicados en el proceso de selección para que la evaluación sistemática pueda llevarse a cabo.

La experiencia ha demostrado que es deseable adoptar el enfoque holístico de toma de decisiones de la ingeniería en el desarrollo de productos en la mayoría de las industrias. Con la ingeniería, los materiales y procesos de fabricación se consideran en las primeras etapas de diseño y se van definiendo conforme avanza el proyecto, desde el concepto a la realización y finalmente las etapas de detalle.

El proceso de selección consiste en la búsqueda del material o materiales que mejor se adaptan a esos requisitos. En algunos casos ninguno de los materiales disponibles puede cumplir los requisitos o los posibles materiales son demasiado caros o poco seguro para el medio ambiente. En tales casos, se buscan alternativas posibles como rediseñar el equipo o sistema o el desarrollo de nuevos materiales.

Después de que se han sugerido todas las alternativas, las ideas que son inadecuadas o no tan viables, se eliminan y la atención se concentra en las ideas más confiables. Los métodos cuantitativos se pueden utilizar para la selección inicial con el fin de reducir las opciones a un número manejable para la evaluación detallada subsiguiente. Los siguientes son algunos de los métodos cuantitativos para inicial detección de materiales.

Los métodos cuantitativos más importantes que se emplean para la selección inicial de los materiales son:

- ✓ Costo por unidad-propiedad
- ✓ Diagramas de selección de materiales de Ashby
- ✓ Método de Dargie

Existen otros dos métodos muy importantes que también son cuantitativos y se aplican para seleccionar el material óptimo, es decir, tomar la decisión final entre varias combinaciones de materiales candidatos, el método más importante y más aplicado para este caso es el método Pahl-Beitz y el Método de propiedades tabuladas.

A veces en la práctica hay una razón por la sustitución de un material por otro, por lo que el Método cuantitativo de Pugh y el Análisis Coste-Beneficio se aplica para comparar las propiedades y los costos de los materiales utilizados y de los nuevos materiales propuestos.

2.5.1 Límites en las propiedades de los materiales

La selección inicial de los materiales se puede conseguir clasificando primeramente sus requisitos de desempeño en dos categorías principales:

- Requisitos de rigidez
- Requisitos de flexibilidad

Los requisitos de rigidez son los que se deben cumplir en el material si se ha de considerar en todo el proyecto. Tales requisitos pueden ser utilizados para la selección inicial de los materiales y para eliminar los grupos no adecuados. Por ejemplo, los materiales metálicos son eliminados cuando la selección de materiales está destinada para un aislante eléctrico. Si el aislante es flexible, el campo se reduce aún más, se eliminan todos los materiales cerámicos. Otros ejemplos de requisitos de materiales rígidos incluyen el comportamiento bajo la temperatura de funcionamiento, la resistencia al ambiente corrosivo, ductilidad, la conductividad térmica y eléctrica o de aislamiento, y la transparencia a la luz u otras ondas. Otros ejemplos de los requisitos de rigidez incluyen el tamaño del lote, la tasa de producción, tamaño del producto y forma, tolerancias y acabado superficial. Se tenga la experiencia o no para un determinado equipo, existen procesos de fabricación que pueden considerarse como un requisito difícil en muchos casos. La compatibilidad entre el proceso de fabricación y el material también es una importante herramienta para la detección de parámetros. Por ejemplo, el hierro no es compatible con los procesos de formación de la lámina y los aceros no son fáciles de procesar por fundición a presión. En algunos casos, la eliminación de un grupo de materiales resulta en la eliminación automática de algunos procesos de fabricación. Por ejemplo, si se eliminan los plásticos debido a que la temperatura de servicio es demasiado alta, la inyección y moldeo por transferencia debe ser eliminado, ya que son susceptibles de otros materiales.

Los requisitos de flexibilidad son los que incluyen propiedades mecánicas, gravedad específica, y el costo. Pueden ser comparados en términos de su importancia relativa, que dependen de la aplicación en estudio

2.5.2 Método de Costo por Unidad-Propiedad

El método de costo por unidad - propiedad es apto para la selección inicial de materiales en aplicaciones donde una propiedad se destaca como el requisito más crítico de servicio. Por ejemplo, consideremos el caso de una barra de una longitud dada L para soportar una fuerza de tracción. El área de sección transversal A de la barra está dada por:

$$A = \frac{F}{S} \quad (1)$$

Donde S es el trabajo de tensión del material, que está relacionada con la resistencia a la fluencia dividida entre un factor de seguridad apropiado.

El costo de la barra está dado por:

$$C' = C\rho AL = \frac{C\rho FL}{S} \quad (2)$$

Dónde:

C= costo del material por unidad de masa

ρ = densidad del material

Dado que F y L son constantes para todos los materiales, la comparación puede estar basada en el coste de la unidad de fuerza, que es la cantidad:

$$\frac{C\rho}{S} \quad (3)$$

Los materiales con menor costo por unidad de fuerza son preferibles. Si un límite superior se establece para la cantidad, los materiales candidatos que satisfacen esta condición pueden ser identificados y utilizados como sea posible para un análisis más detallado en la siguiente etapa de selección.

El trabajo de tensión del material en las ecuaciones (1) - (3) está relacionada con la resistencia a la fluencia estática del material ya que la carga aplicada es estática. Si la carga aplicada es alterna, es más apropiado utilizar la resistencia a la fatiga del material. Del mismo modo, la resistencia a la fluencia debe ser utilizada bajo las condiciones de carga que causan la fluencia.

Las ecuaciones similares a (2) y (3) se pueden utilizar para comparar materiales sobre la base de rigidez - costo por unidad cuando el criterio de diseño importante es la deflexión en la barra. En tales casos, S se sustituye por el módulo de elasticidad del material. Las ecuaciones anteriores también se pueden modificar para permitir la comparación de diferentes materiales bajo sistemas de carga que no sean de tensión uniaxial. La TABLA 13-2 muestra algunas fórmulas para el costo por unidad-propiedad bajo diferentes condiciones de carga basadas en cualquier límite de elasticidad o rigidez.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

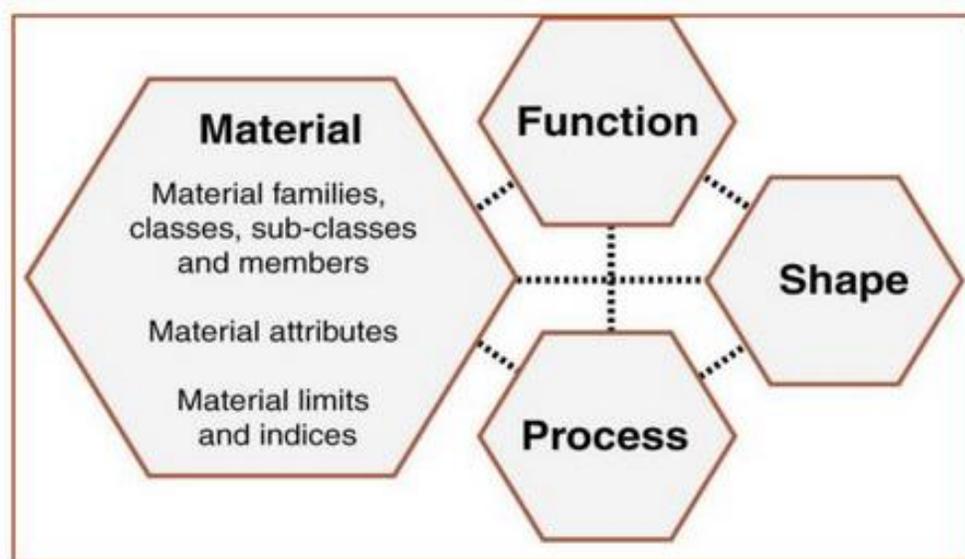
TABLA 14-2 Fórmulas para estimar el costo - unidad - Propiedad

Corte transversal y Condición de carga	Costo por unidad de fuerza	Costo por unidad de rigidez
Cilindro sólido en tensión o compresión	$\frac{C \rho}{S}$	$\frac{C \rho}{E}$
Cilindro sólido en flexión	$\frac{C \rho}{S^{2/3}}$	$\frac{C \rho}{E^{1/2}}$
Cilindro sólido en torsión	$\frac{C \rho}{S^{2/3}}$	$\frac{C \rho}{G^{1/2}}$
Barra cilíndrica maciza como columna delgada	$\frac{C \rho}{S^{2/3}}$	$\frac{C \rho}{E^{1/2}}$
Barra rectangular sólida en la flexión	-----	$\frac{C \rho}{E^{1/2}}$
Recipiente de presión cilíndrico de pared delgada	$\frac{C \rho}{S}$	-----

2.5.3 Método de Ashby

El método de Ashby fue desarrollado por M.F. Ashby en 1992; se trata de una metodología que sirve de guía en la selección de materiales más adecuados en las diversas fases del diseño, contemplando los atributos que son relacionados entre sí por medio de Gráficas.

En este método la selección de los materiales o el material está dado por la función:



Sin embargo, la forma del material algunas veces influye en la selección, así que no es tan necesario u obligatorio.

La metodología Ashby busca optimizar el índice de rendimiento en el proceso de diseño desde el punto de vista de la selección más adecuada para el material y según las restricciones dadas por la función que va a ejercer el componente y por la configuración geométrica del mismo. Para mejorar el índice de rendimiento se busca minimizar la expresión que representa el índice del material, manteniendo los demás índices constantes.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

La estrategia de selección de este método consiste en cuatro pasos principales:



2.5.3.1 Identificar requerimientos de diseño

Todo material de ingeniería tiene una o más funciones, por ejemplo, soportar una carga, contener una presión, transmitir calor, etc., y estas funciones pueden lograrse con ciertas limitaciones como:

- Las dimensiones, algunas veces son fijas
- Los materiales solo deben soportar cargas de diseño
- Presiones de operación y de diseño
- Si el material será aislante o conductor
- A que rango de temperatura puede ser sometido de manera segura

Algunos parámetros pueden ser ajustados con el fin de optimizar el diseño del material, pero únicamente se ajustan los parámetros que no son limitados por los requisitos del diseño. Las funciones y limitaciones definen las condiciones para la selección de un material y en el caso de un material que va a soportar cierta carga se incluye la forma de su sección transversal. El primer paso en la creación de los requisitos de diseño de las propiedades de los materiales es una declaración de la función, limitaciones, objetivos y variables libres del material.

- ✓ Función: ¿Que va a hacer el equipo?
- ✓ Objetivos: ¿Qué se puede optimizar? Y ¿Qué se debe minimizar?
- ✓ Restricciones: ¿Qué condiciones mínimas debe cumplir?
- ✓ Variables libres: ¿Que parámetros pueden ser ajustados para el diseño?

2.5.3.2 Atribución De Límites

En esta fase se eliminan los materiales candidatos que definitivamente están lejos de cumplir los objetivos del diseño porque una o más de sus características se encuentra fuera de los límites establecidos por las restricciones, por ejemplo, para un recipiente que va a cumplir la función de contener agua a temperatura de ebullición y que este recipiente debe ser transparente, se atribuyen los límites para el material del contenedor de temperatura máxima de servicio y transparencia óptica, que debe cumplir; a esto se refiere esta fase.

2.5.3.3 Índice de Materiales

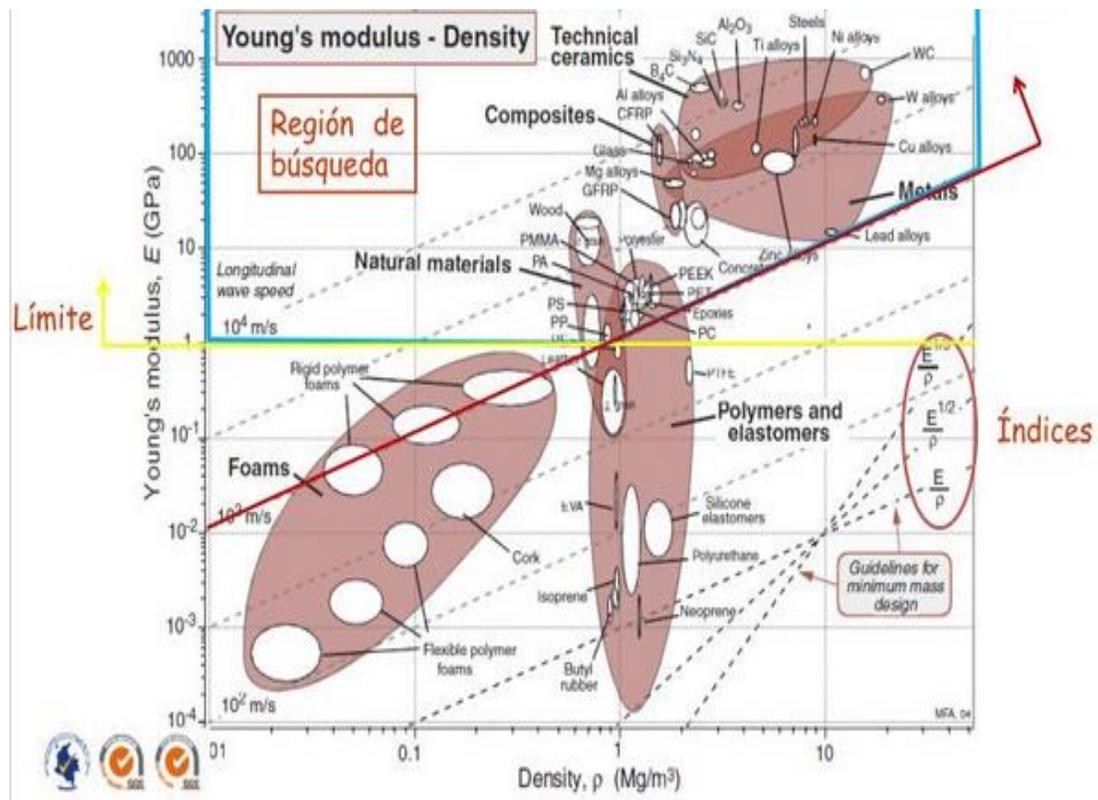
La atribución de límites nos ayuda a descartar los materiales inutilizables o inadecuados para el diseño, sin embargo, no nos ayuda a ordenar los materiales candidatos que aún tienen posibilidad de cumplir con los requerimientos de diseño; el índice de materiales mide que tan bien un material candidato puede cumplir con los requerimientos, el rendimiento de un material es limitado en algunas ocasiones por una propiedad o por una combinación de propiedades.

Ejemplo de estos índices es cuando se va a emplear un material para que flote, los materiales adecuados para este trabajo son los que tienen una baja densidad; cuando se busca un material para realizar la función de aislamiento térmico los mejores son los que tienen los valores más pequeños de conductividad térmica, el índice de materiales proporciona criterios de excelencia que permiten la

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

clasificación de materiales por su capacidad para desempeñarse bien en la aplicación dada; en conclusión, la propiedad o grupo de propiedades que maximiza el rendimiento de un diseño de un equipo dado se denomina: su índice de materiales.

FIGURA 2-2 Ejemplo del uso del Diagrama de Ashby



Una vez se ha identificado el índice de material se procede a realizar la selección mediante las cartas de selección de materiales de Ashby (FIGURA 2-2). A través de dichas cartas se puede seleccionar los materiales con base en las propiedades más relevantes identificadas en el índice del material, orientando la selección del material cuya combinación de propiedades otorgue el más bajo índice de selección.

2.5.3.4 Búsqueda de información de apoyo

El resultado de la selección hasta este punto es una lista corta y ordenada de materiales candidatos que cumplen las restricciones y que maximizan o minimizan el criterio de excelencia de lo que se requiere. Pero para poder seleccionar un solo material de esa lista breve se debe buscar información detallada acerca de cada uno de los materiales, considerando sus fortalezas y debilidades, su reputación, su calificación crediticia, etc. Por lo general esta información de apoyo es descriptiva, contiene datos como estudios de usos previos del material, detalles de su comportamiento a la corrosión en ambientes particulares, información sobre la disponibilidad y precios, experiencia de su impacto ambiental. Toda esta información puede ser encontrada en manuales, hojas de datos proporcionadas por proveedores o en bases de datos proporcionadas por la WEB en todo el mundo.

2.5.4 Método de Dargie

La selección inicial de los materiales y procesos puede ser una tarea tediosa si se realiza de forma manual basándose en catálogos de proveedores y manuales. Esta dificultad ha llevado a la introducción de varios sistemas basados en computadoras para el proceso de selección de los materiales. Para el sistema MAPS 1, Dargie propuso un código de clasificación en donde los cinco primeros dígitos del código MAPS 1 están relacionados con la eliminación de los procesos de fabricación inadecuados.

El primer dígito está relacionado con el tamaño del lote de fabricación del material.

El segundo dígito caracteriza la mayor parte y depende de la dimensión mayor y si el material es de forma:

- ✓ Larga
- ✓ Plana
- ✓ Compacta, etc.

El tercer dígito caracteriza la forma geométrica, que se clasifica en:

- ✓ Prismática
- ✓ Simetría axial
- ✓ Copa
- ✓ No simétrica axial
- ✓ No prismáticas.

El cuarto dígito está relacionado con la tolerancia y el quinto dígito está relacionado con la rugosidad de la superficie.

Los siguientes tres dígitos del código MAPS 1 están relacionados con la eliminación de materiales no adecuados.

El sexto dígito está relacionado con la temperatura de servicio.

El séptimo dígito está relacionado con la velocidad de corrosión aceptable.

El octavo dígito caracteriza el tipo de entorno al que se expone el material.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

El sistema utiliza dos tipos de bases de datos para la selección preliminar:

1. Matrices de adecuación
2. Matriz de compatibilidad

La operación de matrices de adecuación es evaluar la adecuación de los procesos en cuanto a los materiales que se han tomado en consideración. Cada uno de los dígitos del código tiene una matriz. Las columnas de la matriz corresponden al valor del dígito y las filas corresponden a los procesos y los materiales que se encuentran en la base de datos. Los elementos de la matriz que son 0, nos indican falta de idoneidad o adecuación, o 2, lo que nos indica que el material es idóneo o adecuado.

La matriz de compatibilidad expresa la compatibilidad de las diferentes combinaciones de los materiales con los procesos. Las columnas de la matriz corresponden a los materiales mientras que las filas corresponden a los procesos. Los elementos de la matriz que tienen el valor 0 indican que las combinaciones son incompatibles, el dígito 1 es para las combinaciones difíciles o inusuales, y el dígito 2 nos indica que las combinaciones son utilizadas en la práctica habitual.

Basado en este código, el programa genera una lista de combinaciones de materiales candidatos y procesos que pueden ser utilizados. Esta lista ayuda al diseñador para identificar posibles alternativas al principio del proceso de diseño y el diseño para facilitar la fabricación.

2.5.5 Método Pahl-Beitz

El método Pahl-Beitz es un concepto desarrollado en Alemania después de la Segunda Guerra Mundial, se enfoca en evaluar el diseño sistemático.

El diseño global del producto se descompone en diseños independientes para los módulos funcionales por separado.

La principal ventaja de este enfoque es la simplificación del proceso de diseño posterior a los módulos individuales.

La principal desventaja de este método es que mediante la reducción de las posibilidades de intercambio funcional, a menudo aumenta la complejidad global del producto. Esto puede ocasionar problemas de fabricación.

A continuación una breve descripción de la metodología:

1. **Enumerar los criterios de evaluación.** En esencia, se tiene que hacer una lista de los factores de diseño. Las especificaciones de diseño son una fuente de información para crear esta lista. Esta lista debe ser concisa pero debe abarcar tantos problemas como sea posible. Los criterios deben ser expresados en forma de que sea posible asignar valores numéricos a que de 0 a 1, donde 0 es muy pobre y 1 o un valor cercano a este es excelente.
2. **Asignar a los factores de ponderación los criterios de evaluación.** Los factores de ponderación están en un rango de 0 a 1. Expresan la importancia relativa del criterio para la evaluación global. La suma siempre debe ser igual a 1. La construcción de un árbol de objetivos jerárquicos puede ser útil durante este paso. Los valores en cada nivel de cada objetivo deben sumar 1.
3. **Asignar medidas operativas para cada criterio de evaluación.** A cada criterio se le va a asignar un parámetro. Estas son expresiones de lo que se va a medir. Por ejemplo, si el tema es un recipiente a presión y el criterio es tener una larga vida operativa, la medida sería la vida operativa en horas. Los valores paramétricos deben ser bien medidos o estimados para cada parámetro. En algunos casos, los cálculos o estimaciones del orden de magnitud se pueden usar cuando es demasiado pronto el proceso de diseño como para tener cifras precisas(TABLA 15-2).
4. **Asignar evaluaciones numéricas o valores a los criterios individuales.** Es hacer representaciones numéricas de la "bondad" de una característica que se correlaciona con su descripción en este paso. Normalmente se utiliza un rango de calificación de 0 a 10 (TABLA 16-2).
5. **Obtener una evaluación global.** Con los valores asignados en el paso 4 y los valores numéricos de la Etapa 2, puede obtenerse una evaluación global del concepto o diseño, sumando los valores de los productos y su valor.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

6. **Similitudes y diferencias entre las alternativas.** Es una regla que, cuanto mayor sea el valor total ponderado, es la alternativa mejor propuesta.
7. **Considerar Incertidumbres.** Los errores pueden llegar a ser posibles en el sistema anterior. Se deben de examinar los resultados finales.

TABLA 15-2 valores de los criterios de evaluación

Categoría	Valores Numéricos
Insatisfactorio	0
Apenas tolerable	1
Adecuado	2
Bueno	3
Muy bueno o Ideal	4

TABLA 16-2 Valores para los criterios individuales para la solución final

Categoría	Valores Numéricos
Solución completamente inútil	0
Solución muy inadecuada	1
Solución débil	2
Solución tolerable	3
Solución adecuada	4
Solución Satisfactoria	5
Buena solución con algunos inconvenientes	6
Buena solución	7
Muy buena solución	8
Mejor solución que los requerimientos	9
Solución ideal	10

2.5.6 Método de propiedades tabuladas

Este método es muy útil cuando hay una gran cantidad de criterios importantes (propiedades) por comparar y evaluar. El valor ajustado de los criterios (SV) es multiplicado por el factor de ponderación (Bi). La suma de los valores reducidos multiplicados de las propiedades y los factores de ponderación representa el índice de rendimiento (Vr). La combinación de materiales existentes y la congruencia del proceso de fabricación con el más alto índice de rendimiento es la solución óptima.

$$Vr = \sum_{i=1}^k Bi * Svi \rightarrow max. \quad (1)$$

Dónde:

Vr : índice de rendimiento

Bi : factor de ponderación

Svi : valor reducido de la propiedad

k : número de propiedades.

El factor de ponderación Bi representa la importancia relativa de los requisitos de acuerdo con el objetivo. Este factor está determinado para aprovechar la experiencia o el método de la lógica digital. El método de la lógica digital se basa en la comparación de propiedades, donde la propiedad más importante tiene el valor de 1, y la propiedad menos importante tiene el valor 0. Después de eso, para cada propiedad se determina el número de decisiones positivas. El factor de ponderación de la propiedad es la relación del número de decisiones positivas y el total del número de decisiones, Ec. (2).

$$\text{numero total de decisiones} = \frac{k(k-1)}{2} \quad (2)$$

Donde k es el número de requerimientos o propiedades.

Se aplican los valores a escala de las propiedades porque la comparación más fiable de las propiedades tiene diferentes unidades de medida. La ecuación (3) representa la dimensión reducida del valor de la propiedad para la propiedad en sí, donde un menor valor es deseable (por ejemplo, costos, pérdida de masa, etc.).

$$Sv = \frac{\text{valor minimo de la lista}}{\text{valor numerico de la propiedad}} * 100 \quad (3)$$

La ecuación 4, representa el valor adimensional de la propiedad para la propiedad en sí, donde si resulta un valor alto o mayor, este es el adecuado (por ejemplo, dureza, resistencia a la tracción, etc.)

$$Sv = \frac{\text{valor numerico de la propiedad}}{\text{maximo valor en la lista}} * 100 \quad (4)$$

Todos los datos de las propiedades se encuentran en una escala de 0 a 1. La propiedad con el valor 100 (o 1, sin multiplicar con 100) es la mejor propiedad y entonces se tiene el material ideal o adecuado para el diseño. Al final el valor del índice del rendimiento (Vr) determinará cuál es la combinación de materiales optimo o más conveniente, entre mayor sea el valor, ese será el que se debe elegir.

2.5.7 Método de Pugh

También se conoce con un sinfín de nombres, incluyendo Análisis Pugh, Método de Matriz de Decisión, Matriz de Decisión, Rejilla de Decisión, Tabla de Selección, Matriz de Selección, Matriz de Selección de Problema, Matriz Solución, Análisis de Oportunidades, etc. Este es un modelo de toma de decisiones, que se utiliza para elegir entre una lista de alternativas. Se eligen los criterios más importantes en la decisión, y las alternativas se comparan con estos criterios.

Este método, que consta de una matriz de decisión se construye como se muestra en la TABLA 17-2. Cada una de las propiedades de un posible material alternativo o nuevo se comparan con las propiedades correspondientes de los materiales utilizados actualmente y el resultado se registra en la matriz de decisión. Como “+” si es más favorable, “-” o “0” si no es tan favorable. La decisión sobre si un nuevo material es mejor que el material que está siendo utilizado se basa en el análisis del resultado de la comparación, es decir, el número total de “+”, “-” y 0. Los nuevos materiales con propiedades más favorables se seleccionan como candidatos serios para la sustitución y se utilizan para rediseñar el componente y para un análisis detallado.

TABLA 17 - 2 Ejemplo de una matriz de Pugh para la toma de decisiones para la sustitución de materiales.

PROPIEDAD	MATERIAL ACTUALMENTE USADO	MATERIAL NUEVO 1	MATERIAL NUEVO 2	MATERIAL NUEVO 3
1	C1	-	+	+
2	C2	+	+	+
3	C3	+	+	-
4	C4	0	+	-
5	C5	-	0	-
6	C6	0	0	0
7	C7	-	-	0
8	C8	-	+	0
9	C9	-	0	0
TOTAL +		2	5	2
TOTAL -		5	1	3
TOTAL 0		2	3	4

2.5.8 Método de Costo-Beneficio

El análisis de Costo-Beneficio es un método adecuado para el análisis detallado implicado en la decisión final de la sustitución del material o los materiales. Debido a que los materiales nuevos son usualmente más complejos requieren con mayor frecuencia un control e incluso, nuevas tecnologías para llevar a cabo su procesamiento y en consecuencia, los equipos fabricados a partir de estos materiales son más caros.

Esto significa que para hacer que la sustitución de materiales sea económicamente viable y la ganancia económica nos dé como resultado un mejor desempeño, ΔB debe ser mayor que el costo adicional incurrido como consecuencia de la sustitución de ΔC .

$$\Delta B - \Delta C > 1$$

Para este análisis es conveniente dividir el costo de la sustitución de materiales de la manera siguiente:

- **Las diferencias de costos en materiales y mano de obra directa.** Los nuevos materiales a menudo tienen un mejor rendimiento pero son más caros. Cuando se utilizan cantidades más pequeñas de material nuevo para hacer el producto, el incremento en el costo del material directo no puede ser tan grande como pudiera parecer en un principio. El costo de la mano de obra no puede ser un factor importante en la sustitución si los nuevos materiales no requieren nuevas técnicas de elaboración y los procedimientos de montaje. Sin embargo, si se necesitan nuevos procesos, puede dar como resultado nuevos tiempos de ciclo en la productividad y la diferencia de la productividad debe ser evaluada cuidadosamente.
- **El costo de rediseño y pruebas.** El uso de nuevos materiales por lo general implica cambios de diseño y pruebas de componentes para garantizar que su desempeño cumple con los requisitos. El costo de rediseño y la prueba puede ser considerable en el caso de los componentes críticos.
- **Costo de nuevas herramientas y equipos.** El cambio de materiales puede tener un efecto considerable sobre la vida y costo de las herramientas que pueden influir en el tratamiento térmico y los procesos de acabado. Esto puede ser una fuente de ahorro de costes si el nuevo material no requiere de los mismos procesos de tratamiento o de acabado usados para el material original. El costo del equipo necesario para procesar nuevos materiales puede ser considerable si los nuevos materiales requieren nuevas instalaciones de producción, como en el caso de la sustitución de metales por plásticos.

Con base en el análisis anterior, el costo total (ΔC) de la sustitución de un nuevo material, n , es un material original o es una parte dada, la ecuación del costo total es:

$$\Delta C = (P_n M_n - P_o M_o) + f \left(\frac{C_t}{N} \right) + (T_n - T_o) + (L_n - L_o)$$

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Dónde:

P_n, P_o = Precio por unidad de masa de los materiales nuevos y originales utilizados en una parte dada

M_n, M_o = Masa de los materiales nuevos y originales usados en esa parte.

f = Factor de recuperación de capital, puede ser tomado como un 15% en ausencia de información.

C_t = Costo de la transición del material original con respecto a los nuevos materiales.

N = Número total de las nuevas partes producidas.

T_n, T_o = Costo de las herramientas (por pieza) de materiales nuevos y originales.

L_n, L_o = Costo laboral por pieza usando materiales nuevos y originales.

Las ganancias como resultado de un mejor rendimiento de ΔB pueden ser estimadas sobre la base de la mejora del rendimiento esperado del componente, que puede estar relacionado con el aumento del índice de rendimiento del material nuevo en comparación con el material utilizado actualmente. Tales aumentos incluyen el ahorro obtenido como resultado de la reducción de peso o el aumento de la vida de servicio del componente:

$$\Delta B = A (\gamma_n - \gamma_o)$$

Dónde:

γ_n, γ_o = Los índices de rendimiento de los nuevos y originales materiales, respectivamente.

A = Beneficio de un mejor desempeño de los componentes expresados en \$ por unidad de aumento en el índice de comportamiento de los materiales γ .



CAPITULO 3

ESTRUCTURA, USOS Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE ASHBY Y LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

En la actualidad, los diseñadores seleccionan los materiales teniendo en cuenta tres aspectos fundamentales: las propiedades del material, los procesos de fabricación asociados al material y los costos derivados de estos aspectos. La selección en función de las propiedades del material consiste en hacer coincidir, de la forma más cercana posible, los valores numéricos de las propiedades de los materiales con las restricciones y los requisitos del producto. A menudo es necesario utilizar la combinación de propiedades según los esfuerzos y el medio en que trabajara la pieza.

Durante todo el proyecto se pueden emplear los Diagramas de Ashby para la selección de materiales, sin embargo cuando se tienen propiedades más específicas o que requieren de un estricto seguimiento se utilizan otros métodos más exactos como vimos en el capítulo anterior. La selección de materiales entra en cada etapa del proyecto, pero con diferentes niveles de restricción e información. Para que finalmente se pueda estructurar el Diagrama de Selección de Materiales, como documento entregable

Dando un enfoque de la selección de materiales para un proyecto, en la etapa de diseño conceptual tenemos que, se tienen una gran cantidad de opciones para elegir, empezando por ¿Qué proceso elegir?, seguramente existe más de uno y por lo tanto tenemos varios equipos que son necesarios para cada proceso, sin contar las materias primas que se ocuparan en cada uno; entonces tenemos muchas alternativas de materiales a elegir, como ya sabemos existen muchos materiales que podríamos utilizar para satisfacer las necesidades del proceso que sea adoptado.

Debido a esto, los Diagramas de Fase junto con los Diagramas de Ashby se involucran en esta etapa, ya que solo conocemos o nos damos una idea de, que equipos y materias primas se van a emplear en el proceso, además de que se recolectan propiedades físicas y químicas de las materias primas y así es como se empieza generalmente la elección de los posibles materiales, de acuerdo a una evaluación de la estructura funcional del diseño.

En la siguiente etapa del diseño, la ingeniería básica, se analiza con más detalle la operación de la que será la planta, es decir se conocen o se estiman más propiedades de los fluidos como por ejemplo, flujo másico, velocidad de flujo, propiedades corrosivas etc.

Con esta información se puede empezar a dar un dimensionamiento inicial de los equipos y tuberías que podrían estar involucrados en el proceso y así mismo se comienzan a descartar algunos materiales de la etapa conceptual, se acota más la selección de los materiales mediante el uso de los Diagramas de Ashby, porque ya tenemos propiedades más definidas que podemos reflejar en estos diagramas y descartar o adoptar materiales.

En la etapa de ingeniería de detalle ya se ven reflejadas las especificaciones por escrito de cada equipo que se va a utilizar en el Diagrama de Selección de Materiales, así como un análisis detallado de cada uno de los equipos de proceso y tuberías críticos.

3.1 ESTRUCTURA LOS DIAGRAMAS EMPLEADOS PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES

3.1.1 Diagramas de Ashby

Como ya hemos visto, los materiales son clasificados por clase, cada clase muestra una característica. Los Diagramas de Ashby son bastante simples, es una manera útil de trazar datos de las características de un material y mientras se elijan los ejes y escalas apropiadamente, se pueden añadir más propiedades. Entre las propiedades mecánicas y térmicas que existen, hay 30 propiedades que son de importancia primordial tanto en la caracterización del material como en la ingeniería del diseño, están se enumeran en la TABLA 1-3 donde se incluye datos de densidad, fuerza, dureza, tenacidad, conductividad térmica y eléctrica, coeficiente de expansión y el calor específico etc.

TABLA 1-3 Propiedades básicas de los materiales para el diseño y sus unidades habituales SI

CLASE	PROPIEDAD	SIMBOLO	UNIDAD DE MEDIDA
General	Densidad	ρ	Kg/ m ³ o mg/m ³
	Precio	€	\$/kg
Mecánicas	Módulos de elasticidad (Young, cizalladura)	E, G, K	GPa
	Límite de elasticidad	σ_y	MPa
	Resistencia a la rotura	σ_u	MPa
	Resistencia a la compresión	σ_c	MPa
	Ultimo esfuerzo	σ_f	MPa
	Dureza	H	Vickers
	Elongación	ϵ	-

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

	Límite de resistencia a la fatiga	σ_e	MPa
	Resistencia a la fractura	K_{IC}	$MPa \cdot m^{1/2}$
	Tenacidad	G_{IC}	KJ / m^2
	Coeficiente de pérdidas (capacidad de amortiguación)	η	-
Térmicas	Punto de fusión	T_m	C o K
	Temperatura de transición vítrea	T_g	C o K
	Temperatura máxima	T_{max}	C o K
	Temperatura mínima	T_{min}	C o K
	Conductividad térmica	λ	$W / m \cdot K$
	Calor específico	C_p	$J / kg \cdot K$
	Expansión térmica	α	K^{-1}
	Coeficiente de resistencia al choque térmico	ΔT_s	C o K
Eléctricas	Resistividad	ρ_e	$\Omega \cdot m$ o $\mu\Omega \cdot cm$
	Constante dieléctrica	ϵ_d	-
	Potencial de ruptura	V_b	$10^6 V / m$
	Factor de potencia	P	-
Ópticas	Óptico, transparente, translúcido, opaco	Si / No	-
	Índice de refracción	N	-

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Resistencia Ambiental	Tasa de oxidación	Muy baja, baja, promedio, alta, muy alta	-
	Tasa de corrosión		-
	Constante de velocidad de desgaste	K_A	MPa^{-1}

En los Diagramas de Ashby podemos encontrar mucha más información, es decir, más opciones tanto de propiedades del material como los mismos materiales, los Diagramas funcionan de la siguiente manera:

Basta con seleccionar un valor en el rango de los ejes que tenemos en el Diagrama, tanto en “X” como en “Y”, este rango abarca desde los materiales más ligeros hasta los materiales más pesados o rígidos; Dentro de cada familia de materiales, los datos están representados por un conjunto de materiales, elegidos tanto para abarcar toda la gama de comportamiento de la clase como para incluir a los miembros más comúnmente utilizados.

Los gráficos siguientes muestran las propiedades más utilizadas para la selección de materiales y contienen un rango de valores para cada una de las propiedades de todos los materiales. A veces el rango es limitado: el módulo del cobre, por ejemplo, varía por sólo pocos valores porcentuales sobre su valor medio, influenciado por la pureza, la textura y cosas semejantes. A veces es amplia, por ejemplo, la fuerza de la alúmina de cerámica puede variar influenciada por la porosidad, tamaño de poro, y su composición. Propiedades como el tratamiento térmico y trabajo mecánico tienen un profundo efecto sobre el rendimiento, la resistencia y dureza de los metales; estas propiedades sensibles a la estructura aparecerán como burbujas alargadas dentro de las mismas, ya que una burbuja encierra un rango típico para el valor de la propiedad de una sola clase de material.

3.1.1.1. Módulo de Young – Densidad

La densidad de un sólido depende de tres factores: el peso atómico de sus iones, su tamaño, y la forma en que están acomodados o empaquetados. El tamaño de los átomos hace que la densidad no varíe mucho ya que la mayoría de los átomos tiene un volumen dentro de un factor de $2 \times 10^{-29} \text{ m}^3$. Las fracciones de empaquetamiento de los átomos no varían mucho, un empaque cerrado da una fracción de empaquetamiento de 0.74, mientras que un empaque abierto, como la estructura del diamante cubico, da aproximadamente una fracción de empaquetamiento de 0.34. La difusión de la densidad proviene principalmente del peso atómico que va desde un valor de 1 para el hidrogeno, hasta un valor de 238 para el Uranio.

Los metales son densos, ya que sus átomos son pesados, mientras que los polímeros tienen bajas densidades debido a que están compuestos mayoritariamente de Carbono (peso atómico: 12 g/mol) e Hidrogeno (peso atómico: 1 g/mol), cuando se trata de estructuras cristalinas. Los materiales cerámicos, en su mayor parte, tienen densidades más bajas que los metales, porque contienen átomos ligeros como el Oxígeno (O), Nitrógeno (N) o Carbono (C). Incluso los átomos ligeros, tienden a empaquetarse de forma más abierta, dando sólidos con densidad de aproximadamente 1 mg/m^3 , los materiales con densidades más bajas de este valor, son las espumas, que son materiales compuestos de células que contienen una gran fracción de espacio entre los poros.

Por otra parte, los Módulos de la mayoría de los materiales dependen de dos factores:

- ✓ La rigidez de los enlaces
- ✓ La densidad de enlaces por unidad de volumen

Un enlace es como un muelle o resorte que tiene una constante S y se miden en unidades de N/m, a esta propiedad se le llama Modulo de Young, E , y está dado por:

$$E = \frac{S}{r_0} \quad (3.1)$$

Donde r_0 es el tamaño del átomo (r_0^3 es el volumen medio atómico).

Los rangos del Módulo de Young son amplios, y estos abarcan tres tipos de enlaces; el enlace covalente que es rígido y tiene un rango de S entre 20 – 200 N/m, y los enlaces iónicos y metálicos tienen un rango de $S = 15 – 100 \text{ N/m}$. El diamante tiene un módulo muy alto, debido a que los átomos de Carbono son muy pequeños y esto le da una alta densidad a los enlaces, y sus átomos están unidos por “muelles o resortes” muy fuertes, que se encuentran dentro de un rango de alrededor de los 200 N/m.

Los metales tienen un alto modulo porque el acomodo de sus átomos dan una alta densidad a los enlaces y esto los hace más fuertes, aunque no son tan fuertes como los del diamante; los polímeros contienen tanto enlaces fuertes como los que tienen los diamantes, así como enlaces débiles llamados también enlaces de Van der Waals que tienen un valor de $S = 0.5 – 2 \text{ N/m}$, estos enlaces dan como resultado polímeros de bajo Modulo de Young ya que al estirarse es muy fácil que se deforme el

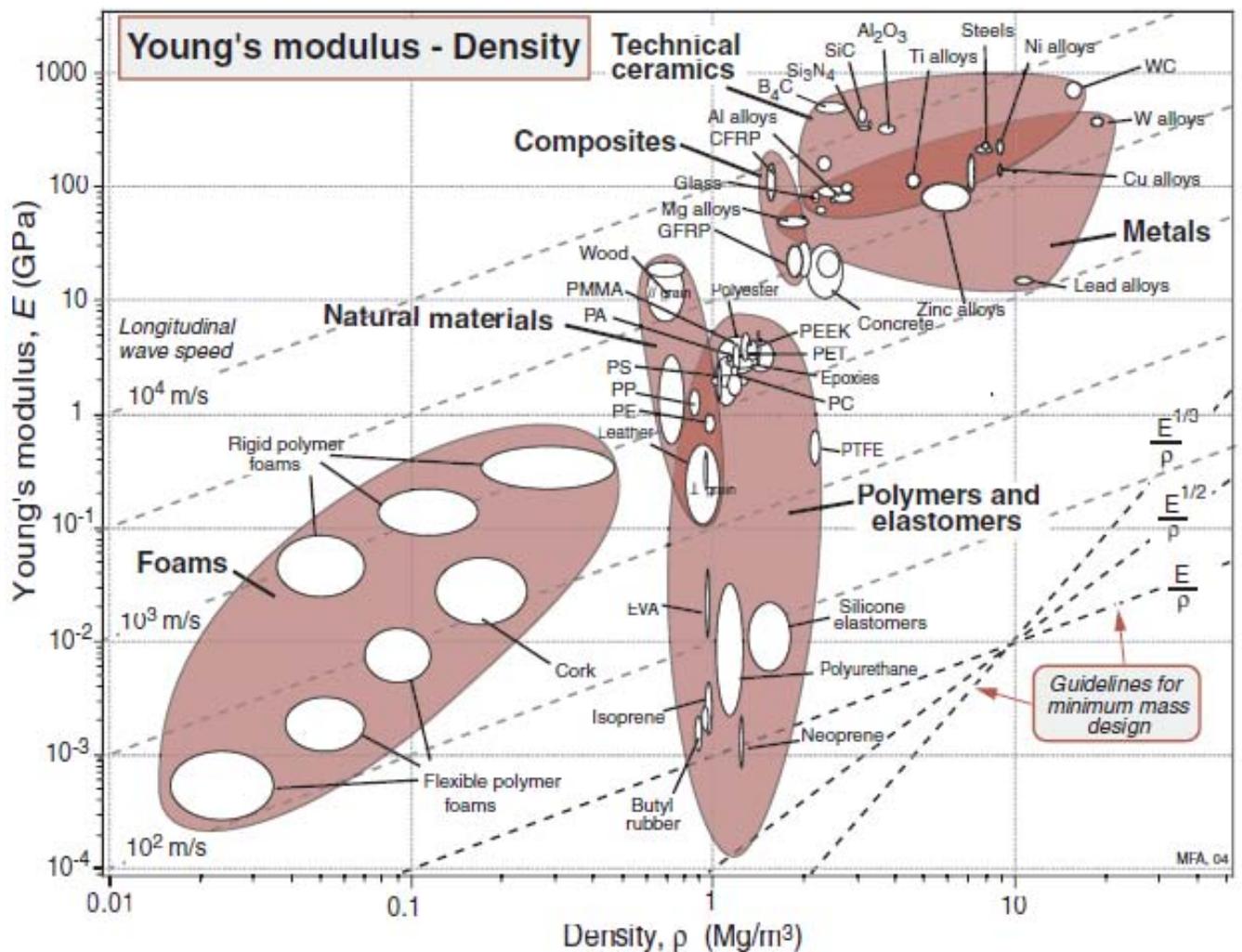
IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

material. Pero incluso los átomos grandes con $r_0 = 3 \times 10^{-10}$, unidos con los enlaces más débiles de más o menos $S = 0.5 \text{ N/m}$ tiene un Módulo de Young de más o menos:

$$E = \frac{0.5}{3 \times 10^{-10}} \approx 1 \text{ GPa} \quad (3.2)$$

Este es el límite inferior para los verdaderos sólidos. La Figura 1.3 muestra la gama completa de Módulo de Young, E , y la densidad, ρ , para materiales de ingeniería; muchos de estos tienen un E menor a 1 GPa, hablamos de los elastómeros, que lo que ocasiona que tengan una bajo Módulo de Young es que sus enlaces secundarios son débiles y esto se debe a que su temperatura de transición vítrea (T_g) está por debajo de la temperatura ambiente (T_a) lo que hace que los enlaces pierdan su rigidez.

FIGURA 1-3 Diagrama de Ashby: Modulo de Young - Densidad



Las burbujas grandes engloban datos de las clases de los materiales, las líneas diagonales muestran la velocidad de la onda longitudinal, las directrices de la constante $\frac{E}{\rho}$, $\frac{E^{1/2}}{\rho}$, $\frac{E^{1/3}}{\rho}$ permitirán la selección de materiales para: peso mínimo, desviación limitada, diseño etc.

El grafico muestra que en los valores de 0.0001 GPa se encuentran las espumas de baja densidad y el diamante se encuentra en el valor de 1.000 GPa; la densidad se extiende en un valor de menos de 0.01 a 20 mg/ m³. También un dato que podemos observar en la gráfica es que los materiales cerámicos son muy rígidos, los metales un poco menos pero ninguno de los dos tiene un módulo menor a 10 GPa, y los polímeros, por el contrario, todo ese grupo se encuentra en el rango de 0.8 a 8 GPa.

Este tipo de grafica se usa cuando el problema de seleccionar un material, está en minimizar la masa del equipo y las directrices correspondientes a tres geometrías comunes de carga se dibujan en el diagrama.

3.1.1.2 Fuerza - Densidad

El módulo de un material solido es una cantidad bien definida con un valor agudo, sin embargo, la fuerza no lo es; para metales y polímeros la fuerza es la resistencia a la elasticidad o límite de elasticidad, pero ya que la gama de materiales incluye tanto los que se han sido endurecidos de alguna forma, como aquellos que se han recocido, el rango de estos materiales es muy amplio. Para las cerámicas frágiles la fuerza que se traza en la gráfica es el módulo de rotura, es decir, la resistencia a la flexión, esta fuerza es ligeramente mayor que la resistencia a la tracción, pero mucho menor que la fuerza de compresión, que para las cerámicas es de 10 a 15 veces mayor. Para los elastómeros, se representa la fuerza de tracción, es decir, la resistencia al fracaso, esta fuerza también es aplicable para los materiales compuestos, aunque estos pueden tener una fuerza menor hasta un 30% debido a la deformación de sus fibras.

La extensión vertical de las burbujas para la fuerza de una clase de material, refleja su amplia gama, causada por el grado de la aleación, dureza, tamaño de poro, la porosidad, etc.

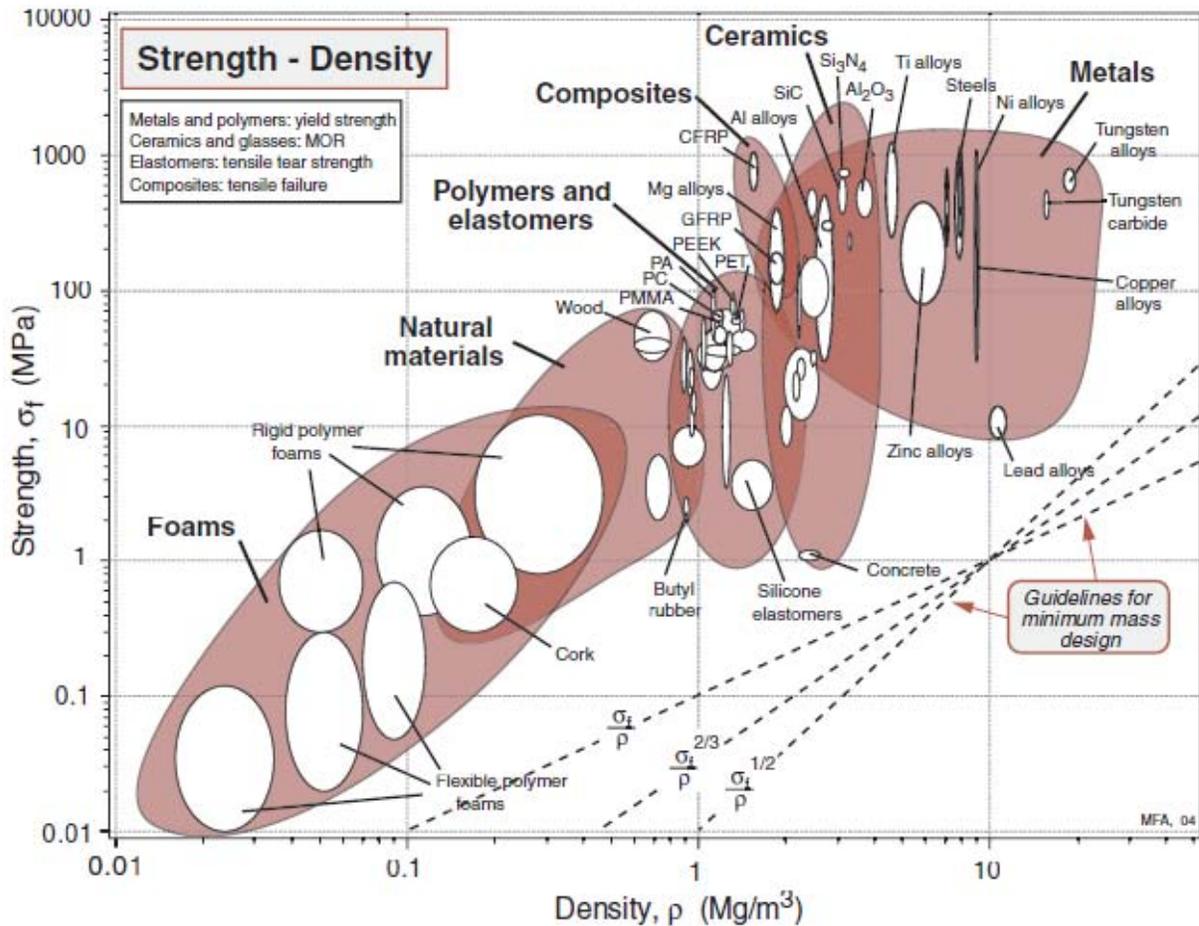
En la FIGURA 2-3 se observa que el rango en el que se encuentra la fuerza para los materiales de ingeniería esta desde 0.01 MPa, que es donde encontramos a las espumas (utilizadas en sistemas de absorción de energía) hasta los 10⁴ MPa donde encontramos al diamante con una mayor fuerza.

La grafica representa el límite elástico para metales y polímeros, resistencia a la compresión para los materiales cerámicos, la resistencia a la rotura de los materiales clasificados como elastómeros y la resistencia a la tracción para materiales compuestos. Las directrices de las constantes:

$$\frac{\sigma f}{\rho}; \frac{\sigma f^2}{\rho}; \frac{\sigma f^3}{\rho}$$

Son usadas cuando el diseño tiene como objetivo obtener el peso mínimo, o cuando se tiene un rendimiento limitado.

FIGURA 2-3 Diagrama de Ashby: Fuerza - Densidad



Los metales puros son blandos debido a que sus enlaces no pueden evitar un movimiento que los lleve a la ruptura, mientras que en las cerámicas es difícil que se lleve a cabo este rompimiento de enlaces, ya que sus enlaces iónicos y covalentes son capaces de bloquear el movimiento de dislocación o ruptura. La fuerza de los materiales tiene el mismo origen en el que subyace la resistencia a la deformación de los mismos; los materiales que fallan por fractura, lo hacen porque esta resistencia a la deformación equivalente es tan grande que es muy fácil que se lleve a cabo la separación atómica (fractura).

Cuando la resistencia a la deformación es baja el material suele ser reforzado por la introducción de otros materiales que hacen que incremente la resistencia del material final. En los metales esto se consigue mediante la adición de elementos de aleación; en los polímeros se da por el entrecruzamiento u orientación de las cadenas o enlaces en su estructura para que se formen los enlaces covalentes con la fuerza necesaria para aumentar sus resistencia a la deformación.

Por otro lado, cuando la resistencia es alta, el endurecimiento es superfluo, es decir, no es necesario ya que tenemos un material con la resistencia suficiente para cubrir ciertas necesidades; las directrices que se muestran para la selección de los materiales se aplican cuando necesitamos obtener un peso mínimo en el diseño de columnas, vigas y placas, y también para el diseño de rendimiento limitado de componentes móviles en la que las fuerzas de inercia son importantes.

3.1.1.3 Modulo de Young – Fuerza

En este tipo de diagramas el rendimiento del nivel de tensión σ_f/E (es decir, la tensión a la que el material deja de ser linealmente elástico), aparecerán como un conjunto de líneas rectas paralelas; en estos diagramas (FIGURA 3-3) podemos analizar lo siguiente: los polímeros de ingeniería tiene varios niveles de rendimiento que están entre los valores de 0.01 y 0.1, los metales tienen niveles de entre 0.001 y 0.01, y a diferencia estos, los materiales compuestos caen en el contorno del valor de 0.01 de nivel de rendimiento, haciéndolos mejores materiales que los metales; y finalmente los elastómeros, por su módulo de elasticidad bajo, tiene valores de rendimiento más altos que cualquier otro material como se observa en la gráfica.

La distancia en la que actúan las fuerzas inter atómicas es pequeña, un enlace se rompe cuando este es estirado un 10% más de su longitud original, así que la fuerza necesaria para romper un enlace es aproximadamente:

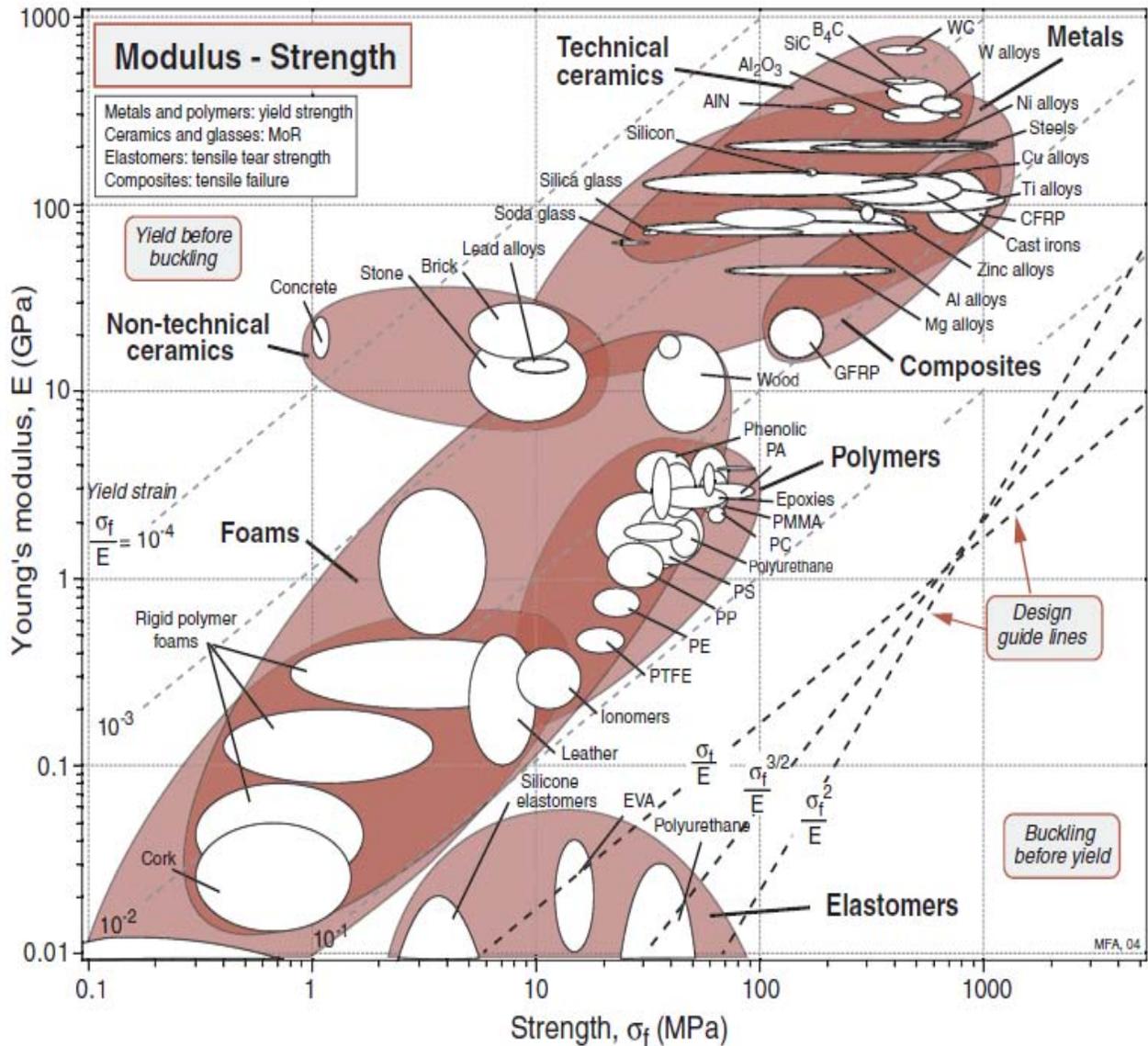
$$F \approx \frac{S r_0}{10} \quad (3.3)$$

Donde S, es la rigidez de los enlaces; cuando los enlaces se rompen por cizalladura, la fuerza de un sólido está dado por las siguientes igualdades:

$$\sigma_f \approx \frac{F}{r_0^2} = \frac{S}{10 r_0} = \frac{E}{10} \quad (3.4)$$

$$\frac{\sigma_f}{E} \approx \frac{1}{10} \quad (3.5)$$

FIGURA 3-3 Diagrama de Ashby: Módulo de Young - Fuerza



La grafica muestra, que para algunos polímeros la falla en tensión, se aproxima al valor 1/10; para otros solidos este valor es menor, debido a dos razones:

La primera, los enlaces no localizados, (es decir, los enlaces en los que la energía de cohesión se deriva de la interacción de un átomo con un gran número de otros átomos, y no solo con los que tiene cerca) no se rompen cuando se corta la estructura, el enlace metálico, y el enlace iónico para determinadas direcciones de cizalladura son algunos ejemplos de estos átomos, los cuales forman metales muy puros

con un rendimiento muy bajo de aproximadamente $E/10\ 000$, en estos casos, es necesario reforzar estos materiales mediante los correspondientes mecanismos, para que puedan ser útiles en ingeniería.

Por otro lado, cuando los enlaces covalentes son localizados, (la fuerza de cohesión se deriva de la interacción de un átomo con su átomo “vecino” o el átomo más próximo a él) se forman sólidos covalentes o sólidos muy fuertes, por esta razón, tienen resistencia a la deformación que a bajas temperaturas, es tan alta que alcanza un valor de $E/10$.

La segunda razón de que la falla en tensión sea muy baja es que, por lo general, contienen defectos de fractura que se pueden propagar a tensiones que están por debajo de las ideales ($E/10$). Los elastómeros se consideran materiales anómalos debido a que su fuerza es mayor a su Módulo de Young, esto se debe a que el Módulo de Young no se deriva de los enlaces de estiramiento si no que se deriva a partir de la variación de la entropía de las cadenas moleculares enredadas cuando se deforma el material.

Las directrices de diseño ayudan con la selección de materiales para resortes o muelles, pivotes, bordes de cuchillas, diafragmas, bisagras etc.

3.1.1.4 Resistencia a la Fractura – Módulo de Young

El aumento de la fuerza de un material es útil mientras este sigue siendo un material elástico y no falla por fractura de manera inmediata. La resistencia a la propagación de una grieta es medida por una propiedad llamada: resistencia a la fractura (K_{1C}), esta propiedad está representada en la FIGURA 4-3.

En la parte inferior se encuentran los materiales frágiles, que, al soportar una carga, permanecen elásticos hasta que sucede la fractura. Para estos materiales la mecánica de fractura: lineal-elástica funciona muy bien y la propia resistencia a la fractura es una propiedad bien definida.

Por otro lado, en el lado superior se encuentran los materiales resistentes, los cuales muestran plasticidad sustancial antes de que se lleguen a la fractura. Para estos materiales los valores de K_{1C} son aproximados derivados de las mediciones críticas (J_c) y del desplazamiento crítico de apertura de la grieta (δ_c), estas mediciones son útiles para proporcionar una clasificación de los materiales. La grafica muestra una de las razones por las que los metales predominan en la ingeniería; casi todos tienen valores de K_{c1} por encima de $20\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, el cual es un valor citado comúnmente como un requisito mínimo para el diseño convencional.

Como regla general, la resistencia a la fractura de los polímeros es menor que la de los materiales cerámicos; sin embargo, los polímeros son ampliamente utilizados en estructuras, los materiales cerámicos no se usan debido a que son “frágiles” y son tratados con mucho más cuidado. La FIGURA 4-3 nos ayuda a resolver esta aparente contradicción.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Consideremos en primer lugar la cuestión de la condición necesaria para la fractura, se puede hacer que el trabajo externo sea suficiente o la energía elástica del material sea liberada, para suministrar la energía superficial “ γ ” por unidad de área de las dos superficies que se crean, se escribe:

$$G \geq 2\gamma \quad (3.6)$$

Donde G es la velocidad de liberación de la energía. Usando una relación estándar: $K = (EG)^{1/2}$, entre G y el grado de tensión K , encontramos que:

$$K \geq (2E\gamma)^{1/2} \quad (3.7)$$

Ahora la energía superficial, γ , de la escala de los materiales sólidos, es su módulo a una aproximación adecuada: $\gamma \approx \frac{E r_0}{20}$, donde r_0 es el tamaño del átomo, obteniéndose:

$$K \geq E \left(\frac{r_0}{20} \right)^{1/2} \quad (3.8)$$

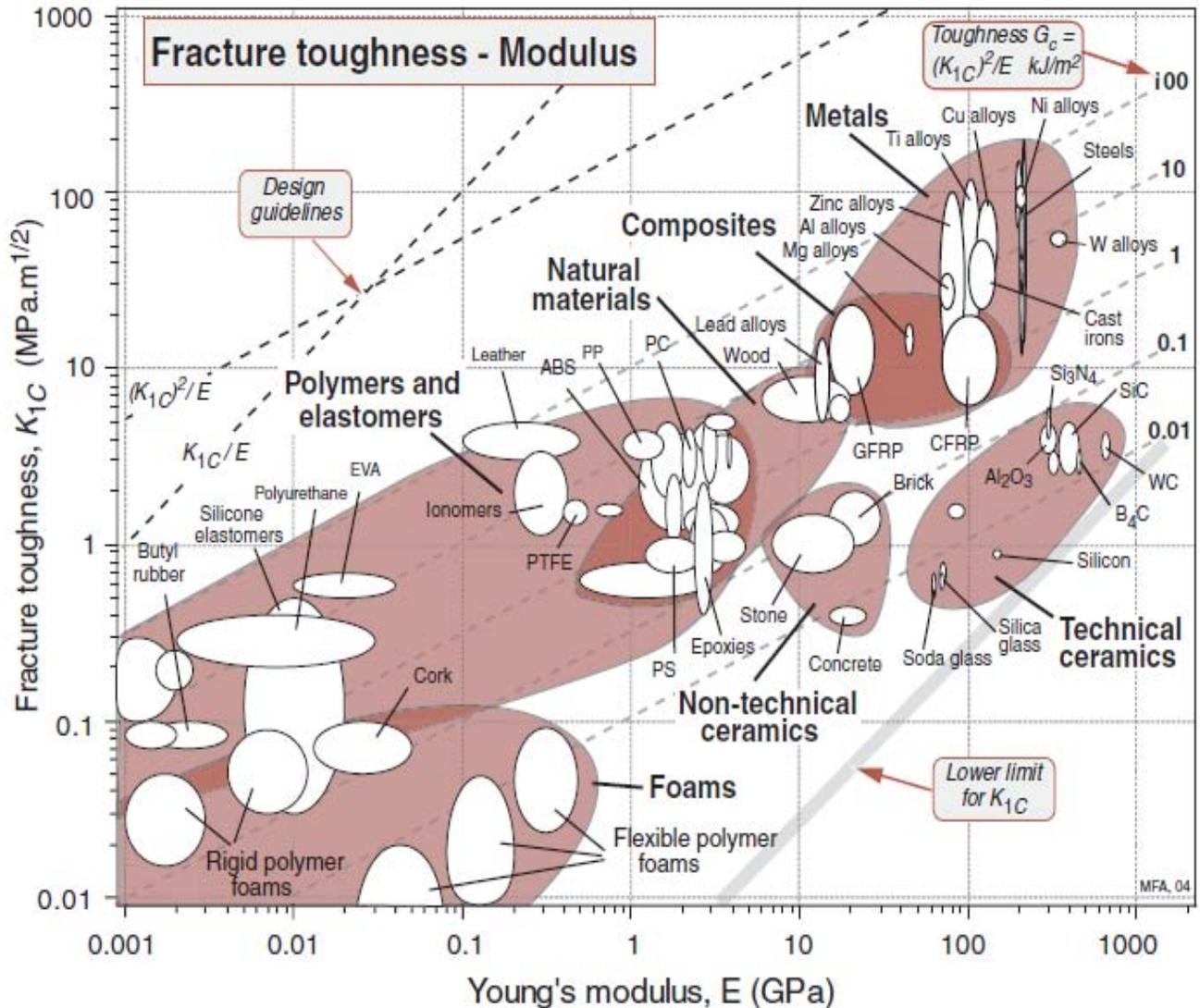
Este criterio se representa en la gráfica como una banda sombreada, cerca de la diagonal de la esquina inferior derecha del plano, definiendo así un límite inferior para K_{1C} . La resistencia a la fractura no puede ser menor a este valor, a menos que tenga alguna otra fuente de energía, como una reacción química, o la liberación de energía elástica almacenada en la estructura del material, causada por la carga de fatiga, cuando esto sucede se asigna otro símbolo $(K1)_{SCC}$ que significa “valor crítico de K_1 para el agrietamiento por tensión de corrosión” o $\Delta K_{THRESHOLD}$ que significa “el rango mínimo de K_1 de propagación de las grietas por fatiga”.

En la gráfica se observa que los materiales cerámicos elásticos están cerca de la banda sombreada que representa los valores de K_{1C} , esto significa que, cuando la fractura ocurre, la energía absorbida es ligeramente mayor a la energía que hay en la superficie. Cuando la fractura se presenta en los metales, polímeros y compuestos, la energía absorbida es mucho mayor, usualmente por la plasticidad asociada con la propagación de las grietas.

En la parte superior derecha se representan los límites de la dureza para todos los materiales con el símbolo G_{1C} , la cual es una medida de la fractura aparente de la energía superficial:

$$G_{1C} \approx \frac{K_{1C}^2}{E} \quad (3.9)$$

FIGURA 4-3 Diagrama de Ashby: Resistencia a la Fractura – Módulo de Young



Las verdaderas energías superficiales, γ , de los sólidos se encuentra en el intervalo de 10^{-4} a 10^{-3} kJ/m², este diagrama muestra que los valores de la resistencia empiezan en el valor igual a 10^{-3} kJ/m² y se extiende hasta por encima de un valor de 100 kJ/m². En esta escala, los materiales cerámicos tienen energías superficiales mucho más bajas que los polímeros (10^{-1} – 10 kJ/m²); y esta es parte de la razón por la cual los polímeros son ampliamente utilizados en ingeniería que los materiales cerámicos.

3.1.1.5 Coeficiente de Perdida – Modulo de Young

Las campanas, comúnmente están hechas de bronce, pero a veces pueden ser hechas de vidrio y raramente están hechas de Carburo de Silicio. Los metales, vidrios y cerámicas, en las circunstancias adecuadas, tienen un bajo amortiguamiento intrínseco o “fricción interna” la cual es una propiedad muy importante cuando el material se va a emplear en estructuras que tendrán vibraciones; la amortiguación intrínseca se mide por el coeficiente de pérdida, η , que se representa en la FIGURA 5-3.

Hay muchos mecanismos de amortiguación intrínseca y otros llamados histéresis; algunos mecanismos de amortiguación están asociados con un proceso que tiene un tiempo específico constante, entonces la perdida de energía se centra alrededor de una frecuencia de tiempo característica. Los mecanismos de histéresis están asociados con mecanismos independientes del tiempo, los cuales absorben energía en todas las frecuencias.

En los metales, una gran parte de la pérdida de histéresis es causada mediante el movimiento de dislocación, que tiene un alto índice en metales blandos como el plomo y el aluminio puro. Los metales de gran aleación como los Aceros de bronce y de alto contenido de Carbono tienen un bajo coeficiente de pérdida.

Las burbujas alargadas que representan a los metales en la FIGURA 5-3 muestran que tienen una amplia gama de materiales de los que se tiene una buena disponibilidad, principalmente las aleaciones o los materiales reforzados. Los materiales cerámicos empleados en la ingeniería, tienen una baja amortiguación intrínseca debido a la resistencia que opone su estructura a las dislocaciones o luxaciones a temperatura ambiente; sin embargo, las cerámicas porosas, al estar soportando una carga, se llenan de grietas por la fricción constante de las superficies y la energía se disipa, teniendo así una amortiguación aceptable para su uso en ingeniería, esto ocurre en algunas fundiciones de materiales cerámicos.

En los polímeros, cuando se tiene una carga, los segmentos de la estructura de estos materiales se deslizan una con otra, y este movimiento hace que se disipe la energía. La facilidad con que se mueven los segmentos de la estructura va a depender de la Temperatura ambiente y de la temperatura de transición vítrea del polímero (T_g). Cuando la relación $T/T_g < 1$, los enlaces secundarios de la estructura del material son “congelados”, es decir, no ocurre ningún movimiento entre sí y esto hace que su Módulo de Young sea alto y la amortiguación sea relativamente aceptable; de lo contrario cuando se tiene la relación $T/T_g > 1$, los enlaces secundarios se funden y es más fácil el deslizamiento entre ellos, entonces con esto se obtiene un Módulo de Young bajo y una amortiguación intrínseca alta; esto explica

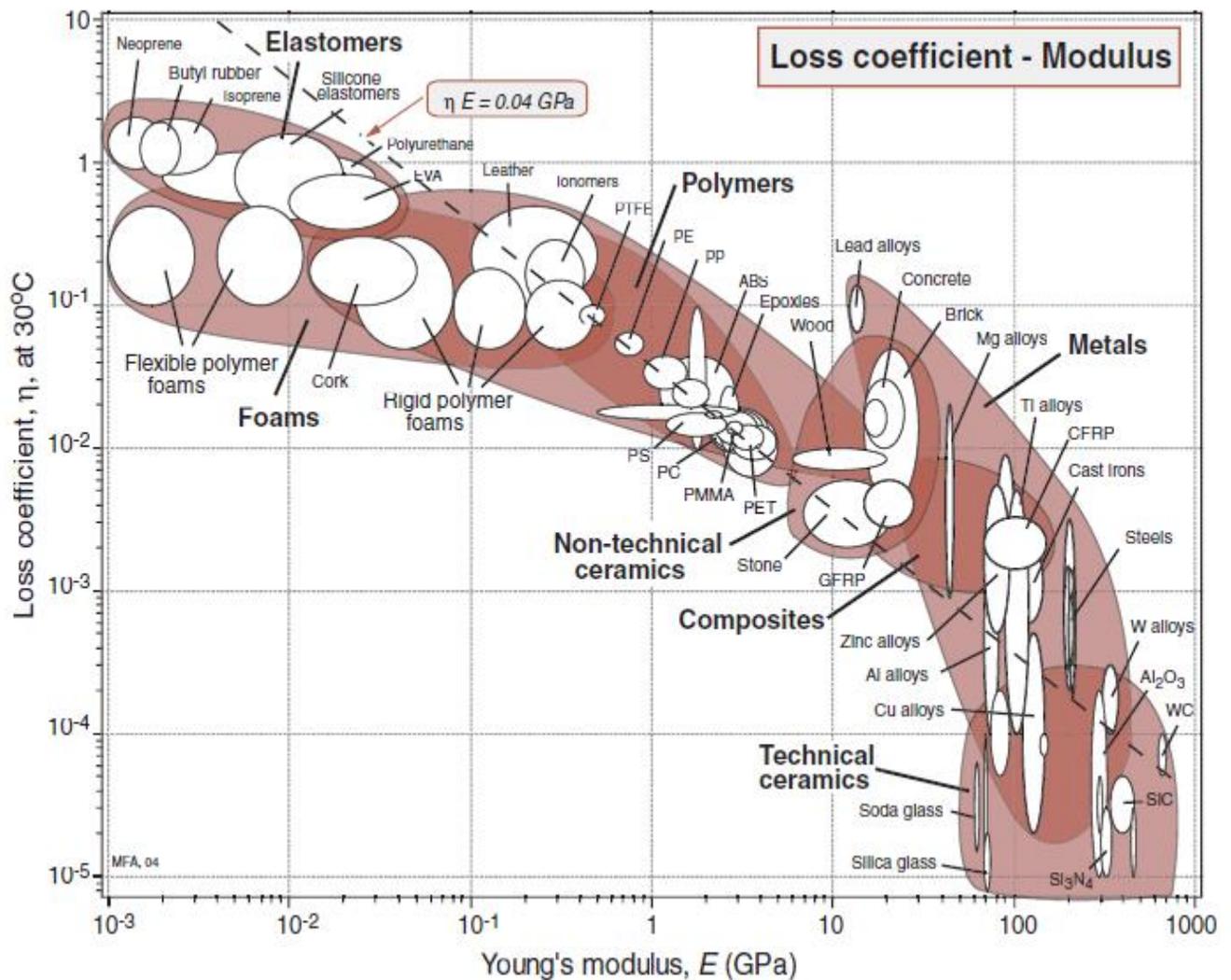
IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

la dependencia inversa de η de E en cuanto a los polímeros, como se muestra en el diagrama; de hecho en una primera aproximación la relación es:

$$\eta = \frac{4 \times 10^{-2}}{E} \quad (3.10)$$

Para polímeros, maderas y materiales compuestos donde la matriz es material polimérico; (E se expresa en GPa)

FIGURA 5-3 Diagrama de Ashby: Coeficiente de pérdida - Módulo de Young



3.1.1.7 Conductividad Térmica - Difusividad Térmica

La conductividad térmica, como hemos dicho, regula el flujo de calor a través de un material en estado estacionario; por otro lado, la Difusividad térmica es la que rige el flujo de calor del propio material, se mide en unidades de m^2/s . Ambas propiedades están relacionados por:

$$a = \frac{\lambda}{\rho C_p} \quad (3.11)$$

Donde la densidad (ρ) esta expresada en kg/m^3 , la expresión ρC_p es el calor específico volumétrico expresado en unidades de $J/m^3.K$, el diagrama de la FIGURA 6-3 relaciona la conductividad térmica, la difusividad y el calor específico volumétrico a temperatura ambiente.

Como regla general tenemos que:

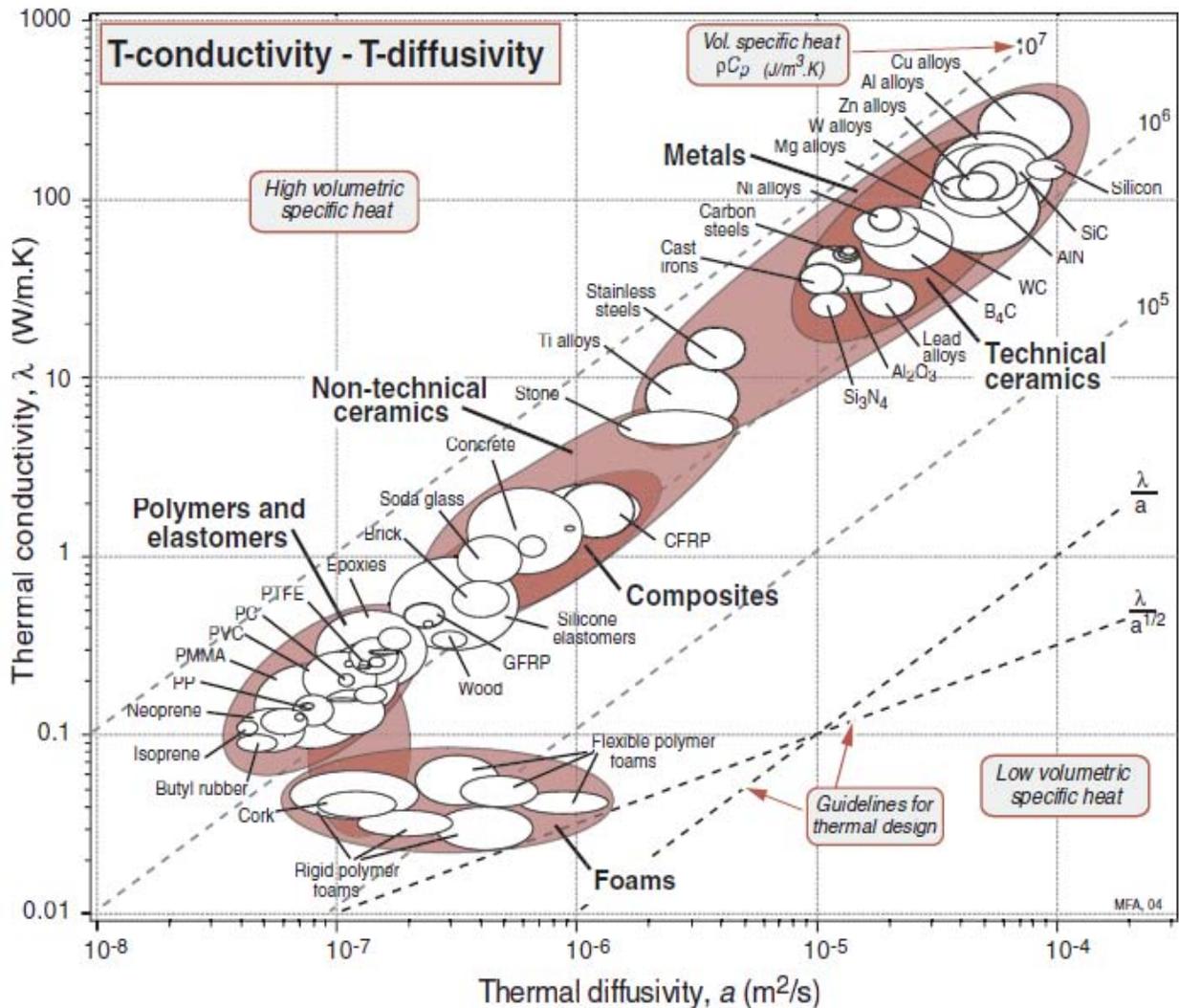
$$\rho C_p \approx 3 \times 10^6 \text{ J/m.K} \quad (3.12) \quad \lambda = 3 \times 10^6 a \quad (3.13)$$

λ expresada en unidades de W/mK y a expresada en m^2/s . en la gráfica podemos observar que los metales, las cerámicas, los polímeros y los elastómeros, se encuentran a lo largo de la línea del calor específico volumétrico.

Esto puede entenderse observando que algunos sólidos que contienen N átomos tienen nodos de vibración $3N$; cada uno absorbe la energía térmica kT a la temperatura absoluta (T), y el calor específico de vibración es $\rho C_p \approx C_v = \frac{3N}{k}$, expresados en J/K , donde k es la constante de Boltzman (1.34×10^{-23} J/K). El volumen por átomo (Ω) para la mayoría de los átomos se encuentra alrededor de un factor de $1.4 \times 10^{-29} m^3$; por lo tanto el volumen de N átomos es: $(N\Omega) m^3$. El calor específico volumétrico es entonces como lo muestra la gráfica:

$$\rho C_v \cong \frac{3 Nk}{N\Omega} = \frac{3k}{\Omega} = 3 \times 10^6 \frac{J}{m^3.K} \quad (3.14)$$

FIGURA 6-3 Diagrama de Ashby: Conductividad Térmica – Difusividad Térmica



Algunos materiales se desvían de la regla general: tienen menor medida de calor específico volumétrico. Las grandes desviaciones se muestran por los sólidos porosos tales como las espumas, ladrillos refractarios de baja densidad, maderas y materiales similares. Su baja densidad es debido a que contienen menos átomos por unidad de volumen y, en promedio sobre el volumen de la estructura, ρC_p . El resultado es que, a pesar de que las espumas tienen bajas conductividades y son ampliamente utilizadas para el aislamiento en equipos y tuberías) su difusividad térmica no es necesariamente baja, es decir, no pueden transmitir una cantidad grande de calor pero si pueden alcanzar el equilibrio rápidamente, lo cual es muy importante en el diseño.

3.1.1.8 Expansión Térmica - Conductividad Térmica

Casi todos los sólidos se expanden con el calor, esto es porque el vínculo entre un par de átomos se comporta como un resorte elástico lineal cuando el desplazamiento relativo de los átomos es pequeño, pero cuando hay un desplazamiento relativo grande este resorte ya no se comporta linealmente.

La mayoría de los enlaces se vuelven más rígidos cuando los átomos se desplazan juntos, cuando sucede lo contrario los enlaces son menos rígidos y su movimiento se vuelve anarmónico, es decir, su movimiento se da de manera perturbada. Las vibraciones térmicas de los átomos, incluso a temperatura ambiente, implica grandes desplazamientos; cuando la temperatura es elevada el movimiento oscilatorio del enlace empuja los átomos por separado, aumentando así la separación significativamente.

El efecto de la expansión térmica se mide por el coeficiente de expansión lineal:

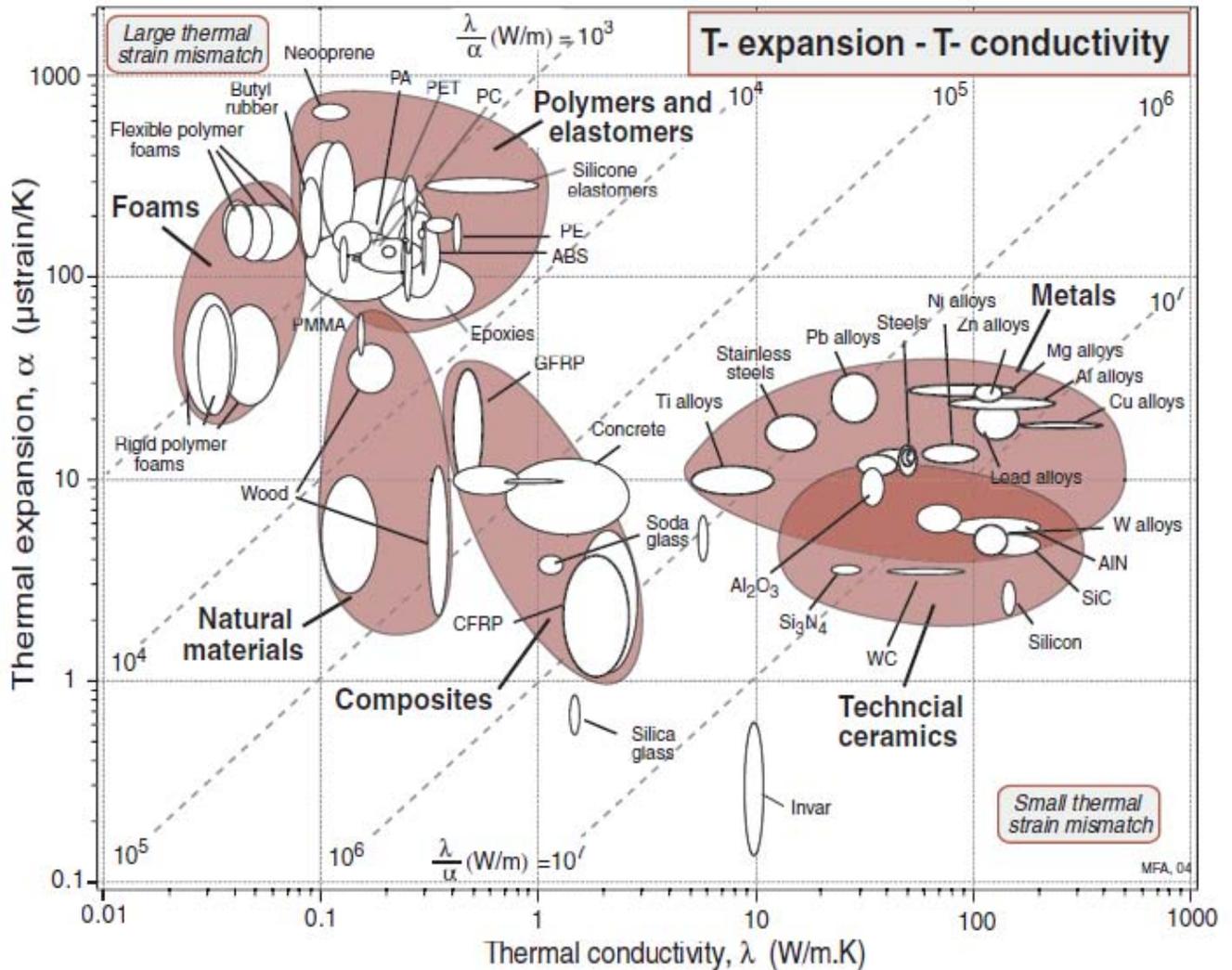
$$\alpha = \frac{1}{\lambda} \frac{d\lambda}{dT} \quad (3.15)$$

Donde λ es la dimensión lineal de un cuerpo.

El coeficiente de expansión es graficado frente a la conductividad térmica representado en la FIGURA 7-3, en la cual se observa que los polímeros tienen grandes valores de coeficiente de expansión lineal (α), esto quiere decir que cuando se someten estos materiales a temperaturas elevadas pueden hasta duplicar el tamaño de su estructura ya que aproximadamente su coeficiente de expansión es 10 veces mayor que el de los metales y casi 100 veces mayor que los materiales cerámicos. Esto es porque los enlaces de Van der Waals de los polímeros son muy anarmónicos.

Otros materiales como el diamante, el silicio y el vidrio de sílice (SiO_2) tienen enlaces covalentes de baja anarmonicidad, es decir, son casi linealmente elásticos, incluso sometiéndolos a grandes deformaciones; lo que hace que sus coeficientes de expansión sean más bajos que los de los polímeros. Por otro lado, los materiales compuestos los cuales suelen contener materiales poliméricos como matriz, pueden tener coeficientes de expansión lineal muy bajos debido a que las fibras con las cuales están reforzados son particularmente de Carbono y estos enlaces se expanden muy poco.

FIGURA 7-3 Diagrama de Ashby: Expansión Térmica - Conductividad Térmica



Las líneas punteadas representan el parámetro de distorsión térmica $\frac{\lambda}{\alpha}$, en el diagrama en la parte inferior se agregó una aleación de Níquel llamada INVAR, ya que se caracteriza por su excepcional baja expansión lineal ya sea a temperatura ambiente o cerca de ella, esto lo hace útil en el diseño de equipos que requieren de mucha precisión y que no pueden expandirse frente a los cambios de temperatura.

3.1.1.9 Expansión Térmica – Modulo de Young

La expansión térmica es la tensión que se presenta en un cuerpo cuando se calienta o se enfría, pero impide que el mismo cuerpo se expanda o se contraiga, esta tensión depende del coeficiente de expansión, α , del material y también de su Módulo de Young, E. El desarrollo de la teoría de expansión térmica nos conduce a la siguiente relación:

$$\alpha = \frac{\gamma G \rho C p}{3E} \quad (3.16)$$

Donde γG es la constante de Grüneisen, este valor se encuentra en un rango de valores entre 0.4 – 4, pero para otros sólidos el valor es cercano a 1; puesto que $\rho C p$ es casi constante, esta ecuación nos dice que α es proporcional a $1/E$, como se muestra en la FIGURA 8-3.

Las cerámicas debido a que su módulo de Young es de los más altos, tienen los coeficientes de expansión más bajos que otros materiales, a diferencia de las cerámicas, los elastómeros poseen módulos de Young más bajos, y por lo tanto se expanden más. Algunos materiales que poseen un bajo número de coordinación (sílice, o algunas estructuras cubicas de diamante o zinc) pueden absorber la energía de modo transversal, lo que da lugar a un valor muy pequeño o incluso un valor negativo de γG y por lo tanto un bajo coeficiente de expansión, como por ejemplo el SiO_2 .

Un factor muy usado es el Modulo de Young de materiales a escala aproximándolo a su punto de fusión:

$$E \approx \frac{100 k T_m}{\Omega} \quad (3.17)$$

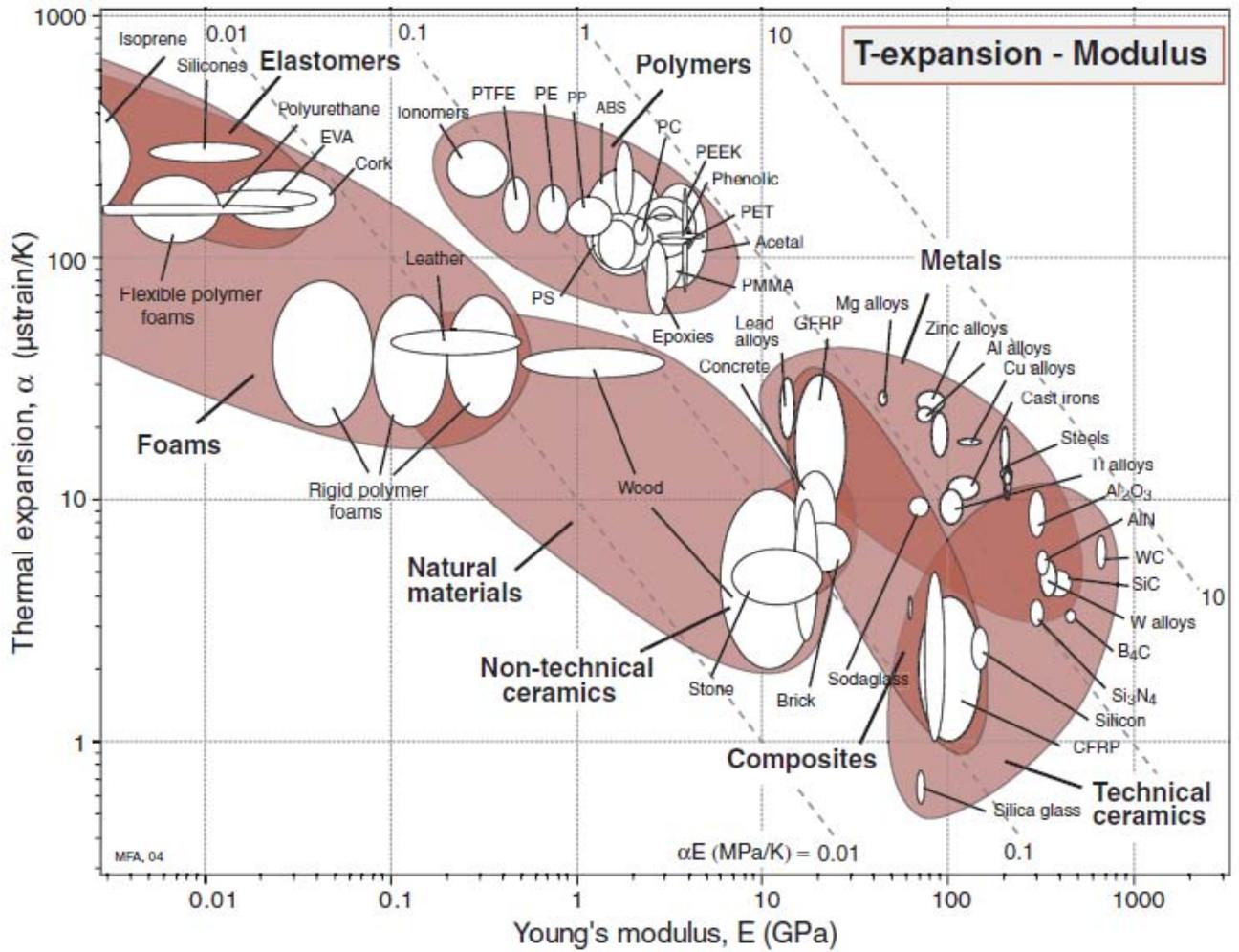
Donde k es la constante de Boltzman y Ω es el volumen por átomo en la estructura, sustituyendo el valor aproximado de $\rho C p$, en la ecuación (3.16) tenemos que:

$$\alpha = \frac{\gamma G}{100 T_m} \quad (3.18)$$

El coeficiente de expansión varía inversamente con el punto de fusión, (equivalentemente indicado) para todos los sólidos la deformación térmica, justo antes de su fusión, depende solo en γG y esto es aproximadamente una constante. Las ecuaciones (3.16) y (3.17) son ejemplos de propiedades correlacionadas, útiles para estimar y comprobar propiedades de los materiales.

Cada vez que se impide la expansión o contracción térmica de un cuerpo, aparecen las tensiones térmicas, si estas son suficientemente grandes pueden causar la fractura o colapso elástico (pandeo) en el material

FIGURA 8-3 Diagrama de Ashby: Expansión Térmica – Modulo de Young



Toda escala de la forma αE , es representada en el conjunto de diagonales en el Diagrama de Ashby, sin embargo, para ser más específicos, la tensión $\Delta\sigma$ producida por los cambios de temperatura de 1°C , ya sea en un sistema restringido o en un sistema que no está limitado, está dada por:

$$C\Delta\sigma = \alpha E \tag{3.19}$$

Donde $C=1$ para la restricción axial, $(1-\nu)$ para la restricción biaxial o de enfriamiento rápido y $(1-2\nu)$ para la restricción triaxial, donde ν es la relación de Poisson.

3.1.1.10 Fuerza - Temperatura máxima de servicio

Como hemos visto, la temperatura afecta el rendimiento del material de muchas maneras; a medida que la temperatura se incrementa en el material, este va perdiendo su rigidez, lo que limita su capacidad para soportar cargas; estos materiales se van degradando debido a un cambio en su composición química hasta que el material sea totalmente inutilizable; por otro lado la temperatura puede causar que los materiales se oxiden y así interactúen de una manera no conveniente con el medio ambiente en el que se encuentran y no realicen su función correctamente. Todo material tiene una temperatura aproximada, a la que puede tener ese tipo de inconvenientes y a la que obviamente el material no es seguro utilizar, esta temperatura aproximada es llamada Temperatura Máxima de Servicio, este parámetro está representado en el Diagrama de Ashby en la FIGURA 9-3 contra la fuerza de los materiales. La tabla muestra los regímenes de tensión y temperatura para cada clase de material, por ejemplo, incluso hasta el mejor polímero tiene poca fuerza por encima de los 200°C, la mayoría de los materiales metálicos pierden su fuerza por encima de los 800°C, y solo los materiales cerámicos ofrecen una buena resistencia por encima de los 1500°C.

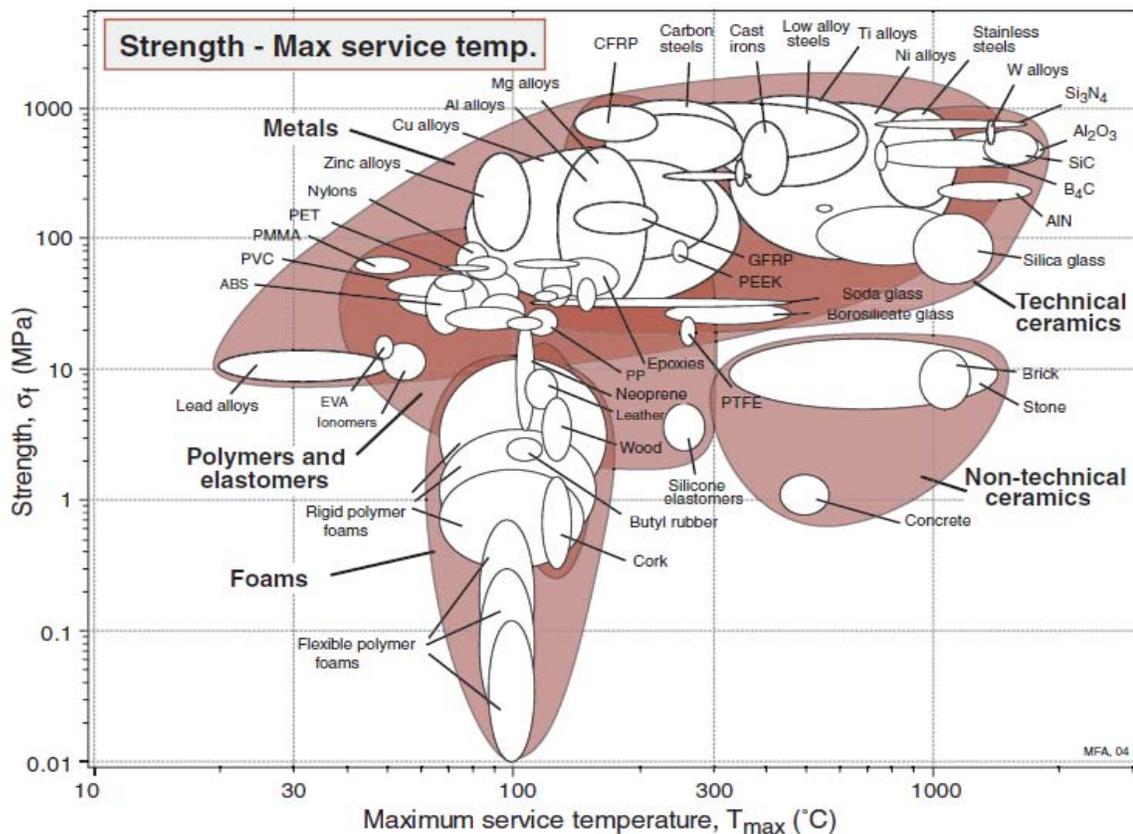


FIGURA 9-3 Diagrama de Ashby: Fuerza - Temperatura máxima de servicio

3.1.1.11 Modulo de Young – Costo Relativo

En el diseño de costo mínimo, la selección de materiales se hace mediante los índices que involucran:

- ✓ Módulo de Young
- ✓ Resistencia
- ✓ Costo por unidad de volumen

Este costo mínimo siempre va a estar influenciado por la inflación y las unidades de moneda en las que se define el costo, para definir un costo relativo por unidad de volumen Cv_R , tenemos la siguiente relación:

$$Cv_R = \frac{\frac{\text{Costo}}{(\text{Kg} * \text{densidad del material})}}{\frac{\text{Costo}}{(\text{Kg} * \text{densidad del acero suave})}} \quad (3.20)$$

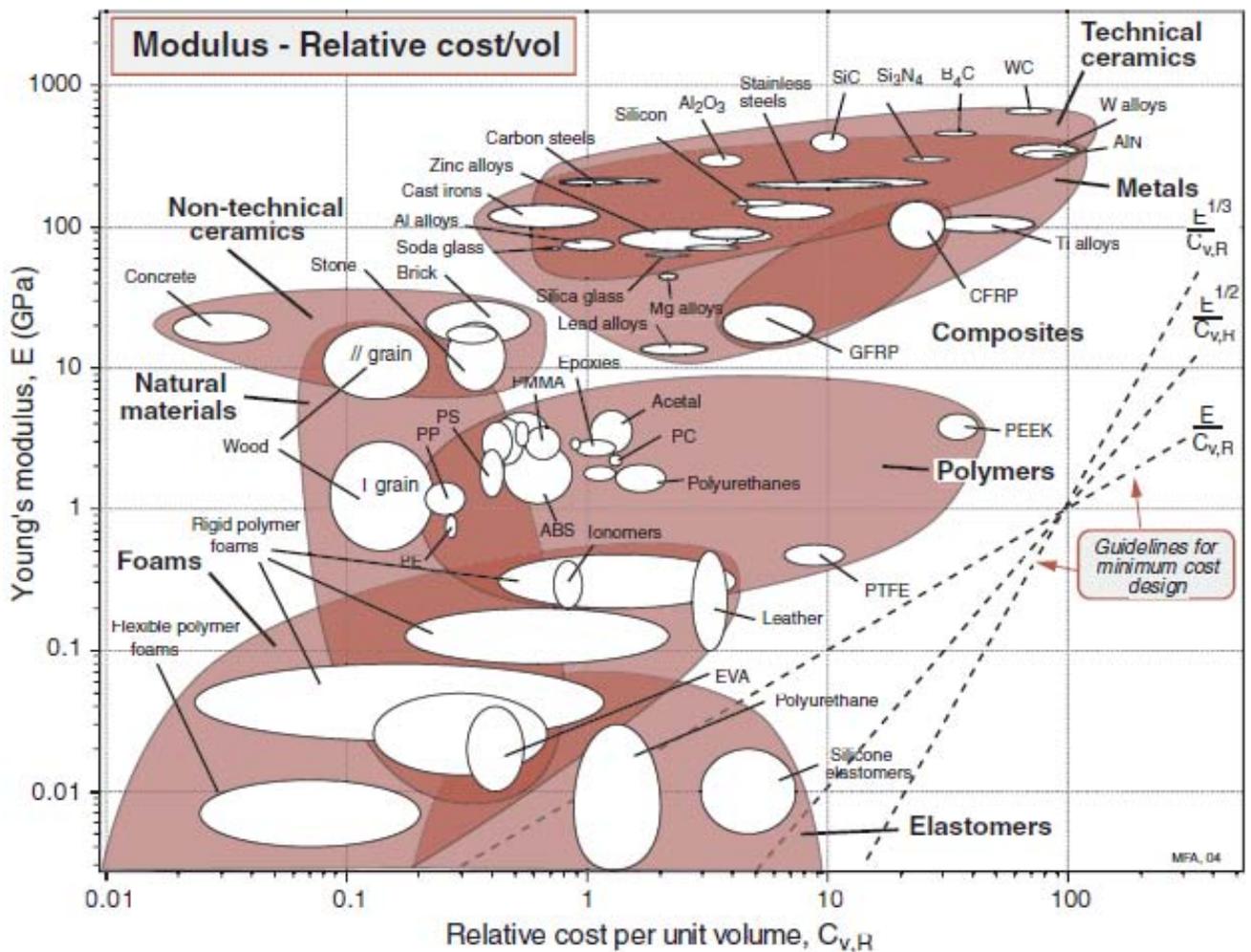
Para la comparación de los costos relativos de los materiales es conveniente utilizar como unidad de referencia al acero suave; los costos relativos por unidad de volumen se comparan con la del acero suave en la TABLA 2-3, los números indicados son el costo por unidad de peso de la aleación, aplicando la ecuación (3.20); estos costos relativos varían con la forma y cantidad del material, estos valores de costos se basan en formas simples de los materiales, por ejemplo, lingotes o varillas, y por lo tanto no incluyen los costos de procesamiento. A menudo los gastos de transformación del material superan el costo del metal, por ello se deben considerar por separado para cada equipo que se vaya a fabricar.

**IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL
DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE
NAFTAS**

TABLA 2-3 Costo relativo por unidad de volumen para algunas aleaciones

ALEACION	COSTO RELATIVO POR UNIDAD DE VOLUMEN
Acero Suave	7.87
Acero de baja aleación	10
Aleación de Aluminio 380	7
Aleación de Aluminio 2024	17
Acero Inoxidable 304	35
Acero Inoxidable 316	45
Acero Inoxidable 17-4 PH	50
Lingote de Cobre	33
Tira de Cobre- Berilio	247
Cartucho de Latón Cu- 30%Zn	65
Aleación Aluminio – Cobre - Bronce	52
Aleación de Nickel: Monel 400	172
Aleación de Níquel: Inconel	198
Aleación de Magnesio AZ91	10
Aleación de Zinc ZA 8	15
Aleación de Titanio – Molibdeno 6A1-4V	255

FIGURA 10-3 Modulo de Young - Costo

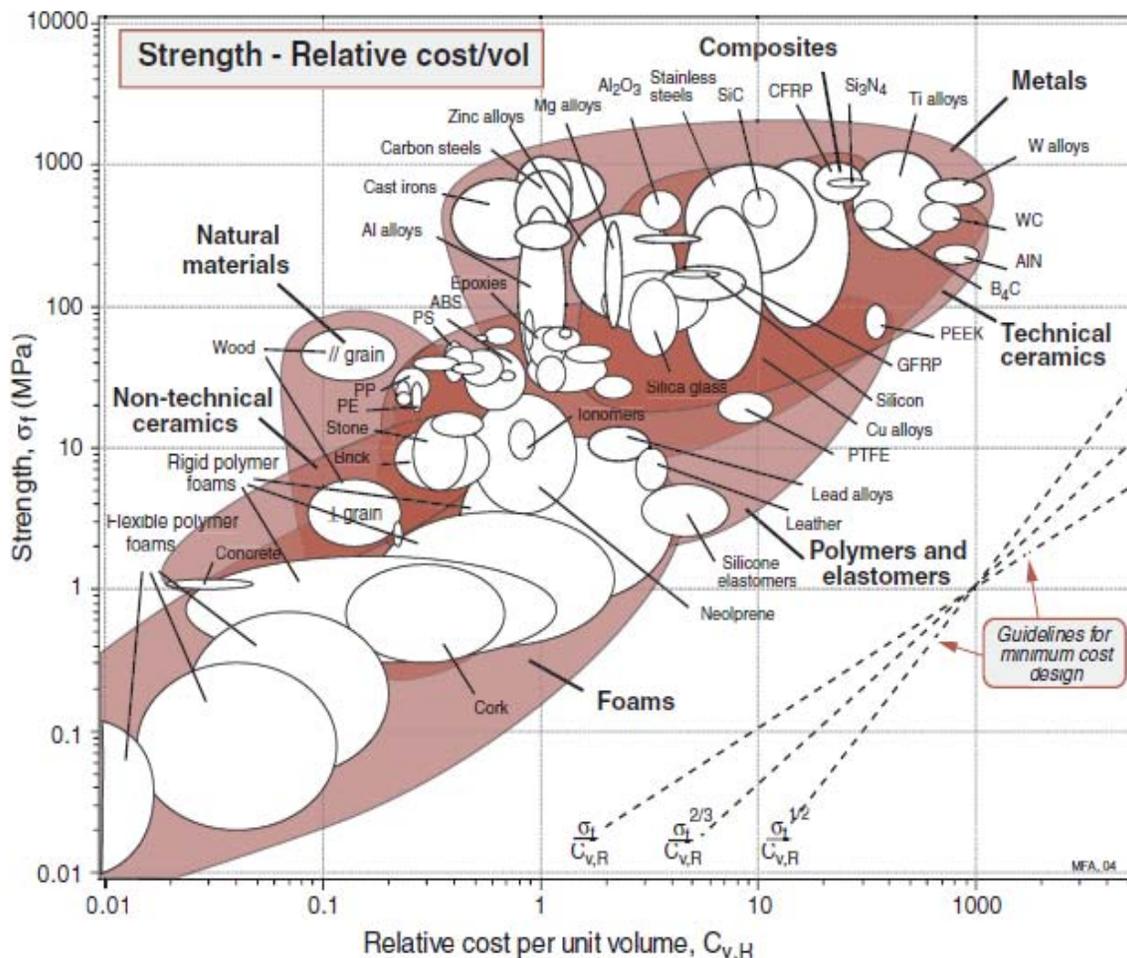


La FIGURA 11-3 muestra el Modulo de Young, E, graficado contra el costo relativo por unidad de volumen de los materiales; podemos observar que los materiales rígidos son más baratos y se encuentran en la parte superior izquierda.

3.1.1.12 Fuerza - Costo relativo

Anteriormente ya se ha definido lo que significa la fuerza de un material, así como el costo por unidad de volumen, en la gráfica de la FIGURA 11-3 se encuentran los valores de estas dos propiedades para todos los materiales; de aquí se pueden seleccionar materiales que sean resistentes y baratos, las directrices para el diseño de costo mínimo se usan cuando se requiere maximizar la fuerza por unidad de costo de un material dado.

FIGURA 11-3 Diagrama de Ashby: Fuerza - Costo Relativo



3.1.2 Diagrama de Selección de Materiales (M.S.D.)

La Práctica Estándar de la organización NACE International, con código **NACE-SP 0407- 2013** proporciona el formato, el contenido y las directrices para el desarrollo de un Diagrama de Selección de Materiales (M.S.D. por sus siglas en inglés). Un M.S.D. documenta la selección de materiales de nuevos equipos y tuberías para la Industria de Refinería, Procesos Químicos, Industria Energética y otras industrias.

Esta norma está destinada para uso de los propietarios u operadores, licenciatarios y contratistas o los fabricantes que se involucran en proyectos de Refinerías de Petróleo, Plantas de Procesos Químicos, Plantas de Energía y otras plantas de procesos industriales, etc. como una guía de referencia para el desarrollo de un M.S.D. para identificar los materiales de construcción y las condiciones del proceso y otras cuestiones técnicas clave que influyen en la selección de materiales para su uso durante las fases de desarrollo y construcción de proyectos.

Esta norma ha sido elaborada por el Grupo de Tareas (TG) 302 que se especializa en la Selección de Materiales para Procesos de Refinación y Productos Químicos.

Un M.S.D. resume los requisitos materiales para los equipos de proceso y tuberías de todas las Industrias Químicas en general; también proporciona información necesaria para el desarrollo los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI) y para las Hojas de Datos de equipos mecánicos.

En general, los datos de proceso y de diseño utilizados para la selección de los materiales también se muestran en el M.S.D. en su forma más simple, ya que en un MSD típico consiste en sobreponer una versión del Diagrama de Flujo de Proceso simplificado (DFP), que muestra las condiciones operativas pertinentes de cada equipo y tubería, información sobre la selección de materiales, y la aplicación de medidas preventivas e información de alguna otra degradación que pueda sufrir el material.

La intención es que el uso principal de los M.S.D. se asocie a los nuevos proyectos de capital, a las modernizaciones, para nuevos proyectos y expansiones de las plantas industriales (especialmente en los casos en los que las condiciones del proceso pueden cambiar en un futuro). Debido a que la información que aparece en el M.S.D. puede cambiar durante la ejecución del proyecto, el diagrama requiere de revisiones en cuestiones superficiales, durante las fases de la ingeniería de proyectos y en la fabricación de equipos para ese proyecto. Algunos proyectos utilizan el M.S.D. durante el desarrollo de todo el proyecto, y es obviamente actualizado debido a los cambios que ocurren y conforme se lleve a cabo la construcción; todas las actualizaciones o cambios que sufra el M.S.D. durante el proyecto deben ser entregados al propietario u operador; contrario a esto, otros proyectos utilizan el MSD sólo en las etapas iniciales del proyecto, solo para hacer un análisis preliminar de los materiales que podrían utilizar, posteriormente pueden utilizar otros métodos de selección de materiales, para la decisión final. Esta parte del capítulo cubrirá principalmente la preparación inicial de un M.S.D.

El formato y contenido del M.S.D. inicial, su uso, y su filosofía de actualización debe ser acordado por el propietario u operador y el contratista o fabricante en las fases iniciales del proyecto. El ingeniero

encargado de la especificación o selección de los materiales de construcción debe estar familiarizado con la corrosión y mecanismos de degradación particulares en los materiales elegidos para el tipo de equipo o tubería que esté diseñando.

Las herramientas adecuadas (por ejemplo, normas NACE, estándares API, curvas de corrosión de dominio público, datos de corrosión, las normas de la empresa, experiencia operativa previa, etc.) deberán emplearse en la selección de materiales, cuando sea necesario.

3.1.2.1 Información contenida de los materiales en un MSD

3.1.2.1.1 Información de los componentes de Equipos y Tuberías

- I. Materiales de construcción (requisitos mínimos de la aleación) para los componentes de equipo y tubería, para la identificación de estos componentes se utiliza una leyenda para cada uno de los materiales, normalmente por nombre o número de etiqueta (Ver TABLA 3-3)
- II. Puntos en los que se inyecta, mezcla o adiciona algunos químicos.
- III. Diseño de Tolerancias a la Corrosión.
- IV. Revestimientos a base de aleaciones, resistentes a la corrosión o revestimientos con soldadura, especificando el espesor mínimo requerido y en que componentes será aplicado, tales como las placas de tubos.
- V. Consideraciones de corrosión para los recubrimientos o forros, para las partes internas en equipos o tuberías (los revestimientos externos se cubren con otras especificaciones).
- VI. La selección de materiales especiales, los requisitos de prevención de corrosión, inspección, pruebas de tensión, estabilización térmica, límites de velocidad, requisitos máximos de dureza, referencias a estándares de la industria, estándares emitidos por el propietario, requisitos especiales de limpieza, selección de materiales alternativos, etc. deben ir especificados en forma de nota en el MSD.
- VII. El equipo prefabricado, como puede ser, un compresor que será montado en un patín, se especifican generalmente con la leyenda: “Estándar del Fabricante” o “Fabricante Std.” bajo el encabezado de la especificación del material de ese equipo. El Estándar del Fabricante que se emplea para la selección de materiales debe ser revisada para el cumplimiento de los requisitos de seguridad y vida del equipo para el servicio previsto.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

TABLA 3-3 Información de los componentes de los equipos que se incluye en el MSD

TIPO DE EQUIPO O TUBERÍA	COMPONENTES (SEGÚN CORRESPONDA)	OBLIGATORIO/ OPCIONAL OB/ OP
Intercambiador de calor (Tubos y Coraza)	Coraza Canales Mamparas Tubos Placas de tubos	OB OB OP OB OB
Intercambiador de Calor (placa y marco)	Placas Marco Empaques	OB OP OP
Enfriador con aire	Cabecera Tubos Tapones (si es diferente)	OB OB OP
Bomba Centrifuga	Clave API del material (si procede) Caja Impulsor	OP OP OP
Tanques	Carcaza (incluye techo fijo e inferior) Techo flotante Revestimientos Juntas	OB OP OB OP
Torres	Carcaza Platos / Embalaje Distribuidores	OB OB OP
Reactores	Carcaza Interiores	OB OP
Tuberías	Tubos Válvulas de control Válvulas reguladoras	OB OP OP
Calentador	Tubos de radiación Tubos de convección Perchas	OB OB OP

3.1.2.1.2 Información de los Materiales de Construcción para los Componentes de Equipos y Tuberías

- I. Los materiales de construcción para los componentes de los equipos complementarios deben ser identificados en el M.S.D., si los materiales estándar de construcción no son adecuados para el servicio dentro del proceso (por ejemplo, juntas especiales y sellos).
- II. Los componentes adicionales, (por ejemplo: pernos, placas de impacto, cortes de recipientes) puede incluirse según sea necesario, en función de factores tales como si los materiales están cubiertos en otro proyecto, sitio o especificaciones de la industria, o de prácticas laborales de empresa. También se incluye información sobre los requisitos de cualquier tratamiento químico, incluyendo:
 - Sondos de monitoreo de corrosión y sus métodos.
 - Los puntos de muestreo
 - La protección catódica
 - Requisitos para las pruebas de impacto
 - Cuestiones ambientales externas (subterráneas, marítimas, etc.)

3.1.2.2 Designaciones del Material

Los materiales de ingeniería deben ser designados por formatos "genéricos", por ejemplo, el acero al carbón se indica como **CS** o **UNS S31600 (316 Acero Inoxidable [SS])**. Otras especificaciones, como ASTM que suelen ser por ejemplo: **A 5162** o **A 3513 gr. CF8M**; los nombres comerciales no deben utilizarse a menos que se consideren materiales críticos de algunos aspectos de las formas que tomaran como producto final. El uso de especificaciones de ciertos materiales en lugar de denominaciones genéricas limitaría las formas de los productos, la disponibilidad, fuentes de proveedores, etc. Los requisitos para formas específicas de productos pueden ser cubiertos por el uso de una nota que se incluye en el M.S.D. El uso de especificaciones de materiales, como ASTM, ASME o DIN, es aceptable cuando se establece el acuerdo entre el propietario y el contratista.

Los números del UNS se pueden mostrar, a condición de que no son los únicos que designan un material, ya que los números del UNS no podrían reconocerse inmediatamente.

Una leyenda de las designaciones de materiales debe incluirse en cada M.S.D. Un ejemplo de algunas designaciones de materiales típicos que han sido usados, se enumeran en la Tabla 4-3, junto con ejemplos de las designaciones del UNS para materiales que pueden adecuarse a esa categoría.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

TABLA 4-3 Designaciones Típicas de algunos Materiales

FORMATO MSD	EJEMPLOS DE DESIGNACIONES DE UNS ^(A)	DENOMINACION COMPLETA
CI	-	Hierro Fundido
DI	-	Hierro Dúctil
CS	K02504, K02401, K03006	Acero al carbón
LTCS	-	Acero al carbón de baja temperatura
1 ^{1/4} Cr	K11562, K11756	1 ¼ Cr- ½ Mo
2 ^{1/4} Cr	K21590	2 ¼ Cr-1 Mo
5 Cr	K41545	5 Cr- ½ Mo
9 Cr	K81590	9 Cr-1 Mo
12 Cr	S40500 (405 SS), S41000 (410 SS), o S41008 (410S SS)	Acero 12-13 Cr
304 L	S30403	304L SS
316 L	S31603	316L SS
321	S32100	321 SS
347	S34700	347 SS
310	S31000	310 SS
2205	S32205/S31803	22% Cr Duplex SS
ALEACION 20	N08020	Aleación 20
6 % Mo	S31254, N08367, N08926	SS Superausteníticos con 6% Mo
800	N08800 (aleación 800), N08810 (aleación 800H), o N08811 (800HT)	Aleación 800

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

FORMATO MSD	EJEMPLOS DE DESIGNACIONES DE UNS ^(A)	DENOMINACION COMPLETA
825	N08825	Aleación 825
625	N06625	Aleación 625
276	N10276	Aleación 276
400	N04400	Aleación 400
Adm	C44300, C44400, C44500	Latón
NRB	C46400, C46500, C46700	Latón naval enrollado
70/30	C71500	70/30 Cu-Ni
90/10	C70600	90/10 Cu-Ni
Ti-2	R50400	Titanio grado 2
Ti-12	R53400	Titanio grado 12

^(A) Durante las primeras etapas de diseño, el método real de la fabricación de los componentes no se conoce necesariamente; por lo tanto, cualquier cosa específica más que la categoría del material genérica no es común durante la etapa inicial de la vida de un proyecto.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

En algunos casos, los nombres comerciales específicos han sido utilizados cuando se requiere un material con propiedades específicas. Los revestimientos o forros se especificarán mediante una designación de material como **"CS con 2,54 mm (0,100 in.) Mínimo 304L de revestimiento."** Para tipos específicos de recubrimientos y revestimientos internos, se designa como **FRP** (por ejemplo, caucho natural vulcanizado, y plástico reforzado con fibra de éster de vinilo).

3.1.2.3 Contenido y Formato de Notas

Las indicaciones generales que se integran en el documento, son notas aplicables a toda la unidad de proceso y se etiquetan con un identificador que, normalmente es una letra, estas notas se van a encontrar en todos los Diagramas de Selección de Materiales (M.S.D's). Las notas que son aplicables a una unidad de proceso se repetirán en el mismo orden con el mismo identificador en todo el diagrama. Las notas específicas se aplican exclusivamente para equipos, tuberías y ubicaciones de los ya mencionados; estas notas se marcan con un identificador único que, por lo general es un número.

Toda nomenclatura utilizada en el M.S.D., se debe definir en una nota general o leyenda. Estas definiciones deben incluir la nomenclatura del material, o del material que se ha utilizado en el proceso y que se va a incluir en el M.S.D. De otro modo, la nomenclatura puede ser distinta si así se establece el acuerdo entre el propietario y el fabricante.

La TABLA 5-3 enlista algunos ejemplos de nomenclatura comúnmente utilizada en algunos proyectos.

TABLA 5-3 Nomenclatura normalmente utilizada para identificar los equipos y/o indicaciones del proceso

NOMENCLATURA	SIGNIFICADO
B	Mamparas
C	Caja
CA	Tolerancia a la corrosión
CH	Canales
H	Cabecera
IMP	Impulsor
INJ	Punto de inyección (por ejemplo, lavado con agua o productos químicos)
INT	Interiores

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

NOMENCLATURA	SIGNIFICADO
PWHT	Tratamiento térmico posterior a la soldadura para un servicio o para un material (los requisitos de los códigos de diseño para PWHT basado en el espesor también se debe mencionar, pero no son típicamente identificados en el M.S.D.)
SH	Carcaza
SR	Alivio en tensión
T	Tubos
TS	Placas de tubos

En el M.S.D. también se enlistan todos los requerimientos de materiales especiales, por lo general en las notas específicas. Algunos ejemplos de requisitos especiales que se han utilizado regularmente incluyen:

- ✓ Aleación 20 o aleación 825 para drenajes en Reactores SS (Acero Inoxidable), para líneas de entrada y de salida.
- ✓ Los límites de resistencia máxima en aceros al carbono (CS) para las esferas que contienen Gas de Petróleo Licuado (GLP).
- ✓ Si existe un mayor contenido de Molibdeno (por ejemplo, 2.5 % min.) para el Acero inoxidable de tipo 316L en frío para la fluidez de agua de mar o el servicio de ácidos nafténicos.
- ✓ La estabilización térmica de materiales base y soldaduras de acero inoxidable tipo 321 o 347, operando por encima de los 427° C (800F).
- ✓ Juntas especiales y sellos para servicio con metil-terbutil éter (MTBE).
- ✓ Auto refrigeración esperada.

3.1.2.4 Tolerancia a la Corrosión

La tolerancia a la corrosión (CA) es un parámetro crítico en la selección de materiales de construcción para los componentes a presión que se contenga en una unidad, es por eso que es necesario que se establezca la especificación de tolerancia a la corrosión.

Una especificación de CA mínima aceptable se indica en un M.S.D. para cada componente de los recipientes a presión, excluyendo los casos de bombas. Algunos formatos que se han utilizado anteriormente y que han tenido éxito incluyen:

- ✓ CS con X CA, donde X representa el espesor en la unidad de medida apropiada.
- ✓ Se muestran los materiales de referencia por encima de la línea y se muestra la CA directamente debajo de los mismos.
- ✓ CS-X, es donde se crea una leyenda para representar la CA específica que se utiliza en la unidad.
- ✓ Sólo cuando el dueño / operador especifica una CA mínima para un material en específico, debe colocarse como nota general.

3.2.2.5 Información Adicional

La información de los requisitos operativos de los materiales adicionales para el control de la corrosión también puede ser reflejada en el M.S.D. Como ejemplos de esta información de los materiales adicionales tenemos a:

- ✓ Inhibidores de corrosión
- ✓ Protección catódica interna (CP)
- ✓ Inyecciones de lavado con agua
- ✓ Puntos de muestreo
- ✓ Sondeos de corrosión, etc.

Así mismo tenemos a los requisitos operativos como:

- ✓ Límites de velocidad
- ✓ Temperatura mínima de diseño de un metal (MDMT)
- ✓ Presión mínima de diseño

La ubicación del punto de inyección para la industria química (inhibidores de la corrosión, dispersantes, anti incrustantes, etc.), junto con el tipo de producto químico genérico (es decir, amina neutralizante, hidróxido de amonio, etc.) se debe reflejar también en el M.S.D. Los requisitos para las boquillas de pulverización se deben indicar en cada lugar del equipo de proceso.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Las sondas de corrosión pueden ser numeradas de forma única. Además, los detalles sobre el tipo de sondas también deben ser proporcionadas.

La vida útil de diseño de los equipos y tuberías también puede ser mencionada en el M.S.D.; por ejemplo:

EQUIPO	VIDA UTIL
Recipientes	30 años
Haz de tubos	10 años
Tuberías	10 años
Tubos del calentador	12 años

El M.S.D. debe mostrar esquemáticamente los cambios de materiales en las tuberías, CA, o ambos casos que se producen en la tubería y no en las bridas de entrada y salida o en el equipo estacionario y giratorio.

Estos cambios (rupturas de especificación de materiales) generalmente se producen en las válvulas de control principales o en las válvulas del lazo de bypass. Debido al alto nivel de detalle necesario para describir los materiales de tubería, por lo general, el material de las tuberías se indica de forma genérica en el M.S.D., dejando los detalles actuales de los materiales que cambian para otras herramientas tales como los Diagramas de Instrumentación y Control o para abordar designaciones de líneas de tubería.

La nomenclatura y formato permanecerán consistentes a través de todos los diagramas relacionados con una unidad de proceso o con el proyecto.

3.1.2.6 Datos de Proceso contenidos en un M.S.D.

3.1.2.6.1 Datos de Proceso

Los datos de proceso utilizados para la selección de materiales se van a mostrar en el M.S.D.; los datos pueden variar dependiendo de la unidad o equipo de proceso que se esté especificando así como los mecanismos de daño previstos. Los datos típicos (según el caso) incluidos los agentes corrosivos y contaminantes que tienen el potencial de afectar la selección de materiales son:

- a) Temperatura de operación.
- b) Presión de operación.
- c) Presión parcial del Hidrogeno.
- d) Temperatura mínima de diseño (especialmente para procesos de baja temperatura o áreas sujetas a auto refrigeración).
- e) Concentración de H₂S.
- f) Concentración de Azufre.
- g) Concentración de agua.
- h) Concentración de amoníaco (por ejemplo, en unidades de hidro procesamiento, corrientes de efluentes) índice de acidez total (TAN) o neutralización.
- i) Concentración de Cloruro.
- j) pH.
- k) Los límites críticos de velocidad de corrosión.
- l) Contaminantes significativos.
- m) Condiciones de operación a corto plazo que podrían afectar a la selección de materiales, etc.

Esta información se puede mostrar para todas las líneas de tuberías o se puede mostrar de forma selectiva para algunas líneas del proceso, cuando los datos son aplicables a la selección de materiales (es decir, la presión parcial de hidrógeno no sería típicamente mostrada en flujos de tuberías que operan por debajo de 204° C [400 F]). Las unidades de medida (por ejemplo, ppm, psia, etc.) deberán estar claramente indicados para cada punto de datos o ser globalmente definidos en las notas generales.

3.1.2.6.2 Formato de los Datos de Proceso

Los datos de proceso se pueden proporcionar en un Balance de Masa y Energía (B.M.E.), ya que, a menudo la información adicional para la selección de materiales se coloca en este documento, por ejemplo el pH, la concentración de cada producto o materia prima en cada línea, así como la presión y temperatura de las mismas, etc., deben estar ubicados en el M.S.D. o en una hoja aparte. Si se usa una hoja aparte, la información del número de página y la revisión se indicarán en el M.S.D.

Otro formato que puede ser utilizado para identificar la temperatura de operación puede ser de forma geométrica (por ejemplo, rectángulos, trapezoides, triángulos, etc.) y la presión en otras formas (por ejemplo, óvalos, hexágonos alargados) en cada una de las líneas de la tubería correspondiente. Los datos de proceso restantes (según corresponda) pueden ser mostrados en forma geométrica separado también con una línea conectada a la tubería aplicable en el M.S.D. Otras representaciones de datos de proceso se pueden utilizar según sea acordado por el propietario y el fabricante.

3.1.2.7 Directrices para completar un M.S.D.

- A menos que se indique lo contrario, los materiales de construcción y la tolerancia a la corrosión serán seleccionados sobre la base de la velocidad de corrosión o la tasa de degradación del material bajo la combinación de todas las variables del proceso, por ejemplo, composición de la corriente, velocidad, temperatura, presión, etc., y la vida de útil del componente especificado.
- En la mayoría de los casos, se utilizan máximas condiciones de operación para seleccionar los materiales, sin embargo las temperaturas y presiones de diseño no se utilizan para evaluar los mecanismos de corrosión y de degradación previstos, ya que se utilizan típicamente para cálculo de espesores.
- En algunos entornos de proceso, una severa corrosión o degradación del material pueden ocurrir cuando se superan las condiciones de operación normales. Por lo tanto, se considera el efecto de todas las condiciones a corto plazo sobre los materiales de construcción. Ejemplos de condiciones de corto plazo son:
 - ❖ Operaciones alternativas (por ejemplo, pre-sulfuración, la regeneración del catalizador).
 - ❖ No hay flujo en la línea debido a, un corte de energía eléctrica, una salida de vapor. o está en mantenimiento la línea.
 - ❖ Paro o arranque de la planta.
 - ❖ Condiciones anormales y condiciones de emergencia.

La exposición a las condiciones mencionadas anteriormente, fuera del marco operativo, es de particular preocupación cuando los equipos y tuberías se encuentran en un ambiente corrosivo, en los que la temperatura tiene gran influencia en la tasa de corrosión o bien que el mecanismo de daño depende altamente de la temperatura. Todas estas anotaciones también pueden encontrarse en el MSD en la parte de notas específicas.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

- Cuando es muy poco práctico alcanzar la vida útil deseada para un componente específico (pueden ser los tubos de convección) se tiene que seleccionar el material más cercano al anterior, quedando especificado esto en el MSD.
- Si se requiere PWHT o SR por razones distintas a satisfacer el código de fabricación también se hace la nota de ello y se incluye en el MSD; esto se utiliza típicamente para mitigar el potencial de fallo cuando los materiales "soldados" están expuestos a condiciones que promueven la fisuración ambiental. Ejemplos de las aplicaciones que han sido utilizados por algunos operadores en el pasado incluyen:
 - ✓ Equipos de acero grado CS en condiciones severas de humedad para servicios de H₂S
 - ✓ Equipos de acero grado CS y tuberías para servicio de amina (excepto tanques de almacenamiento)
 - ✓ Equipos de acero grado CS y tuberías para servicio de sosa caustica a condiciones de operación por encima de la curva de fisuración caustica NACE
 - ✓ Materiales de acero Cr-Mo
- El efecto de todas las condiciones de baja temperatura en los materiales de construcción se evaluará cuando existe la posibilidad de exposición a las bajas temperaturas. Ejemplos de condiciones de baja temperatura que normalmente se utilizan para establecer el MDMT incluyen:
 - ✓ Temperatura mínima de operación
 - ✓ La temperatura atmosférica
 - ✓ Prueba neumática
 - ✓ Condiciones anormales y de emergencia
 - ✓ Refrigeración automática y otras fuentes de refrigeración.

3.2 USO DEL METODO GRAFICO PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES EN LAS ETAPAS DE DISEÑO DE UN PROYECTO

3.2.1 Ingeniería Conceptual

A la ingeniería conceptual, como ya hemos visto, se le asigna la tarea de formular apreciaciones técnicas y económicas de carácter estratégico, cumpliendo tres objetivos principalmente:

- ✓ Determinar alcances.
- ✓ Determinar objetivos.
- ✓ Determinar criterios para la toma de decisiones sobre el proyecto.

Estas determinaciones se traducirán más adelante en metas precisas, necesidad de recursos humanos, logísticos y financieros, y la identificación y seguimiento de actividades conducentes para establecer los términos de referencia correspondientes a los diferentes estudios preliminares de carácter interdisciplinario en la formulación del proyecto; clarificar los lineamientos y orientaciones preliminares que permitan planear y programar las diferentes actividades para la ejecución del proyecto.

Un estudio de pre viabilidad es un ejercicio que se considera como una etapa intermedia de la Ingeniería Conceptual, este estudio es relativamente barato en comparación del estudio de viabilidad. Normalmente se examinan de un modo amplio, no riguroso u optimizado, los siguientes aspectos:

- Evaluación de las reservas de las materias primas y materiales.
- Métodos de producción.
- Métodos de explotación aplicables y selección de equipos.
- Servicios necesarios e instalaciones auxiliares.
- Mano de obra disponible y costos de los materiales.
- Análisis económico y financiero, basado en los costos de producción, inversiones, ingresos potenciales y fuentes de financiamiento del proyecto.

La ingeniería conceptual sirve para identificar la viabilidad técnica y económica del proyecto y marcará la pauta para el desarrollo de la ingeniería básica y de detalle. Se basa en un estudio previo (estudio de viabilidad) y en la definición de los requerimientos del proyecto.

Los principales conceptos a analizar y estudiar en esta fase son:

- Productos y capacidad de producción.
- Normativa y regulación.
- Descripción del proceso de fabricación y requerimientos de usuario.
- Descripción general de instalación.
- Diagramas de bloques, distribución de equipo, planos de flujos de materiales y personas, planos de áreas clasificadas, diagramas de procesos básicos.
- Estimación de requerimientos de servicios auxiliares.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

- Lista de equipos preliminar.
- Estimación económica de la inversión $\pm 30\%$.

La selección de materiales comienza en la Ingeniería Conceptual mediante el uso de restricciones primarias (restricciones no negociables sobre el material debido al diseño o el medio ambiente al que se expondrá el material o equipo).

La elección de un material debe iniciarse desde la etapa de diseño conceptual, en la cual se identifican los posibles materiales. Las restricciones en cuanto a temperatura, corrosión y demás aspectos, permiten identificar fácilmente una clase de material. Las restricciones suelen tomar la forma de:

$$\text{propiedad} > \text{propiedad crítica}$$

Y estas aparecen como líneas horizontales o verticales en las cartas de selección. Como lo muestra la FIGURA 1-13

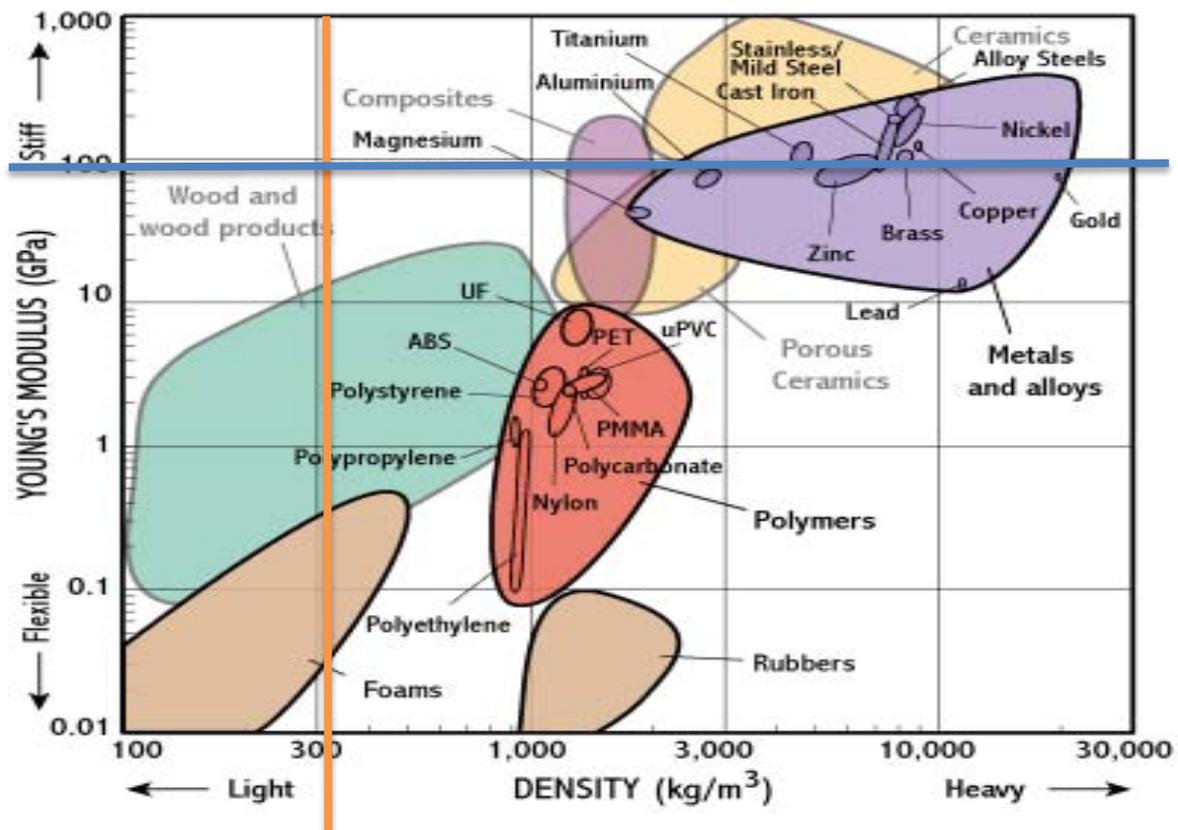


FIGURA 13-3 Restricciones iniciales proyectadas en el Diagrama de Ashby en la Ingeniería Conceptual

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Algunas restricciones primarias son estimadas y pueden ser la temperatura de trabajo, es decir las condiciones de operación a las que se va a someter el material, o la temperatura del medio ambiente o los alrededores de donde operará el equipo.

Al tener las restricciones iniciales se procede a buscar materiales que puedan cumplir con las escasas especificaciones que se tienen, así que se empieza con todos los materiales disponibles, en esta etapa se estima que entre un 10 y 20% del 100% de los materiales disponibles, se descartará y conforme se tengan las restricciones más específicas se reducirán las opciones aún más.

Para comenzar con una buena selección de materiales, se recomienda identificar las propiedades críticas de cada materia prima del proceso para definir con más precisión el desempeño de los requisitos para el material.

Los documentos que se generan en la Ingeniería conceptual son:

- ✓ Memoria descriptiva
- ✓ Arreglo general de la planta
- ✓ Diagrama de Flujo de Proceso (D.F.P)
- ✓ Estudios técnicos básicos: ambientales, riesgos etc.

3.2.2 Ingeniería Básica

La Ingeniería básica comprende toda una serie de actividades, la extensión de estas actividades depende de manera decisiva en el proyecto y por lo tanto en el producto. Además, el “know how” de los fabricantes de plantas con respecto al proceso de fabricación que se aplicará, es crucial para el costo asociado con la ingeniería básica.

Las tareas más importantes a realizar en el marco de la ingeniería básica se explican a continuación:

3.2.2.1 Desarrollo de Procesos

El proceso determina el tipo y el orden de las operaciones unitarias que se representan en forma de pequeños cuadros y el flujo del proceso se indica con las flechas de dirección del flujo. Este tipo de gráfico se le da el nombre de diagrama de flujo básico.

Los materiales se proporcionan generalmente antes de establecer un reactor real. Dado que incluso el mejor reactor no puede alcanzar el 100 por ciento de selectividad, los subproductos resultantes o los materiales que no se descomponen tienen que ser separados en una etapa de procesamiento posterior y, a continuación, si es necesario, recircularlo al mismo reactor. Por lo general, el producto se almacena antes de ser transportado al departamento de ventas.

Hay toda una serie de operaciones de la planta de proceso y por lo tanto hay más posibilidades de vincular varias operaciones unitarias. Por lo tanto, encontrar el proceso ideal para la fabricación de un nuevo producto es difícil. Se determinará en el marco de amplias actividades de investigación y desarrollo. El siguiente orden se lleva a cabo durante la investigación y desarrollo del proyecto, y durante esta etapa el tamaño de la planta, aumenta gradualmente.

- Desarrollo en laboratorio
- Estación de planta piloto
- Planta piloto
- Primera planta a gran escala

En el laboratorio, los experimentos se llevan a cabo en la escala más pequeña. Allí, un reactor tiene un volumen en el orden de magnitud de un litro. El reactor de la estación de planta piloto probablemente tiene un volumen de 10-100 litros. Con estos experimentos previos si el resultado llega a ser positivo, entonces, se toma la decisión de construir una planta piloto. La planta piloto comprende entonces un volumen de reactor de aproximadamente un metro cúbico, es obvio que el costo de adquisición se incrementará con el tamaño creciente de la planta piloto. En el caso de la planta piloto el proceso se optimiza también, entonces posiblemente se construye la primera planta a gran escala.

El factor de ampliación es de nuevo un orden de magnitud, obviamente cada ampliación implica problemas diferentes, este hecho lleva riesgos correspondientes para el fabricante de la planta,

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

especialmente en el último paso: la planta a gran escala. De todos modos, los costos que se derivan en el desarrollo del proceso son considerables.

Con el fin de limitar el tiempo y los gastos de material, existen programas de simulación, capaces de calcular o al menos de hacer una estimación de los costos y algunos posibles inconvenientes que puedan surgir en el proceso. Para este fin una serie de programas de simulación comerciales están disponibles, como por ejemplo ASPEN PLUS, PROSIM o CHEMCAD. El cálculo de las operaciones de la unidad se basa en los fundamentos habituales para el diseño térmico, químico, biológico y proceso mecánico. Por otra parte, el cálculo de las operaciones unitarias por lo general requiere de datos completos sobre los medios químicos.

Ya que los datos suficientemente precisos de las especies químicas a menudo no están disponibles, generalmente no se basa sólo en los resultados del cálculo de la simulación, sino que también se basa en las cuestiones experimentales, otra forma posible de proceder también es comenzando con el cálculo de simulación y luego completado por un análisis experimental.

A pesar de que las operaciones unitarias individuales han sido optimizadas experimentalmente y o aritméticamente, esto no significa que toda la planta se ejecutará perfectamente. La vinculación de las etapas individuales puede conducir a problemas de control de ingeniería adicionales. Aquí la llamada "TECNOLOGÍA DE MINI- CENTRALES" se establece, esto quiere decir que en una escala con una dimensión entre la estación de laboratorio y planta piloto de todas las operaciones unitarias correspondientes, se combinan para una "mini planta completa". Con esto se puede observar el comportamiento operativo de la planta completa y a su vez optimizado con el menor esfuerzo posible.

Si un nuevo proceso es finalmente encontrado, la empresa va a protegerse frente a la competencia por medio de licencias correspondientes.

3.2.2.2 Balances de Materia y Energía

La tarea principal de un ingeniero de procesos es el diseño de la planta y a su vez tiene que calcular que el producto se obtenga con la calidad y la cantidad requeridas. Sólo entonces la planta ha de ser comercializable.

Primeramente, se definen los flujos másicos y las entalpías para cada operación unitaria del proceso, así como para toda la planta. En los límites de batería, se determinan las materia prima y el consumo de energía. Dentro de la planta, se definen los flujos de másicos y sus estados físico-químicos.

Los resultados del balance se registran en las hojas de datos, dependiendo del tamaño o el número de flujos másicos de la planta, estos son detallados en una lista con la ayuda de un sistema que permita la asignación de acuerdo a su estado o tipo de fluido.

Los datos se pueden dividir en dos campos: indicación de la especie química y la calidad. Si se encuentran disponibles datos experimentales pueden ser utilizados para la indicación de propiedades. De lo contrario, las propiedades deberán ser obtenidas a partir de la literatura.

Continuamente la demanda de la producción tendrá que ser minimizado en determinado momento, ya que de lo contrario la capacidad de almacenamiento del producto no será suficiente. Por desgracia, el deseo de ampliar los rangos de operación es técnicamente limitado. Un control estándar, por ejemplo, no es capaz de ajustar una velocidad del flujo en un rango de varios órdenes de magnitud con la misma resolución. Sin embargo, incluso en pequeños rangos de producción, al menos, el caso de carga máxima y mínima debe ser equilibrado, ya que no sólo hace que el flujo másico dependa del compartimiento de carga, sino que a menudo depende de la temperatura, la presión y la composición del flujo de másico.

En la FIGURA 14-3 se muestran tres casos de carga: "mínima", "normal" y "máxima", estas cargas se determinan aritméticamente; también hace referencia a los datos que generalmente contienen un Balance de materia y energía. El operador está interesado en un amplio rango de control para poder hacer frente a la demanda fluctuante con la producción variable.

Los valores aritméticamente determinados son significativamente distinguibles de los datos de diseño. Los datos de diseño regularmente toman en cuenta los respectivos márgenes de seguridad, esto es debido a la incertidumbre relacionada con el proceso, es por ello que los datos de diseño para la presión y temperatura, son datos muy importantes, se toman en cuenta porque con ellos se consideran los modos de funcionamiento de la planta en general cuando ocurra algún fallo.

Los datos de diseño de presión y temperatura se utilizan en la selección de materiales cuando la característica más importante del equipo de proceso es la fuerza, por ejemplo, cuando se calcula el espesor de pared en recipientes a presión. Estos datos no se determinan por medio del Balance de materia y energía, si no que están dados mediante estándares generales de seguridad y que están relacionados con el diseño de la planta.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

FIGURA 14-3 Ejemplo de una tabla de Balance de Materia y Energía, datos principales

 Fachhochschule Osnabrück University of Applied Sciences		<i>Media Data Sheet for Saline Solution</i>				Project: Model Plant Mass Flux No.: 3.AA5 Medium: Saline Solution						
LOAD CASE			MINIMAL			NORMAL			MAXIMAL			DESIGN
Temperature [°C]			55			60			65			70
Density [kg/ltr]			1.054			1.055			1.057			1–1.2
pH-value [–]			7.2			7.5			7.8			7–8
Viscosity [mPas]			0.8			0.65			0.55			0.5–0.8
Volume flow [m³/h]			22.99			27.02			29.04			30.7
Components	Mass Flow [kg/h]	Weight Prop. [Weight-%]	Mass Flow [kg/h]	Weight Prop. [Weight-%]	Mass Flow [kg/h]	Weight Prop. [Weight-%]	Mass Flow [kg/h]	Weight Prop. [Weight-%]	Mass Flow [kg/h]	Weight Prop. [Weight-%]		
Total	24233.53	100	28502,09	100	30697,5	100	32955	100				
Water	22355.19	92,249	26252,42	92,107	28215,91	91,916	29839,11	90,545				
CaCl ₂	1752,81	7,233	2092,34	7,341	2309,07	7,522	2733,00	8,903				
NaCl	15.13	0,074	16,37	0,075	24,21	0,077	30,74	0,075				
MgCl ₂	32.83	0.208	67.99	0.212	63.19	0.217	57.5	0.212				
KCl	3.98	0.023	5.99	0.023	7.57	0.024	9.05	0.024				
NaBr	4.02	0.024	6.09	0.025	7.69	0.025	10.19	0.025				
NaJ	0.42	0.003	0.74	0.003	0.91	0.003	1.37	0.003				
NaNO ₃	8.17	0.051	12.43	0.052	15.71	0.053	16.76	0.052				
CaSO ₄	16.56	0.108	31.43	0.134	34.39	0.134	57.26	0.133				
CaF ₂	0.80	0.05	1.41	0.005	1.53	0.005	1.63	0.005				
Σ Heavy Metals	0.54	0.003	0.88	0.003	1.36	0.003	1.43	0.003				
TOC	3.82	0.019	4.67	0.02	6.15	0.02	7.55	0.02				
Total Inert Salts	70.4	0.411	105.47	0.417	135.73	0.427	154.22	0.418				
Comments												
Date: 24/04/02	Dep.: W.a.V.		Prep.: Meier		Aud.: Müller		Auth.: Head of Dept.		Rev.: 1			

3.2.2.3 Diagrama de Flujo Básico y Diagrama de Flujo de Proceso

Los Diagramas de Flujo corresponden a los documentos que tienen una gran importancia para la planta de proceso. Para llegar a estos documentos se establecen tres etapas de detalle:

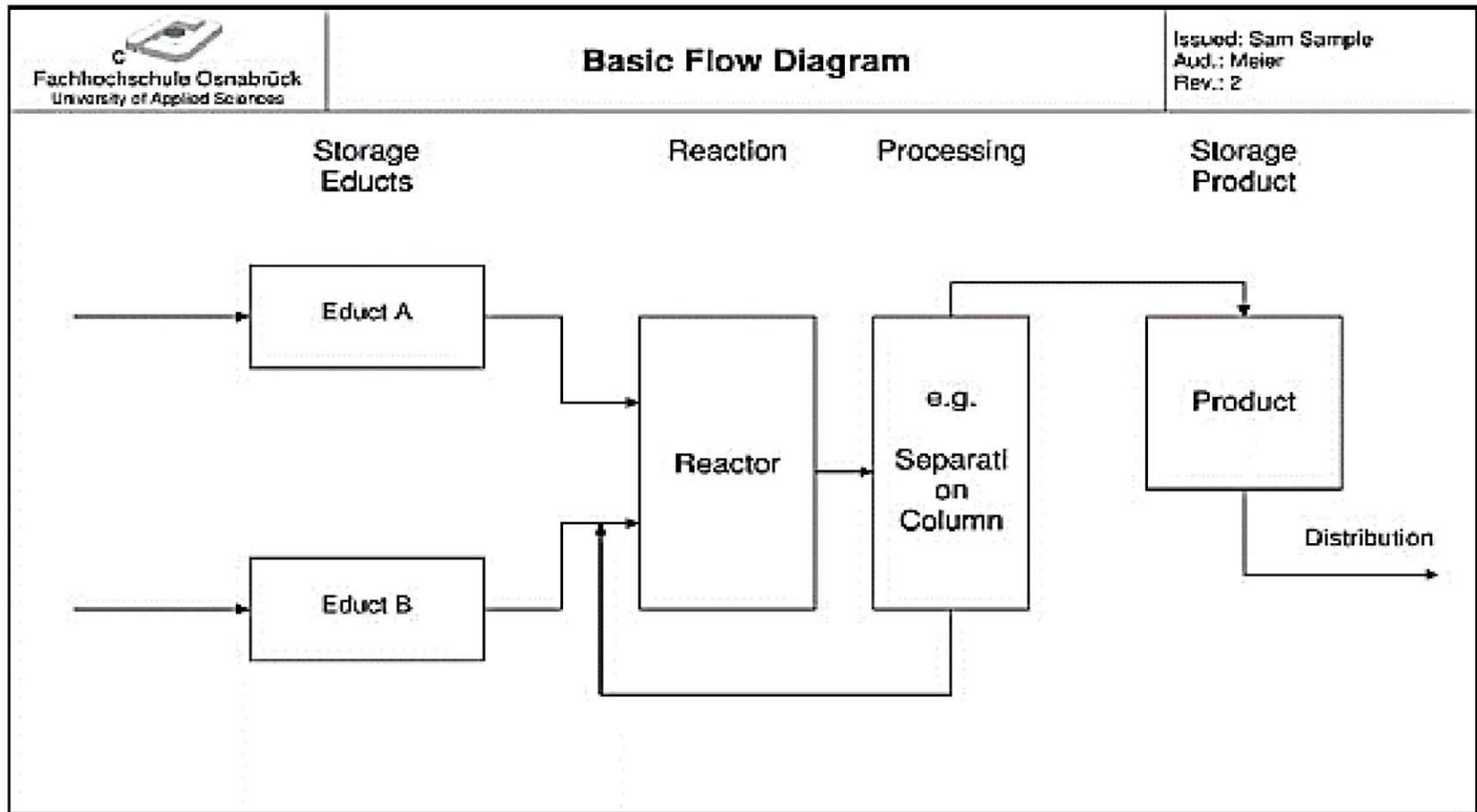
1. Diagrama de Flujo Básico
2. Diagrama de Flujo de Proceso (DFP)
3. Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI)

Los Diagramas de Flujo de Proceso y los Diagramas Básicos se elaboran siempre en el marco de trabajo de la Ingeniería Básica y el proceso de la edición de los Diagramas de Tubería e Instrumentación se producen únicamente después de la orden de colocación para la fabricación de la planta en el marco de la Ingeniería de Detalle. Las disposiciones relativas a la generación de los diagramas de flujo básicos y de proceso se basan ya sea en especificaciones del cliente o son acordados con el operador y el fabricante de la planta. El diagrama de flujo de básico muestra solo los principales pasos u operaciones unitarias representando el flujo con unas simples líneas y los equipos son representados con rectángulos con identificación de texto sin formato alguno, como lo muestra la FIGURA 15-3.

El Diagrama de Flujo de Proceso (FIGURA 16-3) muestra las relaciones entre los equipos mayores del proceso, además de tabular los valores de diseño los de los procesos para los equipos en distintos modos de operación, su finalidad es explicar cómo funciona el proceso a través de rutas de flujo primario entre las unidades de proceso y muestra, en comparación con el diagrama de flujo básico, la siguiente etapa de detalle. Por lo general, contiene todos los equipos esenciales, tales como bombas, compresores, intercambiadores de calor, columnas, recipientes, etc., las principales tuberías e instalaciones de transporte, así como los aparatos de medición y de control más importantes, nunca va a mostrar componentes menores como: números de líneas, racks de tuberías ni designaciones de las mismas.

Hoy en día, la generación de los diagramas de flujo básicos y de proceso se lleva a cabo principalmente con la ayuda de modernos sistemas CAD (Diseño Asistido por Computadora) que se han desarrollado para las exigencias especiales de la ingeniería de procesos. Debido a la inteligencia artificial de estos sistemas es posible generar automáticamente, por ejemplo, listas de equipo después de la generación de los diagramas de flujo. De este modo se facilita el trabajo considerablemente, especialmente si se refiere a modificaciones.

FIGURA 15-3 Operaciones unitarias básicas para una planta de producción química (diagrama de flujo básico).



IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Los datos típicos de los equipos que se muestran en los Diagramas de Flujo de Proceso son:

1. Número de instrumento
2. Identificación de cada unidad con algún código
3. Líneas de recirculación
4. Dimensiones externas (diámetro y altura)
5. Temperatura y presión de operación
6. Velocidad, potencia de entrada y la altura, en cada alimentación.
7. Número de corriente
8. Tipo de fluido
9. Composición
10. Flujo másico
11. Flujo volumétrico
12. Densidad
13. Gravedad específica
14. Viscosidad
15. Peso molecular

La identificación de cada unidad o equipo, se hace mediante una nomenclatura que se define al principio del proyecto, en la TABLA 6-3 se muestra la nomenclatura que se ha utilizado en muchos proyectos para asignar un código a cada equipo de proceso.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

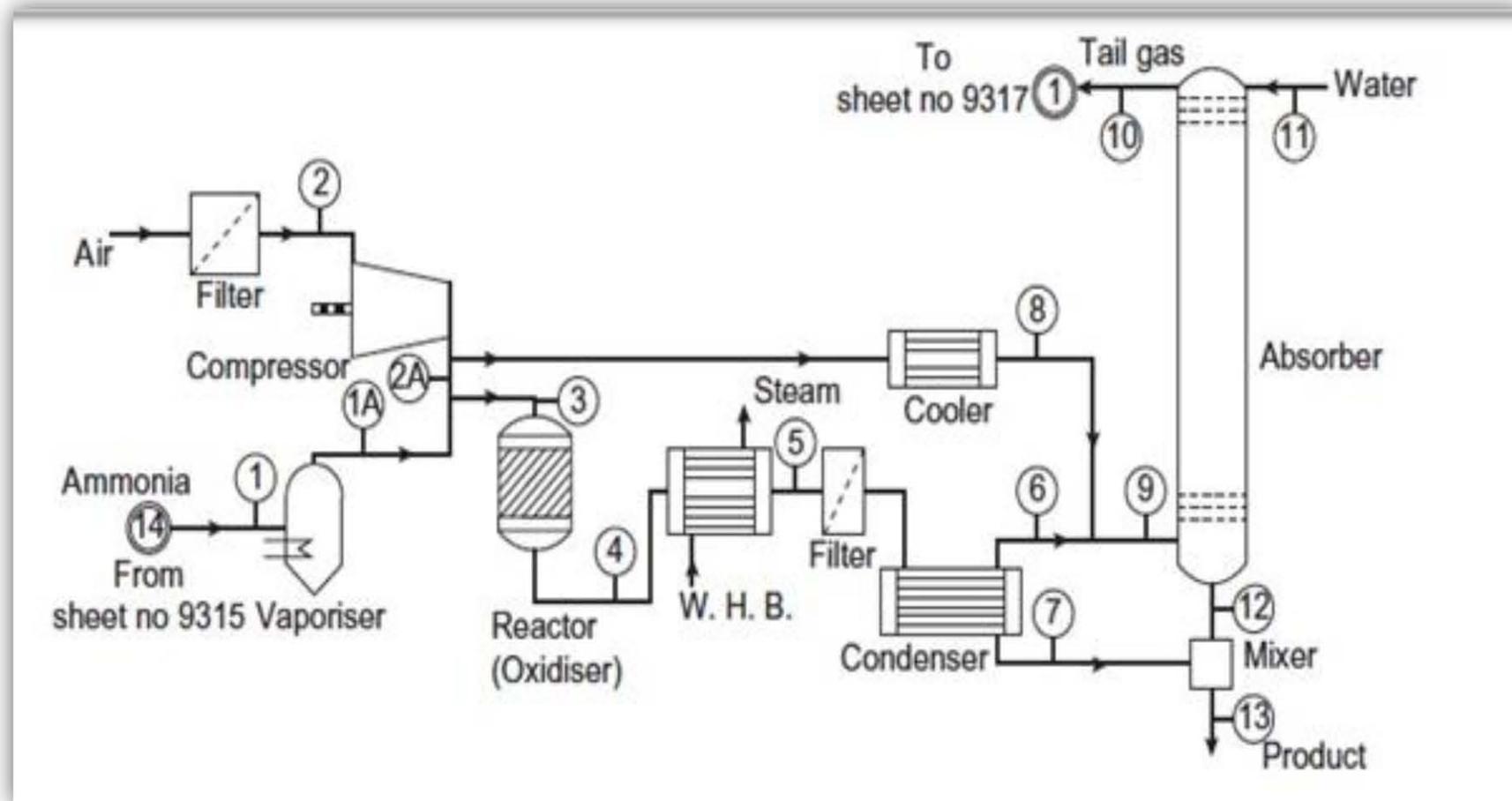
TABLA 6-3 Nomenclatura común para cada equipo de proceso

CODIGO DE EQUIPO	EQUIPO	DESCRIPCION
GD	Equipo de mezclado	Agitadores, aireadores, mezcladores mecánicos
GB	Compresores y ventiladores	Compresores centrífugos, compresores reciprocantes, compresores de tornillo, compresores de vacío, sopladores centrífugos, sopladores de desplazamiento positivo, ventiladores.
GC	Turbinas de expansión	Turbinas de expansión
GE	Conductores mecánicos	Motores eléctricos y neumáticos, motores de diesel, turbinas de vapor y gas.
EA	Intercambiadores de calor	Intercambiadores de calor no expuestos a fuego directo, condensadores, enfriadores, calderas, serpentines vaporizadores, y de calentamiento, tubo doble, serpentines, placa y bastidor.
EC	Intercambiadores de calor	Enfriadores de aire
BA	Hornos	Calentadores, hornos y calderas
BH	Atemperadores	Atemperadores
GA	Bombas	Centrifugas horizontales y verticales; de desplazamiento positivo; verticales de lata, de tornillo; de engranes; de sumidero
DC	Reactores	
DA	Torres/Columnas	
FB	Tanques	Atmosféricos API y de baja presión (dentro del límite de batería)
TV	Tanques	Atmosféricos API y de baja presión (fuera del límite de batería)
TE	Tanques esfera	Tanques esfera (fuera del límite de batería)
EE	Eyectores	Eyectores
EG	Eductores	Eductores

**IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL
DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE
NAFTAS**

CODIGO DE EQUIPO	EQUIPO	DESCRIPCION
FG	Filtros	Filtros
PA	Equipo misceláneo	Tolvas, silos, etc.
FA	Recipientes	Separadores, secadores, acumuladores, baterías
EF	Torres de enfriamiento	
ME	Quemadores	

FIGURA 16-3 Diagrama de Flujo de Proceso para un proceso de Poliestireno



3.2.2.4 Concepto de Materiales

Previo al diseño de los equipos de proceso y tuberías se debe especificar el material con el que se construirá cada uno. Los materiales seleccionados no sólo tienen un efecto sobre la construcción de las tuberías o de un equipo, sino también en sus costos de adquisición.

Es de gran importancia el concepto de materiales así que tiene esta parte de la Ingeniería Básica debe ser claramente subrayada. La decisión de los materiales requiere un conocimiento experto, detallado en cuanto a la experiencia con respecto a la fuerza, la corrosión y el desgaste y el comportamiento, es por eso que esta tarea se debe dejar a los ingenieros de materiales o a una persona con una mayor experiencia.

Los aspectos esenciales que deben tenerse en cuenta al determinar el concepto de materiales son los siguientes:

- Composición de los fluidos que se utilizarán.
- Aspectos de corrosión.
- Presiones de diseño y Temperaturas.
- Aspectos hidrodinámicos.
- Costos.
- Fuerza.
- Los plazos de entrega.
- Productibilidad.
- Soldabilidad.
- Dimensiones disponibles.
- Aspectos relacionados con la producción.
- Fluctuaciones de los precios.
- Garantías.
- Flexibilidad con respecto a modificaciones (por ejemplo, después de fijación de boquillas).

La composición de los fluidos, así como las presiones y temperaturas se derivan de las hojas de datos aquí los datos que van a ser utilizados son los datos de diseño.

Con respecto a los aspectos hidrodinámicos, la mayor velocidad de flujo que se tenga tiene que estar en primer lugar. Al utilizar materiales a granel, las propiedades de las partículas, como la distribución de tamaño de partículas, dureza, forma, etc. desempeñan un papel importante.

En lo que se refiere a la corrosión, es posible la corrosión que provoque grietas y la corrosión que provoque picaduras, y por supuesto tienen que ser controladas. En el caso de los equipos y tuberías recubiertas o enchaquetadas, es común la formación de ampollas debido al efecto de la difusión (por ejemplo, en revestimientos de goma). Por lo tanto, se toman mucho en cuenta las concentraciones de

oxígeno. Es por eso que aquí, es muy importante la ventilación de la planta durante tiempos muertos. Dependiendo de la corrosión o abrasión potencial de los materiales utilizados, los exámenes de corrosión o abrasión separados son necesarios en el período de planificación.

Debido al alto número de factores que afectan la selección de materiales, el diseñador determina cuales son las propiedades más relevantes para la aplicación que se tiene y con base en ellas, se hace la selección preliminar. En general los métodos para seleccionar materiales hacen una refinación más o menos amplia de estos parámetros.

En los últimos años se ha utilizado el método gráfico y ha resultado muy eficaz para llevar a cabo la selección de materiales, este método como se mencionó anteriormente se apoya en los Mapas de Materiales o Diagrama de Selección de Materiales de Ashby, en los que como ya vimos se relacionan por pares ciertas propiedades de los materiales. El método fue diseñado para ser utilizado durante la etapa conceptual de la selección de materiales, sin embargo pueden llegar a utilizarse en la etapa de Ingeniería Básica pero con apoyo de otros métodos de selección. En estos mapas se puede hacer una aproximación del material más adecuado (perteneciente a una determinada familia de materiales), con base en la relación de las propiedades más importantes que debe poseer el equipo o tubería.

Realizando los cálculos de resistencia y aplicando criterios de falla de acuerdo a los esfuerzos, se encuentran cuáles son las combinaciones de propiedades más importantes para un equipo dado y con ayuda de los Diagramas de Ashby se hace entonces la selección de materiales, para después generar el **MSD**.

Con respecto a los costos de los materiales, no sólo son importantes los costes de adquisición de los materiales básicos sino que también en casos particulares, los costos de procesamiento pueden incluso superar costos de adquisición. Esto es posible no sólo en el caso de materiales baratos, pero incluso los materiales de alta calidad pueden entrañar considerables costos de procesamiento, por ejemplo, debido al aumento de la actividad de inspección de soldaduras (de inspección de rayos x 100%) o debido a un aumento del esfuerzo de procesamiento.

Los plazos de entrega de los materiales básicos pueden variar considerablemente. Para las aleaciones especiales de níquel, se aplican a veces los tiempos de entrega de medio año. Los materiales estándar, sin embargo, son generalmente almacenables y por lo tanto pueden estar disponibles en poco tiempo. Algunos materiales están sujetos a fuertes fluctuaciones de precios inducidos por el mercado (por ejemplo, plata, níquel, titanio, etc.). El fabricante planta puede determinar el precio de la oferta sólo sobre la base de los precios de los materiales actuales. Para proyectarlo contra los aumentos de precios afilados, es posible integrar una llamada cláusula de la escala de precios en el contrato con el operador.

El fabricante de la planta proporciona las garantías de la corrosión y el desgaste a sus subcontratistas, que a su vez tienen que asumir la garantía para el procesamiento del material al pasar sobre la garantía para el material básico, como láminas de metal, al proveedor de materiales.

Tenemos un ejemplo sencillo, en el caso de un recipiente de autoclave de revestimiento de goma, los gastos son fuera de escala. Este es el caso de acuerdo a las especificaciones del cliente el revestimiento de caucho no es permisible. El recipiente tendría que ser, transportado al fabricante, desmontar el

caucho, modificar, montar el revestimiento de goma en el recipiente, transportar y finalmente se vuelve a montar el equipo.

3.2.2.5 Equipo de Proceso

Para la adquisición del equipo principal, las siguientes actividades de diseño se llevan a cabo las siguientes fases de diseño:

3.2.2.5.1 Diseño Relacionado con el Proceso

Las dimensiones del equipo se derivan del diseño relacionado con el proceso. Por esta razón, se aplican los conocimientos de la ingeniería de procesos térmicos, químicos, mecánicos y biológicos, etc. La ingeniería de procesos químicos, por ejemplo, ofrece un método de cálculo para el diseño de reactores, el resultado fundamental del cálculo es el volumen requerido del reactor. En consideración de las condiciones hidrodinámicas se puede determinar el diámetro del reactor y su altura.

El diseño relacionado con el proceso de intercambiadores de calor, requiere la aplicación de los principios de transferencia de calor y masa. Para el diseño de compresores se toman en cuenta los aspectos termodinámicos tienen. Los resultados del diseño, relacionados con el proceso se registran en las hojas de datos técnicos otros datos como el número, el tamaño y la posición exacta de las boquillas de un equipo sólo pueden ser evaluados en la fase de planeación y deben ser verificadas en el marco de la ingeniería de detalle.

3.2.2.5.2 Diseño Relacionado con la Resistencia

El enfoque del diseño relacionado con fuerza del equipo, es planificado en el cálculo de los espesores de pared de los equipos y tuberías. En muchos países, esto se basa en las normas y reglamentos pertinentes. Por lo general, el diseño relacionado con la fuerza sigue un orden de colocación, y por lo tanto se lleva a cabo en el marco de la ingeniería básica o de detalle ampliada.

3.2.2.5.3 Diseño Relacionado con la Producción

Esto se refiere a la construcción de detalle del equipo, considerando todos los detalles como los dispositivos de fijación, pasador de aislamiento, etc. Los resultados son los dibujos de producción relacionados con los materiales. El diseño relacionado con la producción, también, se lleva a cabo sólo en el marco de la ingeniería de detalle.

El diseño relacionado con el proceso es por lo general responsabilidad del fabricante de la planta, ya que aquí se requiere su especial “KNOW HOW”, en casos individuales, sin embargo, el diseño relacionado con el proceso puede ser proporcionado al subcontratista. Por ejemplo, los fabricantes de intercambiadores de calor o columnas, disponen de programas de diseño propios para calcular la superficie de transferencia de calor requerido o el número de platos, la tarea del fabricante de la planta se limita entonces a la especificación de la tarea técnica. La fabricación del equipo se asigna normalmente a los subcontratistas, aunque las excepciones son siempre posibles.

Con el fin de tener el tiempo y los gastos, necesarios para la determinación de los costos de adquisición de los equipos de proceso principales, se hace la solicitud de diligencias previas, que muestran claramente los detalles más importantes en cuanto a volumen de suministro y rendimiento, que se requieren. Las consultas preliminares consisten en una carta de presentación, la ficha técnica y la hoja de datos afines, esto también reduce los gastos para la preparación de la oferta. Aparte de los detalles técnicos, la cotización del fabricante de planta, asuntos comerciales y de organización, los siguientes puntos deben ser muy claros:

- El tiempo de entrega
- Capacidad de carga
- Precio de cotización
- Precio del mantenimiento

Se requieren las capacidades de carga de la ingeniería civil en un mismo escenario; por lo que ya se les debe pedir en ese momento. El precio del mantenimiento indica la duración de la validez del precio dado. La presentación de la cita preliminar para el equipo principal es seguida por un análisis técnico y comercial. Los precios que resultan de esto son la base para determinar la inversión.

3.2.2.6 Diseño

En el ámbito de la planificación del proyecto, simplemente se llevará a cabo el diseño básico para el equipo principal y la instrumentación. El diseño e instrumentación detallada en la planificación son muy complejos es por eso que sólo puede ser posterior a la presentación de los Diagramas de Tubería e Instrumentación, la distribución de la planta y todos los dibujos o diagramas que se desarrollen durante la ingeniería de detalle.

Para la fase de planificación del proyecto, por lo general son suficientes las presentaciones de vistas superiores y vistas laterales. Con el fin de ofrecer al cliente una mejor impresión de la planta diseñada gráficamente, se procesan vistas tridimensionales de los diseños que se pueden generar con sistemas CAD adecuados e incluso es posible la simulación de recorridos virtuales a través de la planta diseñada.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Para la preparación del diseño, los ingenieros de proceso que intervienen en el diseño tienen que llevar a cabo en primer término, el posicionamiento de los equipos, es decir la distribución de la planta, esto requiere de mucha experiencia, ya que esto es una de las cosas de la que depende la seguridad y el rendimiento de toda la planta.

Se ha demostrado la eficacia de hacer una galería de símbolos para la posición de los equipos a una escala adecuada y para desplazarlo hasta encontrar la posición óptima. Para el diseño horizontal, los equipos se colocan generalmente hacia la dirección de flujo principal para evitar tuberías innecesarias. Un ejemplo es que generalmente las bombas se colocan directamente junto a los equipos de los que se alimentan las bombas. Para la disposición vertical, se toman en cuenta los aspectos geodésicos (la mínima distancia que debe haber entre un equipo y otro) tales como posibilidades de evacuación y la reducción al mínimo del número de bombas requeridas tienen que

Basado en el diseño, el espacio requerido para la planta se puede determinar, que -por razones de costos- debe ser minimizado. Sin embargo, la minimización del espacio necesario no debe llevarse demasiado lejos, ya que de lo contrario la accesibilidad podría estar limitada; o la seguridad del personal operativo podría estar en peligro.

3.2.3 Ingeniería FEED

Una parte importante de la inversión de las plantas se define en la fase temprana del diseño. Las decisiones tomadas en estas fases iniciales de un proyecto son cruciales para el rendimiento a largo plazo de la planta, la seguridad, los costos y por lo tanto el retorno de la inversión. Las soluciones técnicas óptimas se definen en la Ingeniería FEED (Front-End Engineering Design).

La Ingeniería FEED es la parte de la fase de planificación e ingeniería de un proyecto de construcción de plantas o modificación de las mismas, esta parte de la ingeniería se realiza justamente después de que se ha aprobado la Ingeniería Conceptual y es el primer paso en el diseño de ingeniería en el que se definen los requerimientos de instrumentación y control y cubre los datos la preparación de los datos de ingeniería que se necesitan para pasar a la siguiente fase: Ingeniería de Detalle. Durante la Ingeniería FEED se van dando mejores oportunidades respecto a ahorros de tiempo y costos para el proyecto, ya que en esta fase se define la mayor parte de los costos totales.

La Ingeniería FEED se elabora con documentos que constituyen la Ingeniería Básica además de otros documentos que forman parte de la ingeniería de Detalle preliminar, de forma tal que se permita estimar el Monto de Inversión del Proyecto con una aproximación del $\pm 15 \%$, y al mismo tiempo elaborar el Pliego de Especificaciones Técnicas para el Concurso de licitación.

Una característica importante de esta fase es que sigue un método llamado Ingeniería – Procura – Construcción (IPC), este método tiene mucho en común con el Método De Diseño y Construcción, ya que incluye una responsabilidad de un proveedor único de diseño y construcción, contratos a precio fijo, además de que el contratista asume los riesgos de costo, planeación y realización. Sin embargo, el IPC cuenta con características únicas que lo hacen ser altamente aplicable en una gran diversidad de proyectos. Es así que se distingue de otros métodos de entrega. Este método es particularmente aplicable a las instalaciones de manufactura, aquellas cuyo objetivo es generar un producto o productos específicos a partir de materias primas o no terminadas. Por lo general, los principales sectores a quienes se les brindaba este servicio eran las industrias química y petroquímica, petróleo y gas, energía eléctrica, metalúrgica, minera, y pulpa y papel; no obstante, la industria farmacéutica, automotriz, aeroespacial, alimentos y bebidas, bienes de consumo y transformación de papel, entre otras, requieren instalaciones para las cuales el método IPC es el ideal.

Durante esta etapa se puede adquirir equipo con tiempo de entrega a largo plazo. Al concluir la etapa, el propietario y el contratista celebrarán un contrato de pago total definitivo o precio máximo garantizado, si el diseño está suficientemente completo. El diseño de la construcción se desarrolla conforme a la ingeniería de procesos. Por lo general es un aspecto secundario en cuanto al diseño de sistemas en los proyectos IPC. No obstante, no debe dársele menor importancia de manera indebida. La arquitectura de construcción, sin duda, puede expresar los procesos contenidos en ella. En todo caso, el diseño de –construcción debe llevarse a cabo de manera esmerada y creativa, optimizando costos, considerando la sustentabilidad y estética en los acabados. La negociación y preparación de los contratos IPC con el propietario requiere un nivel más alto de sofisticación que los contratos de diseño y construcción. Esto

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

se debe principalmente a las garantías de desempeño que adquieren los contratos IPC. Los objetivos de desempeño y las correspondientes sanciones con frecuencia resultan impresionantes: se fijan diversas fechas para lograr un resultado cada vez más alto hasta que se alcance el objetivo final. En ocasiones el desempeño debe mantenerse en un mismo nivel por un periodo específico de tiempo.

Entregables de una Ingeniería FEED:

1. Investigación Bibliográfica
2. Secuencia de Proceso
3. Selección de la Alternativa de Proceso
4. Filosofía de Operación y Control
5. Diagrama de Flujo de Proceso (D.F.P.)
6. Balances de Materia y Energía
7. Requerimientos de Reactivos Químicos y Catalizadores
8. Requerimientos de Servicios Auxiliares
9. Diagrama de Balance de Servicios Auxiliares
10. Descripción de Proceso
11. Lista de Equipo
12. Dimensionamiento de Equipo
13. Hojas de Datos de Equipo de proceso
14. Dimensionamiento de Líneas
15. Diagrama de Tuberías e Instrumentación de Proceso (D.T.I.)
16. Lista de Líneas
17. Índice de Servicios
18. Índice de Instrumentos
19. Hojas de Datos de Instrumentos
20. Plano de Localización General (Plot-Plan o P.L.G.)
21. Manual de Proceso o Manual de Operación de la Unidad

En esta etapa como ya se tienen la mayoría de las especificaciones de materiales o equipos, se hace un Diagrama de Selección de Materiales (MSD) preliminar, que como ya sabemos es un dibujo de ingeniería que muestra información de la selección de materiales y las especificaciones que hasta en este momento se tienen de las tuberías y equipos en una unidad de proceso. Normalmente se desarrolla a partir del Diagrama de Flujo de Proceso (DFP) realizado por el Ingeniero de Procesos, Ingeniero de Materiales y el metalurgista del proyecto. El ingeniero de materiales utiliza el MSD para asignar una especificación para cada línea de la Tubería en el DTI, así como para cada equipo que esté involucrado en el proceso.

3.2.4 Ingeniería De Detalle

La fase de Ingeniería Básica involucra fundamentalmente al director de proyecto y a los ingenieros de proyecto, así como al departamento de procesos, los distintos especialistas y departamentos de la empresa de ingeniería también colaboraran en algunos aspectos parciales del proyecto.

Los departamentos que deben invertir en el desarrollo de la Ingeniería de Detalle dependen, en primer lugar, de la naturaleza del proyecto, y después de la organización específica de la empresa que lo desarrolla. A estos efectos y a fin de disponer de la máxima flexibilidad, se considerara que los departamentos fundamentales de una empresa de ingeniería son los correspondientes a las disciplinas de:

- ✓ Ingeniería civil.
- ✓ Arquitectura y construcción.
- ✓ Estructuras y cimentaciones.
- ✓ Mecánica.
- ✓ Eléctrico.
- ✓ Tuberías.
- ✓ Instrumentación y control
- ✓ Seguridad
- ✓ Telecom

Antes de iniciar la Ingeniería de Detalle, el Director del Proyecto asignará y negociará con cada departamento técnico el número de horas/hombre del que va a disponer para ejecutar el trabajo y cuyo consumo marcará el progreso del mismo. También es frecuente que en esta etapa se incorpore algún ingeniero representante de la Propiedad, conocido como ingeniero residente, cuyas funciones concretas, actividades, localización, autoridad, etc., deberán darse a conocer a todos los elementos que intervengan en el proyecto.

En instalaciones de cierta responsabilidad es frecuente dedicar un ingeniero de proyecto a las unidades de proceso y otro a los servicios auxiliares y generales, que a su vez actúa como ayudante directo del director de proyecto, descargándole de determinadas funciones administrativas.

La coordinación técnica de los trabajos es la principal responsabilidad de los ingenieros de proyectos y se refleja en los planos de proyecto, cuyo desarrollo en el tiempo, hasta su aprobación final, va marcando el progreso de la Ingeniería de Detalle. Las actividades fundamentales de cada departamento en esta etapa son:

3.2.4.1 Departamento de Ingeniería Civil

3.2.4.1.1 Infraestructura

Incluye todos los trabajos relacionados con el terreno donde se va a emplazar el proyecto. Sus principales actividades son:

1. Implantación definitiva de las áreas de producción, servicios generales y auxiliares y servicios sociales.
2. Establecimiento de ejes de coordenadas para el terreno y para cada una de las áreas de la planta, susceptibles de materializarse fácilmente en el replanteo.
3. Movimiento de tierras. Terraplenes y plataformas.
4. Vallas y cerramientos.
5. Estudios de tráfico. Accesos. Red viaria: anchos de calles, secciones tipo, redes de carreteras.
6. Redes de evacuación: pluviales, fecales y efluentes industriales.
7. Obras civiles de la red de abastecimiento de agua.
8. Instalaciones deportivas (si existen).

3.2.4.1.2 Estructuras y cimentaciones

Es importante recalcar la necesidad de una coordinación especial entre la obra enterrada y muy especialmente entre redes de agua y saneamiento, tuberías de proceso y cables subterráneos. Por lo tanto es necesario el estudio y definición de los siguientes puntos:

1. Tipo, modulación y materiales para cada estructura.
2. Cimentaciones de edificios.
3. Cimentaciones de equipos de proceso.
4. Muros de contención, interiores y exteriores.
5. Pórticos, puentes, mensuras y soportes de tuberías y cables. Sus cimentaciones.
6. Plataformas, barandillas, escaleras, etc.
7. Chimeneas.
8. Pintura y acabado.

3.2.4.2 Departamento de Arquitectura

Las actividades de este departamento dependerán mucho del tipo de proyecto. Por ejemplo, en plantas químicas apenas tiene relevancia, pero será muy importante en laboratorios farmacéuticos. El emplazamiento del proyecto en un complejo urbano, sus proximidades, o en un polígono industrial, otorgará más o menos importancia a los aspectos estéticos. Sin embargo, nunca se deben hacer fábricas antiestéticas cuando por el mismo coste se pueden hacer no solo funcionales sino también atractivas.

Para todos los edificios, sean de producción, servicios generales o sociales, se estudiarán y definirán los siguientes aspectos:

1. Distribución en planta.
2. Alturas libres. Número de plantas. Cotas.
3. Cerramientos.
4. Forjados.
5. Cubiertas y desagües.
6. Pavimentos.
7. Carpinterías exteriores.
8. Carpinterías y separaciones interiores.
9. Aparatos sanitarios.
10. Pinturas y acabados.

3.2.4.3 Departamento de mecánica. Equipos de instalaciones mecánicas

El departamento de mecánica suele tener una participación muy importante en cualquier proyecto industrial. En relación con el equipo de proceso, será este departamento el que a partir de la Ingeniería Básica, calcule, diseñe y seleccione la mayor parte del mismo. Las especificaciones completas de cada equipo serán emitidas por él y en ellas se apoyará el servicio de compras para sus adquisiciones. El establecimiento de las especificaciones conlleva en muchos casos contactos y negociaciones con fabricantes y suministradores, a fin de contrastar experiencia y definir en cada caso los equipos más adecuados. El posterior seguimiento de los equipos, especialmente el estudio y aprobación de los planos de vendedores, es otra tarea específica de este departamento. En relación con el tipo de proyecto que desarrolle, la participación de este departamento será distinta. Frecuentemente incluye las siguientes actividades:

1. Máquinas rotativas (bombas, compresores, etc.).
2. Recipientes (torres, tanques, reactores, etc.).
3. Intercambio de calor (hornos, cambiadores, etc.).
4. Movimiento y manipulación de sólidos (cintas transportadoras, tornillos, etc.).
5. Máquinas motrices (motores de combustión, turbinas, etc.).
6. Servicios auxiliares (agua, vapor, aire comprimido, frío, gases, combustibles, etc.).
7. Instalaciones generales (aire acondicionado, calefacción, ventilación, fontanería, protección contra incendios, etc.).
8. Mantenimiento.
9. Equipos especiales.
10. Este departamento es el encargado de generar todas las especificaciones respecto a los equipos y plasmarlos en el M.S.D. la estructura se hace conforme lo especifica la norma NACE.

3.2.4.4 Departamento de Equipos e instalaciones eléctricas

Su punto de partida son los diagramas unifilares y la lista de motores, que deben formar parte de la Ingeniería Básica.

Utiliza códigos y reglamentos nacionales e internacionales para la especificación del equipo eléctrico principal y las redes de conexión. A este departamento corresponde el estudio y definición de los siguientes puntos:

1. Alimentación en alta tensión.
2. Transformadores de tensión.
3. Centro de control de motores.
4. Cuadros de fuerza.
5. Clasificación de áreas peligrosas.
6. Redes de alumbrado y fuerza.
7. Distribución en zanjas y bandejas.
8. Red de tierra.
9. Sistemas de emergencia.
10. Redes de datos y telefonía.
11. Instalaciones especiales: intercomunicadores, timbres, pararrayos, instalaciones de seguridad frente a robos, sistemas de acceso restringido.

3.2.4.5 Departamento de Tuberías

El departamento de tuberías participa de forma destacada en el caso de refinerías, plantas químicas y petroquímicas y centrales térmicas convencionales o nucleares. Las tuberías para servicios auxiliares e instalaciones generales no suelen ofrecer problemas especiales, no así las tuberías de proceso que requieren un estudio completo en los siguientes aspectos:

Especificaciones de materiales.

1. Implantación definitiva.
2. Selección de válvulas y accesorios.
3. Planos de plantas, alzados y secciones.
4. Planos isométricos.
5. Listas de materiales.
6. Cálculo y análisis de flexibilidad.
7. Definición de soportes de tuberías y válvulas.

Este departamento es el encargado de hacer las especificaciones de las tuberías, para que estas sean plasmadas en el M.S.D. final y en las hojas de datos. Las especificaciones de los materiales cambian

proyecto a proyecto y dependiendo de la preferencia del cliente. Así las especificaciones se dividen en tres secciones:

- I. Índice: Enumera todas las clases de líneas que se utilizan en el proyecto y se hace una breve descripción de cada una.
- II. Notas generales: En estas notas se da una visión general sobre la información de las especificaciones de los materiales para las tuberías y se hace referencia a otras especificaciones como el aislamiento y la pintura, empleados; y se dan los criterios por los cuales el Ingeniero de Materiales ha determinado el uso de las tuberías empleadas. Esta sección define los requerimientos relacionados con el proceso que tiene un efecto en la selección de materiales para las tuberías.
- III. Especificaciones de las líneas: Esta sección define el material, cedula, diámetro longitud y todas las especificaciones necesarias de las tuberías. Por ejemplo:

La designación **3CS1S01** significa lo siguiente:

Primer campo: 3 = Presión ASME clase 300

Segundo campo: CS = Sistema de tuberías en base de Acero al Carbón

Tercer campo: 1 = Tolerancia a la corrosión nominal en múltiplos de 1/16"

Cuarto campo: S = Soldadura Socket o de encaje para tuberías de pequeño calibre; y soldadura Butt o a tope para construcción con bridas de alto calibre.

Quinto campo: Números de secuencia.

3.2.4.6 Departamento de Instrumentación automatización y control

El trabajo de este departamento comienza con la revisión de especificaciones, establecidas en la Ingeniería Básica. Aspectos propios de su trabajo son:

1. Especificaciones.
2. Dimensionado de instrumentos.
3. Preparación de hojas de datos.
4. Lista de instrumentos.
5. Situación de instrumentos.
6. Lazos de control.
7. Paneles.
8. Listas de cables

3.3 APLICACIONES DE LOS DIAGRAMAS DE ASHBY PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES: CASOS DE ESTUDIO

Existen un sinnúmero de aplicaciones de los Diagramas de Ashby, sin embargo en este apartado se presentan algunos casos de estudio de selección de materiales para el diseño de equipos empleados únicamente o lo más cercano posible en la Industria Química o Petroquímica; cada caso de estudio se establece de la siguiente manera:

- a) El enunciado que describe el problema.
- b) El modelo. La identificación de la función, las limitaciones, los objetivos y las variables libres que surgieron de los índices de los materiales.
- c) La selección final que se obtiene de todo el menú de materiales y la clasificación de una lista de materiales viables, para una situación parecida.
- d) Comentarios sobre los resultados y la filosofía de selección.

3.3.1 Seguridad en Recipientes a Presión

Los recipientes a presión son diseñados siempre para brindar la mayor seguridad posible, de manera que producen una fuga antes de estallar, los detalles de este método de diseño puede variar ya que, los recipientes a presión pequeños generalmente están diseñados para que tengan un buen rendimiento hasta antes de la propagación de fisuras en el recipiente cuando se tienen presiones muy bajas, este problema es fácil de detectar y en cuanto se detecta la presión se libera de manera segura.

Contrario a lo anterior, tenemos a los recipientes a presión grandes, el diseño seguro de estos equipos se logra asegurando que la más pequeña grieta que se propagará de manera inestable tiene una longitud mayor a la del espesor de pared del recipiente, entonces se detecta esta fuga y la presión debe liberarse poco a poco de manera segura, por lo tanto estos dos criterios nos conducen a diferentes índices de materiales.

3.3.1.1 Requerimientos de diseño

Función	Contener la presión P de forma segura
Restricciones	Radio R, especificado
Objetivos	✓ Maximizar la seguridad utilizando el criterio de rendimiento antes de la rotura, o ✓ Maximizar la seguridad utilizando el criterio de fugas antes de la rotura
Variables libres	Elección del material

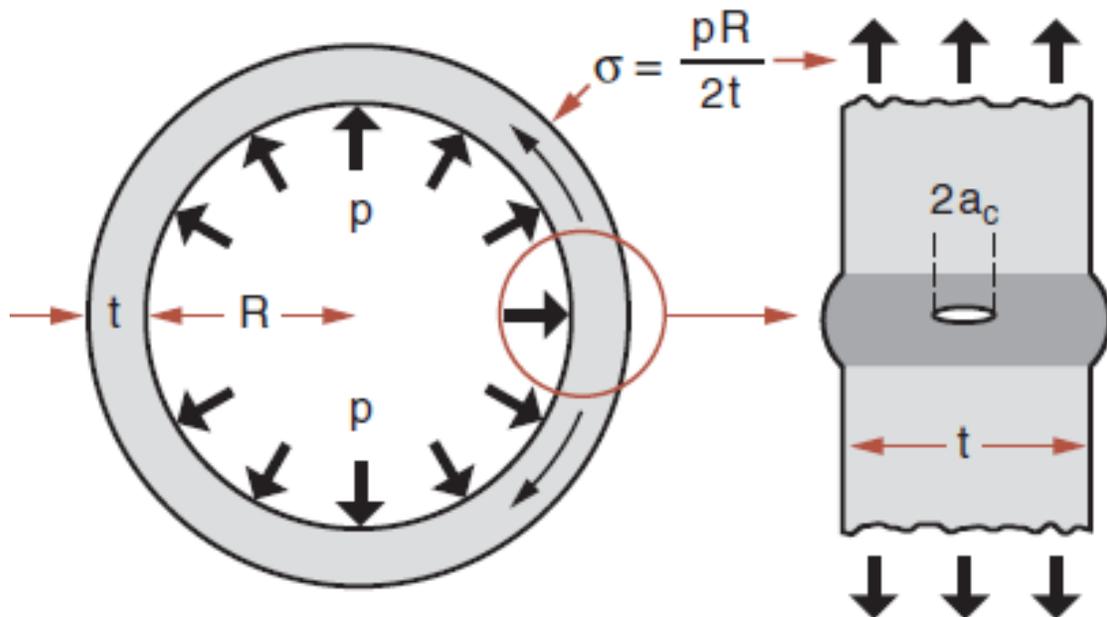
3.3.1.2 El modelo

En la FIGURA 13-3 se representa la tensión en la pared de un recipiente esférico a presión, de pared delgada y radio R y está dada por:

$$\sigma = \frac{pR}{2t} \quad (3.21)$$

En el diseño del recipiente a presión, el espesor de pared (t), es elegido de acuerdo a la tensión que provoca la presión (p), esta tensión es menor que el límite de elasticidad (σ_f) en la pared.

FIGURA 17-3 Representación de un recipiente a presión que tiene un defecto. La seguridad de los recipientes pequeños radica en liberar la presión antes de que se agriete el recipiente, y en los recipientes grandes se exige liberar la presión antes de que colapse.



Un recipiente a presión pequeño puede ser examinado mediante métodos de rayos X o alguna otra prueba que demuestre que el recipiente no tiene ninguna grieta o defecto en el diámetro superior a $2a_c^*$; entonces la tensión requerida para que se propague la grieta es:

$$\sigma = \frac{C K_{1c}}{\sqrt{\pi a_c^*}} \quad (3.22)$$

Donde C es una constante cercana a la unidad (1) y K_{1c} es la resistencia a la fractura; la seguridad se logra garantizando que la tensión de trabajo que ejerce la presión en el recipiente sea menor al valor de la ecuación 3.22:

$$p \leq \frac{2t}{R} * \frac{K_{1c}}{\sqrt{\pi a_c^*}} \quad (3.23)$$

La mayor presión (dada para un R , t y a_c^*) es evaluada mediante el material con el valor más grande de:

$$M_1 = K_{1c} \quad (3.24)$$

Pero este diseño no es del todo a prueba de fallos, si la inspección no es la correcta, o si, por alguna otra razón una fisura de mayor longitud que a_c^* aparece, la catástrofe se irá incrementando gradualmente. Para que el diseño sea seguro, se exige que la grieta no se propague hasta que afecte el rendimiento del recipiente o incluso hasta que se deforme; esta condición es expresada mediante el ajuste de σ igualándolo al límite de elasticidad (σ_f) obteniendo lo siguiente:

$$\pi a_c \leq C^2 \left[\frac{K_{1c}}{\sigma_f} \right]^2 \quad (3.25)$$

Un tamaño de fisura aceptable, que nos va a asegurar la integridad del recipiente, se maximiza mediante la elección de un material que tenga un valor mayor de:

$$M_2 = \frac{K_{1c}}{\sigma_f} \quad (3.26)$$

Los recipientes a presión grandes no siempre pueden ser examinados con métodos de rayos X, como los recipientes pequeños, debido a que las fisuras pueden crecer lentamente tal vez por la carga cíclica que tenga tal recipiente, entonces para que este sea seguro se plantea que una grieta suficientemente grande para penetrar tanto en el interior como en el exterior del recipiente es causada por una tensión que es siempre menor o igual a:

$$M_2 = \sigma = \frac{C K_{1c}}{\sqrt{\frac{\pi t}{2}}} \quad (3.27)$$

El espesor de pared del recipiente a presión está diseñado por supuesto, para soportar la presión P, sin tener un daño prematuro, esto significa que:

$$t \geq \frac{pR}{2\sigma} \quad (3.28)$$

La presión máxima de trabajo para el material está dada por el valor de:

$$M_3 = \frac{K_{1c}^2}{\sigma_f} \quad (3.29)$$

Finalmente definiremos que $M_4 = \sigma_f$

3.3.1.3 La selección del material

Los criterios de selección se analizan utilizando el Grafico de Ashby: Resistencia a la fractura – Limite de elasticidad en la FIGURA 18-3. Los índices M_1 , M_2 y M_3 aparecen como líneas con pendiente: 0, 1 y $\frac{1}{2}$; tomando como ejemplo el rendimiento antes de la rotura, una línea diagonal que corresponde a un valor constante de $M_1 = K_{1c} / \sigma_f$, vincula a todos los materiales que tienen un mismo desempeño, los materiales que se ubiquen por encima de esta diagonal son los materiales ideales para cubrir la selección; la línea M_1 que se muestra en la figura está incluyendo materiales como Aceros, Cobre, Aluminio y aleaciones de Titanio, y excluye a los polímeros aunque algunos recipientes a presión se hacen con materiales Poliméricos con fines de contener líquidos como cerveza o limonada.

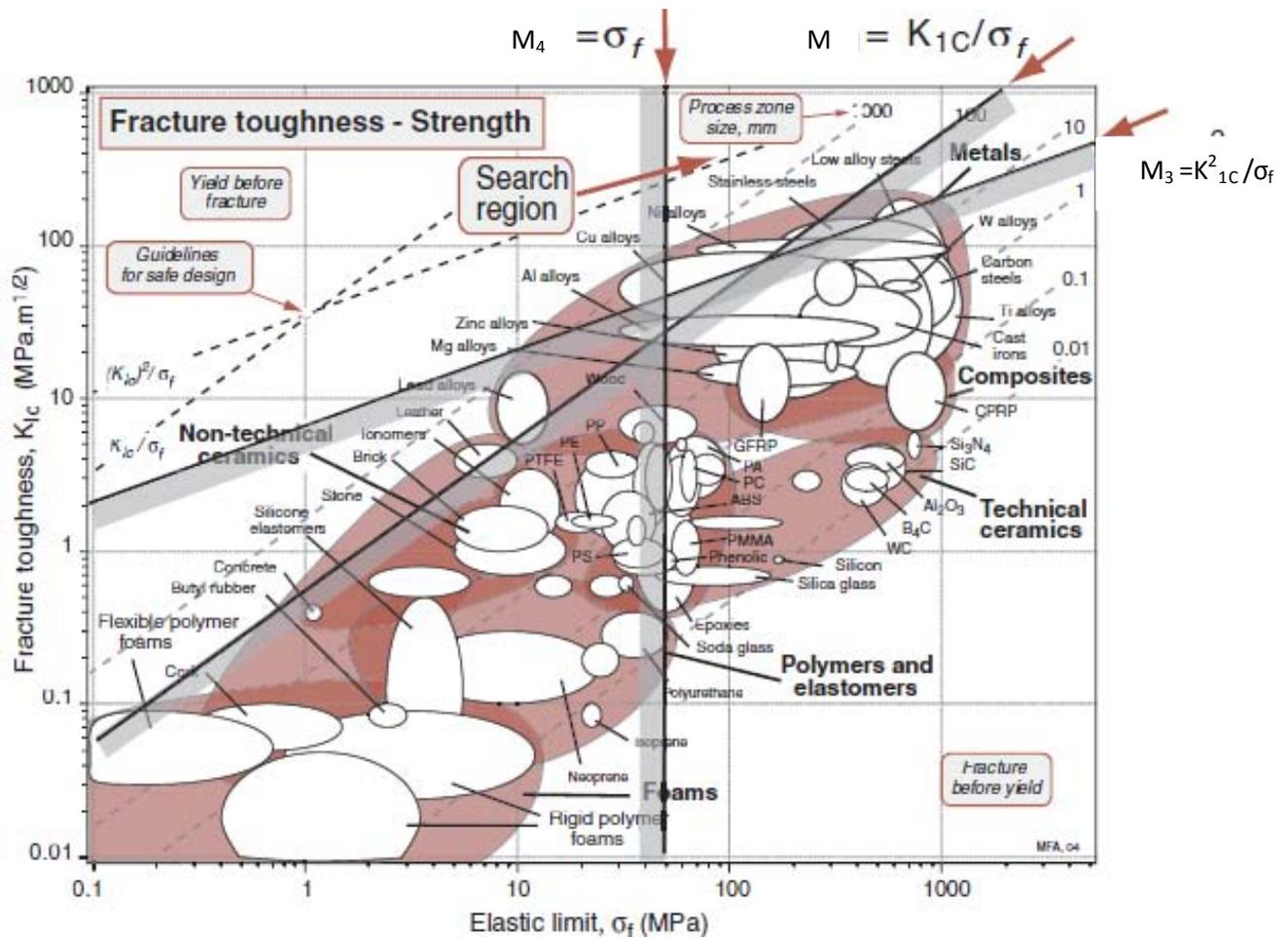
La otra línea: M_4 , con un valor supuesto de 50MPa elimina las aleaciones de Aluminio, algunas especificaciones se dan en la TABLA 7-3, tomando el criterio de que exista fuga antes de la rotura del material.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

TABLA 7-3 Especificaciones de materiales para recipientes a presión

MATERIAL	$M_2 = \frac{K_{1C}}{\sigma_f}$ (m ^{1/2})	M_a = σ_f (MPa)	COMENTARIOS
Aceros Inoxidables	0.35	300	Los recipientes a presión nucleares están hecho de acero inoxidable de grado 316.
Aceros de baja aleación	0.2	800	Este estándar es aplicable la mayoría de las veces.
Cobre	0.5	200	El cobre estirado en frio es empleado para pequeñas calderas y pequeños recipientes a presión.
Aleaciones de Aluminio	0.15	200	Estos materiales se emplean en los tanques a presión de cohetes.
Aleaciones de Titanio	0.13	800	Son muy útiles para recipientes a presión ligeros, pero estas aleaciones suelen ser muy caras.

FIGURA 18-3 Materiales para recipientes a presión, un límite de elasticidad alto permite que el material soporte mayor presión de trabajo; además los materiales que se hallan dentro del triángulo que forman las tres líneas de selección, son los mejores.



3.3.1.4 Datos anexos

1. Los grandes recipientes a presión siempre están hechos de Acero; aquellos recipientes que necesiten de un motor de vapor están hechos de cobre, que, aunque es más caro, se elige debido a su mayor resistencia a la corrosión.
2. Las pérdidas menores o iguales a 0.1 mm/año debido a la corrosión no es tan grave en un recipiente a presión que su espesor de pared mide 10 mm, pero si el espesor mide 1 mm, está perdida por corrosión pone en riesgo a nuestro recipiente.

3.3.2 Materiales para paredes de hornos para conservación de energía

La energía empleada en los hornos de Cerámica tiene un costo considerable, parte de este costo se debe a que la energía se pierde por conducción a través de las paredes del horno, una posible solución para este problema es emplear materiales que tengan una baja conductividad y que la pared sea muy gruesa. La otra parte del costo energético es la propia energía que se utiliza para elevar el horno a la temperatura de operación y este costo se puede reducir por la elección de materiales que tengan una capacidad calorífica baja y por tanto una pared delgada. Aparentemente estos objetivos de diseño pueden ser contradictorios, y nos pueden llevar a una confusión en el momento de elegir el material adecuado; primeramente nos basaremos en los requerimientos de diseño:

3.3.2.1 Requerimientos de diseño para paredes de hornos

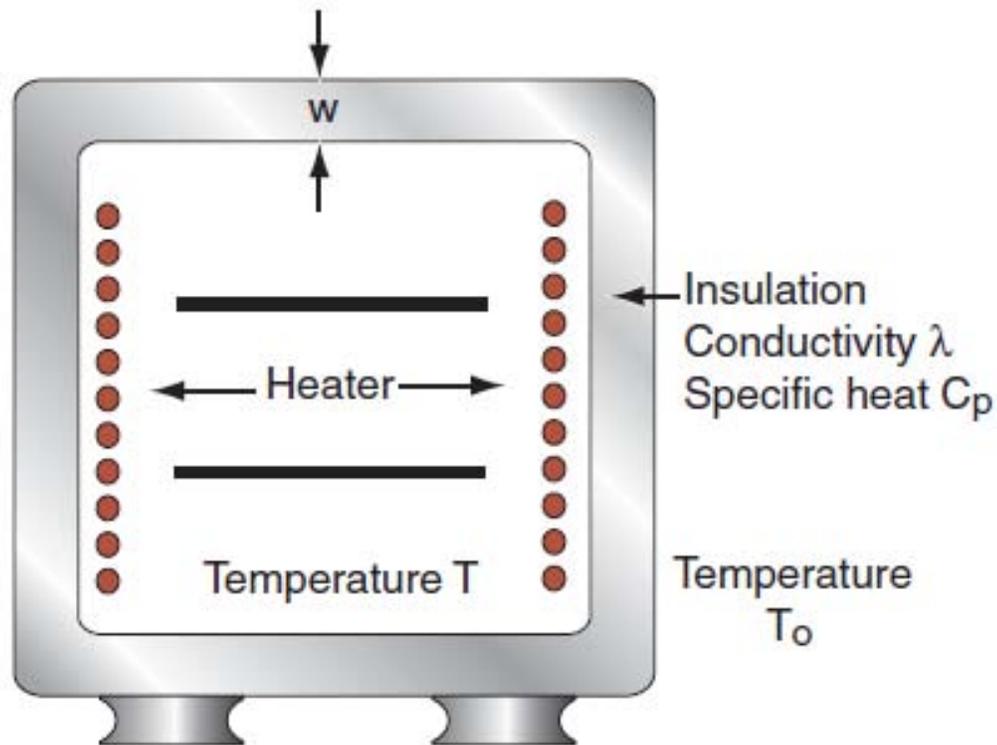
Función	Aislamiento térmico para horno (calentamiento y enfriamiento cíclico)
Restricciones	<ul style="list-style-type: none">• La temperatura máxima de operación es de 1000 °C.• Hay un límite en el espesor de pared del horno por cuestiones de espacio.
Objetivo	Minimizar lo más posible la energía consumida en un ciclo del horno.
Variables libres	<ul style="list-style-type: none">• Espesor de pared del horno (w).• Elección del material.

3.3.2.2 El modelo

Cuando un horno se pone en funcionamiento (FIGURA 19-3), la temperatura interna se eleva rápidamente, desde la temperatura ambiente (T_0) hasta la temperatura de operación (T_i) la cual se debe mantener constante durante el tiempo t ; la energía que se consume en este tiempo tiene dos contribuciones, como ya se mencionó. El primero es el calor conducido hacia el exterior del horno, en estado estacionario la pérdida de calor por conducción Q_1 , por unidad de área, viene dada por la primera ley de flujo de calor la cual nos dice que si el calor se mantiene durante un tiempo t , tenemos la expresión:

$$Q_1 = -\lambda \frac{dT}{dx} t = \lambda \frac{(T_i - T_o)}{w} t \quad (3.30)$$

FIGURA 19-3 Durante el funcionamiento del horno, la pared del horno se calienta a la temperatura de operación del mismo y se mantiene constante, pero después de un tiempo se forma un gradiente de temperaturas lineal a través de la temperatura del horno.



Dónde:

λ representa la conductividad térmica.

$\frac{dT}{dx}$ Es el gradiente de temperatura a través del espesor de pared.

W representa el espesor de pared del horno.

La segunda contribución, que es la absorción de calor a través de la pared que incrementa la temperatura para llegar a T_1 , por unidad de área, está dada por:

(3.29)

$$Q_2 = C_p \rho w \left(\frac{T_1 - T_0}{2} \right)$$

Dónde:

C_p es el calor específico del material con el que está construida la pared.

ρ es la densidad del material con el que está construida la pared.

Y finalmente la energía total consumida por unidad de área es la suma de Q_1 y Q_2 :

$$Q_T = \lambda \frac{(T_i - T_0) t}{w} + C_p \rho w \left(\frac{T_1 - T_0}{2} \right) \quad (3.30)$$

Para resolver la contradicción que se tiene sobre el problema de que, cuando se tiene una pared demasiado delgada se pierde mucha energía por conducción pero absorbe poca energía en el calentamiento de la misma; y cuando se tiene una pared gruesa hace lo contrario: se pierde poca energía por conducción pero absorbe mucha energía cuando se calienta; lo que nos lleva a buscar un espesor óptimo, que, en la literatura se encontró que derivando la ecuación (3.29) con respecto al espesor de pared, w , e igualando a 0, tenemos que:

$$w = \left(\frac{2 \lambda t}{C_p \rho} \right)^{1/2} = (2at)^{1/2} \quad (3.31)$$

Dónde:

$a = \frac{\lambda}{\rho C_p}$ es la difusividad térmica; la expresión $(2at)^{1/2}$ tiene dimensiones de longitud y es la que mide la distancia a la que el calor que puede difundirse durante el tiempo t . La ecuación (3.31) significa que la pared más eficiente para un horno, es aquella que alcanza su temperatura de operación en la parte exterior. Sustituyendo la ecuación (3.31) en (3.30) para eliminar el espesor, tenemos que:

$$Q_T = (T_i - T_0) (2t)^{\frac{1}{2}} (\lambda C_p \rho)^{\frac{1}{2}} \quad (3.32)$$

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

El calor total (3.32) es minimizado eligiendo un material que tenga un valor menor o igual a la expresión: $(\lambda C_p \rho)^{\frac{1}{2}}$ y minimizando se obtiene la relación:

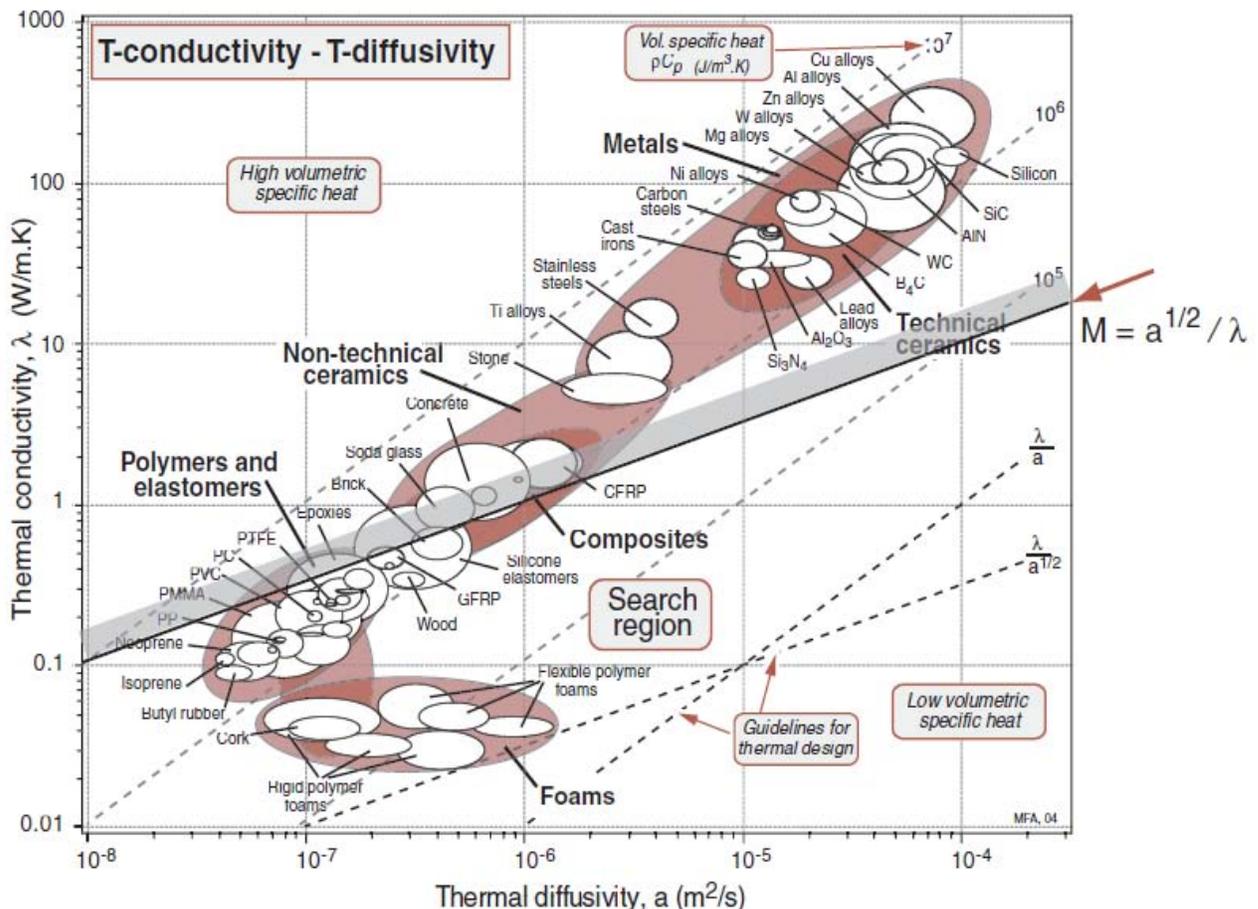
$$M = (\lambda C_p \rho)^{-\frac{1}{2}} = \frac{a^{1/2}}{\lambda} \quad (3.33)$$

3.3.2.3 La selección

En la FIGURA 20-3 muestra el Grafico de Ashby: Termo-conductividad – Termo- difusividad con una línea de selección trazada que corresponde a:

$$M = \frac{a^{1/2}}{\lambda}$$

FIGURA 20-3 Materiales para la construcción de paredes para hornos, los materiales con densidades bajas, como la cerámica, son la mejor opción para el diseño



IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

El valor de M, trazado en el Grafico, nos muestra que las espumas poliméricas, corchos y los polímeros son buenos materiales pero solo para ser empleados en hornos que van a operar a un temperatura interior de 150 °C, sin embargo, los hornos reales operan cerca de los 1000 °C o más, y obviamente se van a requerir materiales con una temperatura de operación máxima que esté por encima de este valor;

El grafico sugiere que nuestro material a elegir sea el ladrillo, esto se encuentra en las especificaciones de la TABLA 8-3, pero tenemos una desventaja en este diagrama, no se muestran los materiales especializados como Ladrillos refractarios y hormigones, por lo que, cuando se da este caso, es necesario recurrir a otros métodos para conocer más sobre ladrillos que puedan cubrir los objetivos de diseño del horno.

TABLA 8-3 especificaciones de materiales para paredes de hornos industriales

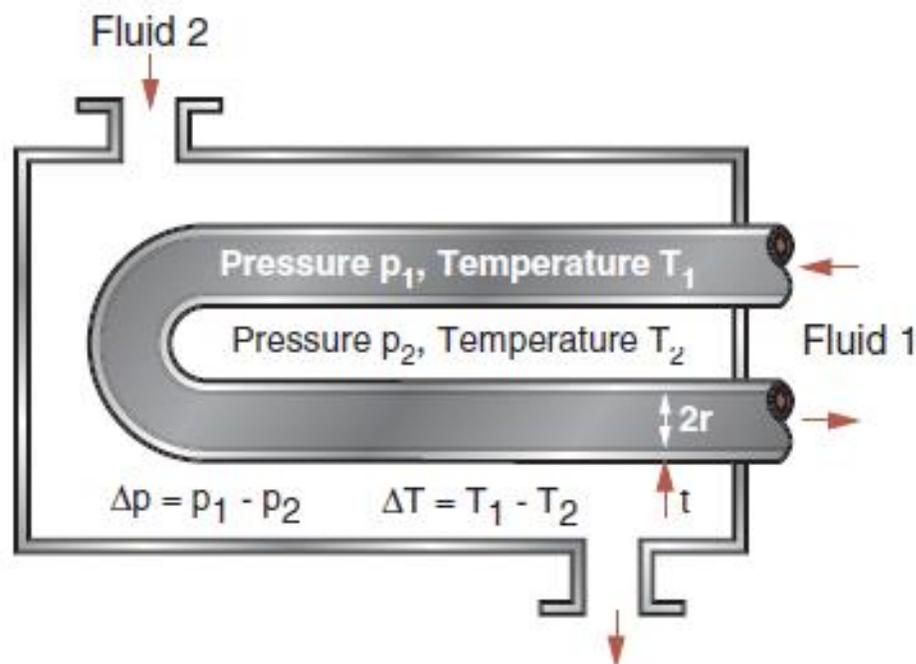
MATERIAL	$M = \frac{a^{1/2}}{\lambda}$ (m ² K/Ws ^{1/2})	ESPESOR DE PARED (mm)	COMENTARIOS
Ladrillo	10 ⁻³	90	La selección es obvia debido a que este material posee baja densidad y por lo tanto tendrá buen rendimiento. Los ladrillos refractarios especiales tienen valores de M mayores a 3x10 ⁻³ .
Concreto	5x10 ⁻⁴	110	Este material puede soportar altas temperaturas de hasta 1000°C.
Madera	2x10 ⁻³	60	La caldera de la locomotora ROCKET construida por George Stephenson y su hijo en 1829, fue aislada con madera.
Elastómeros solidos	2x10 ⁻³ – 3x10 ⁻³	50	Pueden ser útiles si el diseño requiere que la pared sea delgada y la temperatura máxima de operación sea de 150 °C.
Polímeros solidos	2x10 ⁻³	50	
Espuma de polímero, Corcho	3x10 ⁻³ – 3x10 ⁻²	50-100	Tiene un valor alto de M, es por eso que puede ser utilizado como aislamiento pero con la condición de que la temperatura máxima de operación sea de 150°C

3.3.3 Materiales para la construcción de intercambiadores de calor

La función de un intercambiador de calor es simple, toman la temperatura de un fluido para calentar o enfriar un segundo fluido como se muestra en la FIGURA 21-3; los tubos de humo de una caldera de vapor son simplemente un intercambiador de calor, ya que la temperatura de los gases de combustión que provienen de la cámara se transmite al agua para que se pueda finalmente, producir vapor.

Un elemento clave en todos los intercambiadores de calor es la pared de los tubos o las membranas que separan a los fluidos; para que se pueda intercambiar la temperatura entre los dos fluidos es necesario que haya una diferencia de presión, pero esta diferencia no conviene que sea muy grande.

FIGURA 21-3 Intercambiador de calor, se muestra una diferencia de presión (ΔP) y una diferencia de temperatura (ΔT) a través de la pared del tubo.



Al diseñar un intercambiador de calor que nos va a garantizar un buen rendimiento, nos preguntamos cuales son los mejores materiales de construcción para un intercambiador de calor, o siendo más específicos para este caso de estudio: ¿Cuáles son los mejores materiales para un intercambiador de conducción limitada con sustancial diferencia de presión entre los fluidos, cuando uno de ellos contienen iones de cloruro (agua de mar)? Veamos los requerimientos de diseño.

3.3.3.1 Requerimientos de diseño

Función	Intercambiador de calor
Restricciones	<ul style="list-style-type: none"> • Soportar diferencias de presión, ΔP • Resistir desgaste por iones de cloruro • Temperatura de operación hasta 150°C • Costo no muy elevado
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Maximizar el flujo de calor por unidad de área • Maximizar el flujo de calor por unidad de masa
Variables libres	<p>Espesor de pared del tubo, t</p> <p>Elección del material</p>

3.3.3.2 El modelo

Primeramente la transferencia de calor de un fluido a través de un tubo para un segundo fluido, implica una transferencia de temperatura por convección del primer fluido en la pared del tubo, transferencia por conducción a través de la pared del tubo y finalmente otra transferencia por convección al segundo fluido. El flujo de calor en la pared del tubo por unidad de área se describe con la ecuación de transferencia de calor:

$$q = h_1 \Delta T \quad (3.34)$$

Donde h_1 representa el coeficiente de transferencia de calor y ΔT es la diferencia de la temperatura a través de la superficie del fluido uno, en la pared; la conducción se describe con la ecuación de Fourier, que, debido a que el flujo de calor es adimensional toma la forma de:

$$q = \lambda \frac{\Delta T}{t} \quad (3.35)$$

Donde λ es la conductividad térmica de la pared y ΔT es la diferencia de temperaturas a través de la misma. Es útil pensar que la resistencia térmica en la superficie uno es $1/h_1$; que la de la superficie 2 es $1/h_2$, y que la de la propia pared es t/λ , entonces la continuidad del flujo de calor requiere que la resistencia total sea:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \frac{t}{\lambda} \quad (3.36)$$

Donde U es el coeficiente total de transferencia de calor. El flux de calor que proviene del fluido uno y se dirige al fluido 2 está dado por:

$$q = U (T_1 - T_2) \quad (3.37)$$

Donde $(T_1 - T_2)$ es la diferencia de temperatura de ambos fluidos.

En el caso en que uno de los fluidos es un gas, como por ejemplo un aire acondicionado, la transferencia por convección que se da en las superficies del tubo, se atribuye más a la resistencia que existe en estos dispositivos, entonces las aletas se utilizan para aumentar el área de contacto para que a través de esta el calor pueda ser transferido; pero cuando ambos fluidos son líquido, la transferencia de calor por convección es rápida y la transferencia por conducción se da a través de la pared del tubo que domina la resistencia térmica y entonces $1/h_1$ y $1/h_2$ se vuelven valores insignificantes comparados con t/λ .

En este caso, el espesor de pared de los tubos del intercambiador, debe estar reducido lo más mínimo posible para que pueda reducirse t/λ . Tomemos en cuenta un segundo caso: la transferencia de calor es limitada, donde el flujo de calor es descrito por la ecuación general de Fourier:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (3.38)$$

Consideremos un intercambiador de calor con n tubos de longitud L , cada uno de radio r y espesor de pared t . El objetivo es seleccionar un material para maximizar el flujo de calor total:

$$Q = qA = \frac{A\lambda}{t} \Delta T \quad (3.39)$$

Donde $A = 2\pi rLn$ es el área superficial total de la tubería.

Ahora tenemos la restricción que es que el tubo debe tener un espesor capaz de resistir la presión ΔP , entre el interior y el exterior del tubo, como se muestra en la FIGURA 8-3. Esto requiere que la tensión en la pared del tubo permanezca por debajo del límite de elasticidad del material con el que serán fabricados los tubos:

$$\sigma = \frac{\Delta P r}{t} < \sigma_y \quad (3.40)$$

Esta ecuación limita el valor mínimo de t . Dividiendo las ecuaciones (3.39) y (3.40) y despejando Q se elimina el espesor y tenemos que:

$$Q = \frac{A \Delta T}{r \Delta P} (\lambda \sigma_y) \quad (3.41)$$

Esta ecuación representa el flujo de calor por unidad de área, de la pared del tubo el cual se va a maximizar, ya que de esta sale el factor de selección:

$$M_1 = \lambda \sigma_y$$

Siguiendo con la secuencia de selección, tenemos otras cuatro consideraciones; es esencial elegir un material resistente a la corrosión, en este caso, a la que producen los iones cloruro, ya que el fluido es agua de mar; también se deben considerar el costo, la temperatura máxima de operación que debe ser adecuada, además de que los materiales deben tener suficiente ductilidad.

3.3.3.3 La selección

En este caso la selección se hizo con la ayuda previa de un software llamado **CES EduPack**, el cual ofrece una extensa base de datos de información tanto de materiales como de procesos, emplea también herramientas, como por ejemplo los Diagramas de Ashby, para proporcionar información sobre los materiales y procesos para cumplir con los requisitos de diseño.

El software en el nivel medio, sugirió que los materiales con valores mayores de M_1 , que podrían cumplir los requerimientos, son las aleaciones de cobre, pero esa es una suposición inicial, entonces se avanza en el nivel 3. En la primera fase de la selección se aplicaron límites de 150°C para la máxima temperatura de operación, un 30% de elongación y un costo del material menor a 4 dólares/ kg, y finalmente debe tener muy buena reputación en cuanto a su resistencia al agua de mar. En la segunda fase de la selección, el software muestra un Gráfico de Ashby que muestra solo las aleaciones de cobre (FIGURA 22-3), en donde se grafican valores de σ_y contra λ . Los materiales con valores altos de M_1 están enlistados en la TABLA 9-3.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

FIGURA 22-3 Gráfico de límite de elasticidad contra conductividad térmica, que muestra el Índice M1, utilizando la base de datos CES, Nivel 3.

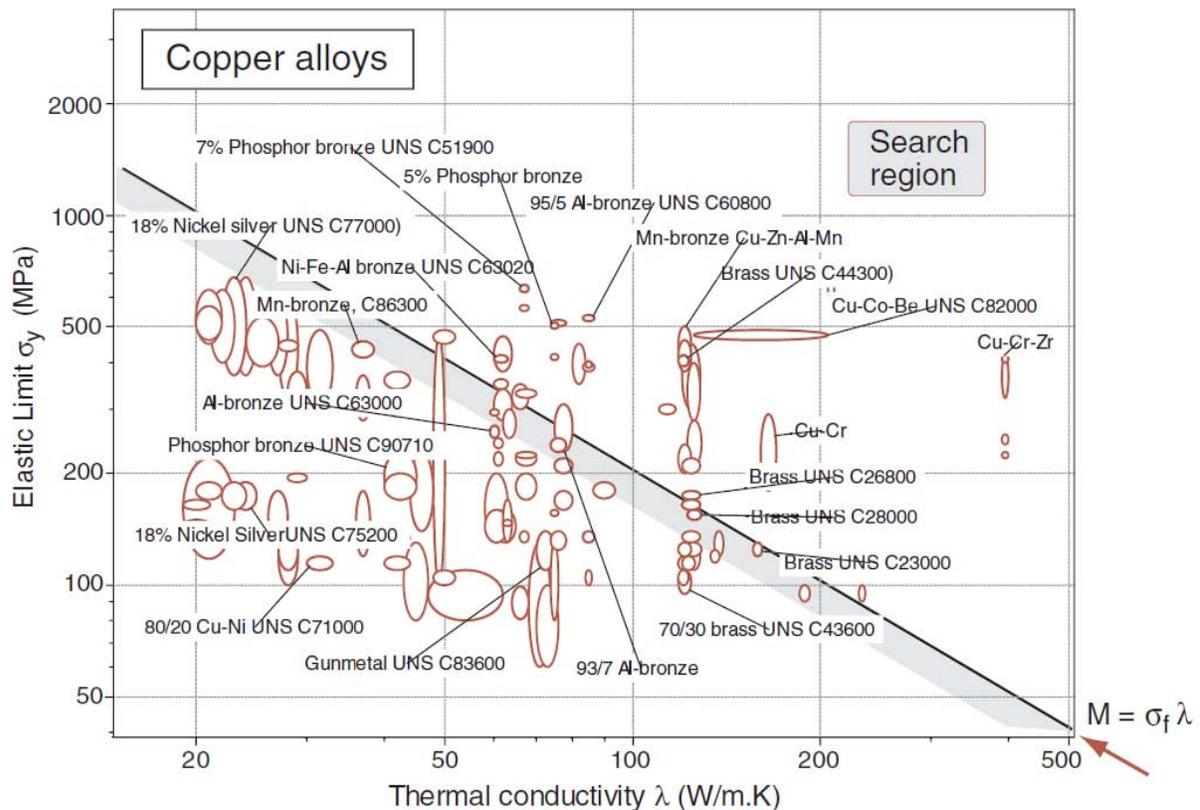


TABLA 9-3 especificaciones de los materiales para la construcción de intercambiadores de calor

MATERIAL	COMENTARIOS
Latón	Susceptibles a la des- galvanización
Aleación: Fosforo – Bronce	Es barato, pero no es tan resistente a la corrosión como la aleación siguiente.
Aleación: Aluminio – Bronce	Puede ser una opción económica y práctica
Aleación: Níquel – Hierro – Aluminio – Bronce	Es muy resistente a la corrosión, pero la desventaja es que es muy caro.

3.3.3.4 Datos anexos

Siempre que se trabaja con agua de mar en un intercambiador de calor o en algún otro equipo, van a existir las incrustaciones biológicas debido a los minerales que contiene el agua, creando así una capa dentro del tubo que genera una alta resistencia térmica e impidiendo que fluya el fluido correctamente. Una búsqueda de información de apoyo en este caso de estudio, mostró que algunos materiales son más resistentes a las incrustaciones biológicas que otros, por ejemplo, las aleaciones de Cobre – Níquel tienen buena reputación, ya que se ha demostrado que llegan a tener menos incrustaciones que en otros materiales.

Cuando en los requerimientos de diseño se tiene la restricción de reducir el peso al mínimo posible del intercambiador de calor, se repite el cálculo, y ahora se busca un valor máximo de Q/m , (donde m es la masa de los tubos) entonces el índice de selección ya no es M_1 , ahora es:

$$M_2 = \frac{\lambda \sigma_y^2}{\rho}$$

Donde ρ es la densidad del material con el que serán construidos los tubos, la resistencia ahora se eleva al cuadrado porque el peso depende del espesor de pared así como la densidad, y el espesor de pared varía en $1/\sigma_y$ (ec. 3.40). Del mismo modo, los intercambiadores de calor más baratos son aquellos que están hechos de materiales con el valor máximo de:

$$M_3 = \frac{\lambda \sigma_y^2}{C_m \rho}$$

Donde C_m es el costo por kg de material; en ambos casos, las aleaciones de aluminio tienen una buena reputación ya que son ligeros y baratos, las selecciones no se muestran pero se pueden consultar fácilmente en el software CES.



CAPÍTULO 4

SELECCIÓN DE MATERIALES PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADURA DE NAFTAS



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

4.1 PROCESOS PRINCIPALES DE LA REFINACIÓN DEL PETRÓLEO

El petróleo crudo no es directamente utilizable, salvo a veces como combustible. Para obtener sus diversos subproductos es necesario refinarlo, de donde resultan, los productos acabados y las materias químicas más diversas industrias. El petróleo crudo es una mezcla de diversas sustancias, las cuales tienen diferentes puntos de ebullición. Su separación se logra mediante una destilación fraccionada, esta función está destinada a las "refinerías".

En un inicio, el refino se practicaba directamente en los lugares de producción del petróleo, pero pronto se advirtió que era más económico transportar masivamente el crudo hasta las zonas de gran consumo y construir refinerías en los países industrializados, adaptando su concepción y su programa a las necesidades de cada país. El petróleo crudo es depositado en los tanques de almacenamiento, en donde permanece por varios días para sedimentar y separar el agua y gas que normalmente contiene. Posteriormente es mezclado con otros crudos sin agua y es bombeado hacia la planta para su refinación.

Una refinería comprende una central termoeléctrica, un parque de reservas para almacenamiento, bombas para expedición por tubería, un apeadero para vagones-cisterna, una estación para vehículos de carretera para la carga de camiones-cisterna. Es, pues, una fábrica compleja que funciona 24 horas diarias con equipos de técnicos que controlan por turno todos los datos. En la industria de transformación del petróleo, la destilación es un proceso fundamental, pues permite hacer una separación de los hidrocarburos aprovechando sus diferentes puntos de ebullición, que es la temperatura a la cual hierve una sustancia.

A continuación se describe brevemente el proceso de refinación por el cual tiene que someterse el crudo, para que sea útil en otras industrias.

4.1.1 Destilación atmosférica y al vacío

Este es el primer proceso que aparece en una refinería. El petróleo que se recibe por ductos desde las instalaciones de producción, se almacena en tanques cilíndricos de gran tamaño, de donde se bombea a las instalaciones de este proceso. El petróleo se calienta en equipos especiales y pasa a una columna de destilación que opera a presión atmosférica en la que, aprovechando la diferente volatilidad de los componentes, se logra una separación en diversas fracciones que incluyen gas de refinería, gas licuado de petróleo (LPG), nafta, queroseno, gasóleo, y un residuo que corresponde a los compuestos más pesados que no llegaron a evaporarse. En una segunda columna de destilación que opera a condiciones de vacío, se logra la vaporización adicional de un producto que se denomina gasóleo de vacío, y se utiliza como materia prima en otros procesos que forman parte de las refinerías para lograr la conversión de este producto pesado en otros ligeros de mayor valor. En este proceso, el petróleo se separa en

fracciones que después de procesamientos adicionales, darán origen a los productos principales que se venden en el mercado: el gas LP (comúnmente utilizado en las estufas domésticas), gasolina para los automóviles, turbosina para los aviones jet, diesel para los vehículos pesados y combustóleo para el calentamiento en las operaciones industriales. Pero estos productos tienen que cumplir con una serie de especificaciones que aseguren su comportamiento satisfactorio.

Originalmente, las especificaciones tuvieron un enfoque eminentemente técnico, como el número de octano de la gasolina, o el de cetano del diesel, o el punto de humo del queroseno, o la viscosidad del combustóleo; actualmente, las consideraciones de protección ambiental han incorporado muchos más requerimientos, limitándose, por ejemplo en la gasolina, el contenido del azufre (este compuesto al quemarse, produce dióxido de azufre que al pasar a la atmósfera se oxida, y con el agua da origen a la lluvia ácida), el benceno (que es un hidrocarburo que tiene carácter cancerígeno), las olefinas y los aromáticos (que son familias de hidrocarburos altamente reactivas en la atmósfera, promotoras de la formación de ozono); e inclusive se requiere la presencia de compuestos oxigenados que no ocurren naturalmente en el petróleo (estos compuestos favorecen la combustión completa en los motores automotrices).

4.1.2 Hidrotratamiento

En forma generalizada, en los combustibles de hoy día se reducen los compuestos de azufre, para evitar daños ambientales por lluvia ácida. Al proceso que se utiliza para este propósito y al cual se someten las diferentes fracciones que se obtienen en la destilación atmosférica y al vacío se le denomina Hidrotratamiento o Hidrodesulfuración, por estar basado en el uso de hidrógeno que reacciona con los compuestos de azufre presentes en los hidrocarburos para formar ácido sulfhídrico; en un procesamiento posterior, este compuesto se convierte en azufre elemental sólido que tiene una importante aplicación industrial. En el proceso ocurren reacciones adicionales que permiten complementar el tratamiento al eliminar también compuestos nitrogenados, convertir las olefinas en compuestos saturados y reducir el contenido de 19 aromáticos. El Hidrotratamiento requiere de altas presiones y temperaturas, y la conversión se realiza en un reactor químico con catalizador sólido constituido por γ -alúmina impregnada con molibdeno, níquel y cobalto.

4.1.3 Reformación de Nafta

Los cortes de nafta que se obtienen por destilación directa de cualquier tipo de petróleo presentan un número de octano muy bajo (45 a 55), y serían inaplicables para la gasolina que requieren los automóviles modernos (octanajes de 80 a 100). Es necesario entonces modificar la estructura química de los compuestos que integran las naftas, y para ello se utiliza el proceso de reformación en el que a condiciones de presión moderada y alta temperatura, se promueven reacciones catalíticas conducentes a la generación de compuestos de mayor octano como son los aromáticos y las isoparafinas. Simultáneamente en las reacciones se produce hidrógeno, que se utiliza en la misma refinería en los

procesos de Hidrotratamiento. Las reacciones son promovidas por catalizadores basados en γ -alúmina como soporte de metales activos (platino-renio o platino-estaño).

4.1.4 Isomerización

Los isómeros son moléculas que tienen el mismo tipo y cantidad de átomos, pero con diferente estructura en su conformación. En el caso particular de las parafinas, que son hidrocarburos constituidos por cadenas de átomos de carbono asociados a hidrógeno, se tienen para una misma fórmula general ($C_nH_{(2n+2)}$) una gran variedad de estructuras; cuando la cadena de átomos de carbono es lineal, el compuesto se denomina parafina normal, y si la cadena es ramificada, el compuesto es una isoparafina. En el grupo de parafinas que forman parte de las gasolinas, las isoparafinas tienen número de octano superior a las parafinas normales, de tal manera que para mejorar la calidad del producto se utiliza un proceso en el que las parafinas normales se convierten en isoparafinas a través de reacciones de isomerización. La práctica es separar por destilación la corriente de nafta en dos cortes, ligero y pesado; el ligero que corresponde a moléculas de cinco y seis átomos de carbono se alimenta al proceso de isomerización, mientras que el pesado, con moléculas de siete a once átomos de carbono, es la carga al proceso de reformación antes descrito. Las reacciones de isomerización son promovidas por catalizador de platino soportado en γ -alúmina.

4.1.5 Desintegración catalítica fluida (FCC)

Este es un proceso de conversión de hidrocarburos pesados presentes en los gasóleos de vacío, que permite producir gasolina, y en consecuencia aumentar el rendimiento de este combustible en las refinerías, disminuyendo la producción de residuales. El proceso FCC se basa en la descomposición o rompimiento de moléculas de alto peso molecular; esta reacción se promueve por un catalizador sólido con base en zeolitas en presentación pulverizada, que se incorpora a los hidrocarburos de carga en un reactor de tipo tubular con flujo ascendente. A la salida del reactor, el catalizador se separa de los productos de reacción a través de ciclones, y el coque que se genera y adhiere al mismo por las altas temperaturas de reacción, se quema en un equipo especial antes de recircularse al reactor; la energía liberada en el quemado sirve para dar parte del calentamiento de la corriente de carga. En el proceso se producen, además de gasolina, productos más ligeros como gas seco (metano y etano) y fracciones de 3 a 5 átomos de carbono, de carácter olefínico, que se utilizan como materia prima en la producción de éteres y gasolina alquilada en procesos subsecuentes de la refinería. También se genera un producto pesado rico en aromáticos, conocido como aceite cíclico ligero, que se procesa en las hidrotratadoras de la fracción diesel, y otro denominado aceite decantado que se incorpora al combustóleo

4.1.6 Alquilación

El proceso de alquilación es una síntesis química por medio de la cual se unen olefinas ligeras (propileno y/o butenos producidos en el proceso FCC antes descrito) con isobutano (proveniente de la fracción de gas LP recuperada en la destilación atmosférica del petróleo y complementada con corrientes equivalentes del procesamiento del gas natural). Al resultado de la síntesis se le denomina alquilado o gasolina alquilada, producto constituido por componentes isoparafínicos cuyos puntos de ebullición se ubican dentro del intervalo de la gasolina. En sus inicios el proceso tuvo como objetivo obtener un combustible aplicable a aviones de turbohélice, y aumentar el rendimiento de gasolina a partir de las diversas corrientes ligeras producidas en la refinería, pero actualmente su objetivo es producir una fracción cuyas características tanto técnicas (alto octano) como ambientales (bajas presión de vapor y reactividad fotoquímica) la hacen hoy en día, uno de los componentes más importantes de la gasolina reformulada. La alquilación es un proceso catalítico que requiere de un catalizador de naturaleza ácida fuerte, y se utilizan para este propósito ya sea ácido fluorhídrico o ácido sulfúrico.

4.1.7 Endulzamiento y recuperación de azufre

La eliminación del ácido sulfhídrico (H_2S) que acompaña al gas que se separa en la destilación atmosférica, y que está sobre todo presente en el gas resultante de los procesos de Hidrotratamiento, es indispensable para evitar emisiones de azufre durante el quemado de dicho producto como combustible de la propia refinería. La separación del H_2S de los gases se realiza en un proceso que se denomina de endulzamiento, basado en la absorción en soluciones acuosas de aminas; la solución rica en sulfhídrico se regenera por agotamiento con vapor para recircularse a la absorción, y el H_2S separado se procesa en unidades donde primeramente se realiza una combustión parcial del mismo para generar una proporción adecuada de H_2S y SO_2 , que enseguida se hacen reaccionar catalíticamente para generar azufre elemental.

Cada fracción o corte de la destilación atmosférica y la destilación a vacío se somete a un Hidrotratamiento o Hidrodesulfuración, es por eso que en la refinación del petróleo hay múltiples procesos que podemos tomar como ejemplo para la selección de materiales. Para fines prácticos tomaremos como ejemplo la Hidrodesulfuración de Naftas primarias, es decir, las naftas o gasolinas que se obtienen al destilar el crudo de petróleo a presión atmosférica, estas contienen altos niveles de azufre y la finalidad de este proceso es obtener “gasolinas dulces” con bajos niveles de azufre, para su posterior reformación.

4.2 HIDRODESULFURACION

La Hidrodesulfuración es un tratamiento con hidrógeno que se aplica a crudos pesados, livianos y cortes de destilación en presencia de catalizadores. Los objetivos son mejorar la calidad del producto en cuanto a olor, color, estabilidad, entre otros. Durante el proceso se eliminan compuestos sulfurados en forma de sulfuro de hidrógeno, nitrógeno, diolefinas y otros. Durante este proceso se depositan sobre los catalizadores carbón y metales que no han sido totalmente extraídos en procesos previos; que compiten con los compuestos de azufre por los sitios activos del catalizador disminuyendo su actividad durante el tratamiento. Esto obliga a combinarlos o regenerarlos constantemente para restablecer su actividad.

El nivel de Hidrodesulfuración depende de varios factores entre ellos la naturaleza de la fracción de petróleo a tratar (composición y tipos de compuestos de azufre presentes), de la selectividad y actividad del tipo de catalizador utilizado (concentración de sitios activos, propiedades del soporte, etc.), de las condiciones de reacción (presión, temperatura, relación hidrocarburo/hidrógeno, etc.) y del diseño del proceso. Es importante señalar que el H_2S debe ser continuamente removido porque es un inhibidor de las reacciones de HDS y envenena el catalizador.

El catalizador es una sustancia que acelera una reacción formando compuestos intermedios que facilitan que la reacción ocurra y que desaparezca al finalizar la reacción de tal manera que catalizador no se gaste a lo largo de ésta. Un ejemplo de catalizadores puede ser alúmina.

El principal propósito del proceso de Hidrodesulfuración es la eliminación del azufre contenido en la corriente de alimentación a la Unidad correspondiente, bien porque lo exigen las especificaciones de los productos comerciales, bien para preservar la integridad de catalizadores situados en unidades posteriores, como es el caso de las naftas tratadas en el Reformado Catalítico. Los procesos de Hidrodesulfuración usan catalizadores en presencia de cantidades sustanciales de hidrógeno, bajo altas presiones y temperaturas, con el fin de promover la reacción del hidrógeno con las impurezas de la carga. En el proceso de Hidrodesulfuración, el hidrocarburo es mezclado con hidrógeno y pasada por un catalizador de Hidrodesulfuración bajo adecuadas condiciones de presión y temperatura. En un proceso así, el objetivo es el de romper los enlaces de carbono-azufre presentes en el material a tratar y saturar

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

con hidrógeno las valencias libres resultantes o los dobles enlaces olefínicos formados en tal paso de desdoblamiento. En este proceso, el objetivo es convertir tanto como sea posible del contenido de azufre orgánico en hidrocarburos.

Se debe reducir el contenido de Azufre de las fracciones de del crudo, por las siguientes razones:

- ✓ Debido a que los catalizadores del reformado catalítico son altamente sensibles al azufre su contenido debe estar por debajo de 1ppm.
- ✓ Los controles estándar de contaminación de aire requieren de una remoción del 80% o más del contenido de azufre presente en los combustibles.
- ✓ La mayoría del azufre presente en un Gasóleo alimentado aun Reformado catalítico, puede ser depositado en forma de Coque el cual puede convertirse a SO_2 en el regenerador y puede ser emitido a la atmosfera en los gases de combustión.
- ✓ La reducción del contenido de azufre disminuye la corrosión durante el refinado y el manejo y mejora el olor del producto final.

Las reacciones que se efectúan en los procesos de Hidrodesulfuración son generalmente exotérmicas; sin embargo solo la saturación de olefinas, la descomposición de compuestos de nitrógeno, así como el rompimiento de parafinas hacia productos más ligeros como propano o butano.

4.2.2 Descripción General Del Proceso De Hidrodesulfuración De Naftas

4.2.2.1 Alimentación

La nafta de destilación primaria es introducida desde el límite de batería a un tanque de alimentación FA-01 a 25 Kg/cm² y 170 °C, en donde por una pierna de extracción se elimina el agua que pudiera ser arrastrada junto con la corriente de carga. Posteriormente la carga es succionada por la bomba GA-01 a una presión de descarga de 40 Kg/cm² y mezclada con una corriente de hidrogeno, para luego ser enviada a un intercambiador de calor EA-01 que intercambia calor con el efluente del reactor cediendo carga térmica para incrementar la temperatura de la carga de 40 hasta 260 °C con lo cual vaporiza parcialmente. La corriente de hidrogeno mezclada con la alimentación está a 50°C y 30Kg/cm² de presión, esta corriente está formada por 2 corrientes de hidrogeno: una de recirculación y otra de hidrogeno fresco de reposición procedente de un compresor GB-02 a 65 °C y 40 Kg/cm².

La carga proveniente del intercambiador vaporizada entre un 58 y un 75%, que posteriormente entra a un calentador a fuego directo BA-01 donde recibe la carga térmica necesaria para poder reaccionar saliendo a una presión de 27 Kg/cm² y 320°C

4.2.2.2 Reacción

La mezcla proveniente del calentador BA-01, entra al reactor DC-01 donde se lleva a cabo la reacción de Hidrotratamiento a temperaturas de aproximadamente 340 °C y 171.075 kg/cm². A continuación se muestran las reacciones típicas del proceso de Hidrodesulfuración (HDS):

1. Eliminación de Azufre

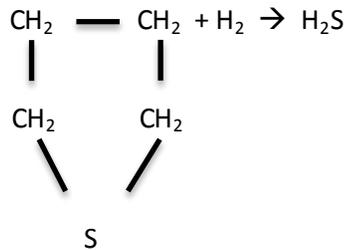


3. Sulfuros



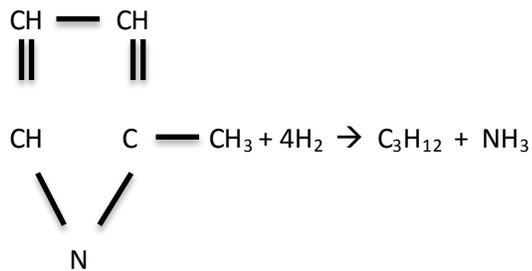
IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

b) Cíclicos



2. Eliminación de Nitrógeno: En productos del petróleo, el nitrógeno se encuentra junto con el azufre. Esencialmente se encuentra en compuestos heterocíclicos siendo por ello más difícil la Hidrodenitrogenación que la Hidrodesulfuración

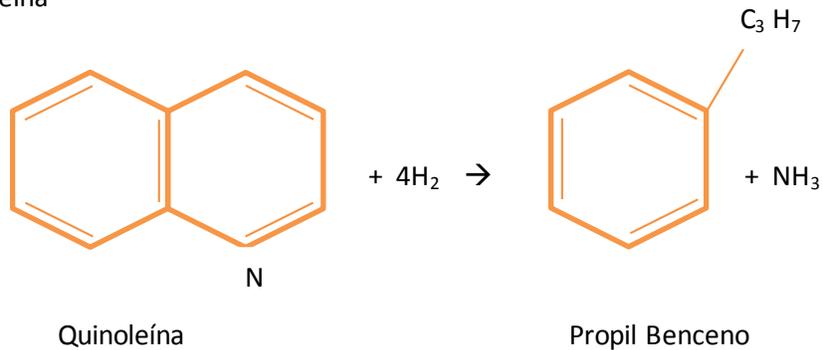
1. Pirrol

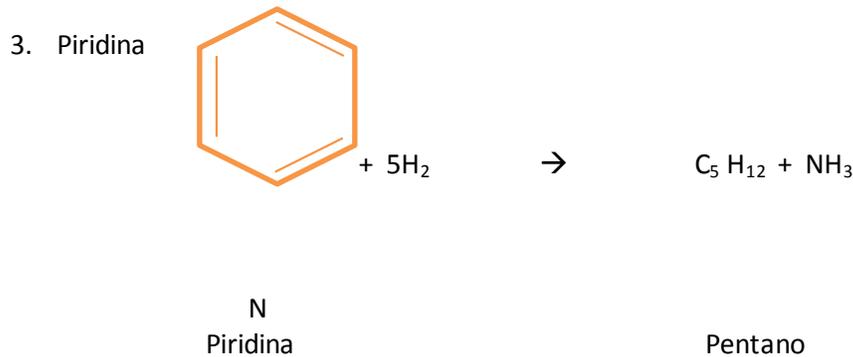


Pirrol

Pentano

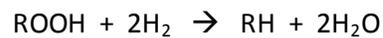
2. Quinoleína





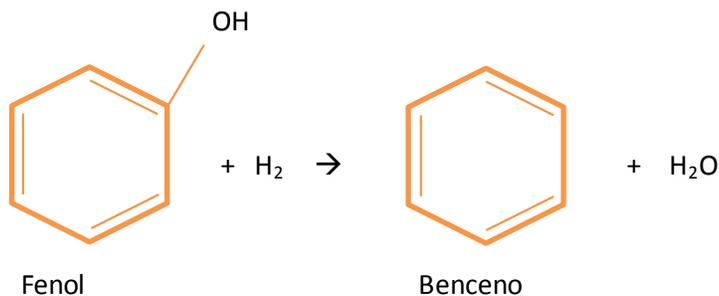
3. Eliminación de oxígeno: El oxígeno se encuentra disuelto o contenido en compuestos heterocíclicos de azufre o nitrógeno o en forma de peróxidos o compuestos fenólicos. Estos compuestos se transforman en agua e hidrocarburos.

1. Peróxidos



Peróxido HC

2. Fenoles



El efluente del reactor DC-01 (Agua, Ácido sulfhídrico y mezcla de hidrocarburos desulfurados) sale a 570 °C y 171.075 Kg/cm² de presión y para posteriormente ser enviado al intercambiador EA-01 y ceder carga térmica, después se envía a un aerenfriador o soloaire EC-01 para alcanzar una temperatura mínima de 135 °C, posteriormente llega al separador de alta presión EA-02. De este tanque se envía la fase líquida al tanque de baja presión FA-03 (los tanques de alta y baja presión FA-02 y FA-03 cuentan con una pierna de extracción donde se separa el agua que es arrastrada por la corriente y esta se manda a una corriente de agua amarga) y después es succionado por una bomba GA-02. La descarga de la bomba es enviada a un intercambiador EA-03 donde recibe la carga térmica que es cedida de los fondos de la torre.

4.2.2.3 Estabilización y Fraccionamiento

La fase líquida proveniente del tanque de alta presión FA-02 se encuentra a una temperatura de 132°C y una presión de 20 Kg/cm², es enviada al tanque separador de baja presión FA-03, el cual opera a 95°C y 10.5 Kg/cm², que alimenta a la torre desbutanizadora DA-01.

Los hidrocarburos líquidos provenientes de los separadores se alimentan a la torre desbutanizadora DA-01 la cual opera a 160 °C y 15 Kg/cm² de presión, en el domo y a una temperatura de 245 °C y 20 Kg/cm² en el fondo.

Los vapores del domo de la torre DA-01 son enviados a un Aero enfriador EC-03 que opera a 60°C y 20 kg/m² y posteriormente condensados, seguidamente son enviados al condensador del domo EA-04, recibiendo así en el acumulador de reflujo FA-04, a una temperatura de 55 °C y una presión de 20 Kg/cm². La fase líquida del acumulador se divide en dos corrientes, una se utiliza como reflujo de la torre para control de temperatura en el domo a través de la bomba de reflujo GA-04. La otra parte se envía como producto gas LP a posterior tratamiento.

El tanque acumulador de reflujo FA-04 tiene una pierna para recuperar agua amarga, separada de la nafta desulfurada. El drenado de agua de esta línea de purga se realiza de forma manual y se envía intermitentemente al cabezal de aguas amargas.

El producto de los fondos de la torre Desbutanizadora (Nafta desulfurada), se envía otra sección. Una parte líquida de los fondos de la torre Desbutanizadora DA-01, se recircula mediante la bomba GA-03, una fracción de la recirculación es enviada como producto al Aero enfriador EC-02 que opera a 60°C y 10 kg/m², para así obtener gasolina como producto principal, la otra fracción de recirculación recupera su carga térmica en el calentador de fuego directo BA-02, hasta 350°C y 22 kg/m² antes de entrar a la torre.

4.3 INGENIERIA BASICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA

4.3.1. Bases de diseño

4.3.1.1 Generalidades

Como resultado de un estudio de las gasolinas producidas en las refinerías, se encontró que estas tienen un alto contenido de azufre, lo cual ocasiona daños severos al medio ambiente, la normatividad indica que la disposición está sujeta a la disponibilidad de gasolina con un contenido de azufre de 30 partes por millón promedio y 80 partes por millón máximo (30/80 ppm). En la TABLA 1-4 se muestran las normas de calidad del aire existentes en México. Es importante señalar que además de los valores de concentración establecidos se debe considerar el tiempo de exposición y la frecuencia máxima aceptable.

TABLA 1-4 Valores límite de la calidad del aire

CONTAMINANTE	VALORES LIMITE		
	EXPOSICIONES AGUDA		EXPOSICION CRONICA
	CONCENTRACION/ TIEMPO PROMEDIO	FRECUENCIA MAXIMA ACEPTABLE	PARA PROTEGER LA SALUD DE LA POBLACION SUCEPTIBLE
O ₃	0.11 ppm (1hr)	1 vez en 3 años	-----
CO	11 ppm (8 horas)	1 vez al año	-----
SO ₂	0.13 ppm (24 horas)	1 vez al año	0.03 ppm*
NO ₂	0.21 ppm (1 horas)	1 vez al año	-----
PST	260µg/m ³ (24 horas)	1 vez al año	75 µg/m ³ *
PM ₁₀	150µg/m ³ (24 horas)	1 vez al año	50 µg/m ³ *
Pb	-----	1 vez al año	1.5 µg/m ³ **

* Promedio aritmético anual

** Promedio aritmético en tres meses

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Atendiendo a esto, la industria petrolera está trabajando en la obtención de productos con mejor calidad y dentro de las normas marcadas. Una de las ramas a la cual se le ha puesto sin duda mayor atención es a la producción de combustibles automotrices (gasolina), las cuales debido a su consumo en grandes cantidades son una fuente importante de contaminación. Por tanto, es necesario contar con gasolina cada vez más limpia que reemplace a la gasolina actual. Enfocándose a tratar de eliminar la mayor cantidad de azufre contenido en la gasolina sin afectar la calidad del producto (índice de octano).

Por consiguiente se desarrolla un esquema para el diseño del proceso e instalación de la planta Hidrodesulfuradora de gasóleos.

4.3.1.1.1 Función de la planta

Para reducir el contenido de azufre en la gasolina, se cuenta con plantas o procesos de Hidrodesulfuración, el objetivo esencial de estos procesos es eliminar el azufre contenido en los productos de destilación de petróleo, la reacción de Hidrodesulfuración se lleva a cabo en presencia de un catalizador compuesto generalmente de níquel, cobalto y molibdeno soportados en esferas de alúmina en presencia de hidrógeno, con lo que se convierte los compuestos de azufre en H₂S que posteriormente es separado. Los productos obtenidos están relativamente libres de azufre y de inmejorable calidad, en el caso de las gasolinas obtenidas, resultan apropiados para utilizarse como cargas a los procesos de reformación catalítica, para la obtención de gasolina de alto octano.

4.3.1.1.2 Tipo de Proceso

La remoción de compuestos de azufre es comúnmente realizado mediante Hidrodesulfuración (HDS), un proceso catalítico operado a temperaturas (300-340°C) y presiones elevadas (20-100 atm de presión, mediante una corriente de H₂), mediante el uso de catalizadores de Co-Mo/Al₂O₃ o Ni-Mo/ Al₂O₃. Los fenómenos primarios implicados en una Hidrodesulfuración convencional heterogénea son resumidos en los siguientes puntos, pero la secuencia de esos fenómenos no necesariamente puede ocurrir en el orden mostrado (Whitehurst, D.D., 1998):

1. Adsorción (coordinación) del compuesto de azufre en el sitio activo.
2. Hidrogenación de enlaces insaturados C=C.
3. Ruptura de dos enlaces C-S (secuencial o simultáneo).
4. Adición del Hidrógeno en ambos enlaces rotos de C-S.
5. Liberación del producto hidrocarburo del sitio catalítico.
6. Liberación del H₂S del sitio activo.

4.3.1.2 Capacidad, Rendimiento y Flexibilidad

4.3.1.2.1 Capacidad y Rendimiento

En esta tesis se tomarán de referencia datos de la refinería “Francisco I. Madero” ubicada en el estado de Tamaulipas, de su proceso de Hidrodesulfuración.

Esta refinería cuenta actualmente con una capacidad de refinación de 40,000 barriles por día, Con el objeto de contribuir a mantener las condiciones favorables en nuestro entorno, la Refinería Francisco I. Madero” ha implementado todo un sistema de protección ambiental, que va desde la construcción de plantas tratadoras de fluidos, hasta un programa de cultura ecológica por parte de los trabajadores.

4.3.1.2.2 Factor de servicio

La unidad tendrá la capacidad de operar 350 días al año en forma continua, se estima una vida útil de 20 años de servicio.

4.3.1.2.3 Flexibilidad

La planta está diseñada para realizar paros ordenados y seguros en condiciones anormales. La planta no debe seguir operando bajo las siguientes condiciones:

- ✓ A falla de electricidad
- ✓ A falla de vapor
- ✓ A falla de aire de instrumentos
- ✓ A falla de agua de enfriamiento
- ✓ A falla de carga
- ✓ A falla de hidrogeno
- ✓ A falla de recirculación de amina

La planta está diseñada para que, en caso de cualquier falla, tenga la facilidad de efectuar un paro ordenado y poder desviar las corrientes de productos fuera de especificación del tanque de carga. Todas estas condiciones son confirmadas mediante los sistemas de control u protecciones integrados en el sistema de protección de la planta, que permitirá conducir la operación a una condición segura.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

4.3.1.3 Especificación de la alimentación

NAFTA PRIMARIA			
COMPONENTE	% MOL	COMPONENTE	% MOL
Etano	0.209	n-Pentano	15.921
Propano	1.619	i-Hexano	7.872
i-Butano	0.898	n-Hexano	9.646
1-Butano	0.027	Benceno	1.035
i-Pentano	10.115	2,4-dm-Pentano	0.197
Ciclohexano	1.420	2,3-dm-Pentano	0.763
2-m-Hexano	1.710	n-Hexano	6.413
2,2-dm-Pentano	0.053	2,2,3-tm-Butano	0.015
n-Butano	4.586	3,3-dm-Pentano	0.036
Especificaciones			
Flujo (Kgmol/h)		1891.1591	
Flujo (Kg/h)		179,509.00	
Azufre (ppm)		300 máximo	
Peso molecular		94.9220	
Densidad (°API)		71.1390	
BPD		38,841.500	

4.3.1.4 Especificación del Hidrogeno procedente del límite de batería

Componente	%MOL
Hidrogeno	93.8090
H ₂ S	0.0000
Metano	1.976
Etano	1.906
Propano	1.906
i-Butano	0.204
1-Butano	0.0000
n-Butano	0.224
i-Pentano	0.147
n-Pentano	0.095
i-Hexano	0.231
Total	100
Peso molecular	4.088
° API	43.637

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

4.3.1.5 Especificación de los productos

Nafta desulfurada	
Azufre, ppm (como H₂S)	5 como máximo
Recuperación mínima en la torre agotadora	
Propano	42%
i-Butano	98%
n-Butano	98%
Gas amargo	
Propano (%mol)	50
i-Butano (%mol)	0.5
n-Butano (%mol)	0.3

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

4.3.1.6 Condiciones de la alimentación y del producto en los límites de batería

Producto	PRESION, kg/cm ² , G			TEMPERATURA °C		
	Mínima	normal	Máxima	Mínima	normal	Máxima
ENTRADAS						
Nafta	-----	3.50	-----	-----	38	40
H₂	-----	65.1	70.0	-----	38	-----
MDEA pobre	-----	16.0	20.0	-----	46	-----
SALIDAS						
Nafta desulfurada	-----	4.0	-----	-----	108	-----
Gas de purga	-----	8.0	-----	-----	29	-----
Agua amarga	-----	4.0	-----	-----	38	-----
Gas combustible	-----	20.0	-----	-----	290	-----
MDEA rica	-----	5.0	-----	-----	46	-----

4.3.1.7 Eliminación de desechos

Se contara con los siguientes tipos de drenajes:

ACEITOSO: Este drenaje maneja la mezcla de hidrocarburos y agua que se colecte en el área de proceso para ser enviada al sistema existente de tratamiento de afluente, de donde saldrá cumpliendo con la NOM-003-ECOL-1996.

PLUVIAL: Este drenaje, separado del aceitoso, fue diseñado con base a la precipitación pluvial del lugar e integrado al sistema general de la Refinería.

QUIMICO: Este fue diseñado para el manejo de aguas amargas obtenidas a partir de los tanques acumuladores de las plantas de proceso principalmente, enviándose a la misma planta de Tratamiento de aguas amargas para su procesamiento y disposición final.

SANITARIO: Se contara con fosa séptica dentro del límite de batería para el manejo de los desechos sanitarios; el agua infiltrada de ella se enviara al drenaje pluvial.

Para los efluentes gaseosos se considerara lo siguiente:

- ✓ La altura mínima de la chimenea es de 30.5 m sobre el NPT.
- ✓ Las chimeneas deberán contar con tomas de muestras.
- ✓ El contenido de SO₂ en el aire será de 0.2 ppm máximo a NPT.

Para la concentración permisible, a nivel de piso, de los óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), partículas, etc. Se ajustara a lo establecido por la secretaria del trabajo y previsión social, NOM-010-STPS-1994. Por otra parte, las emisiones por fuentes fijas se apegaran a lo indicado por la SEMARNAP.

4.3.1.8 Instalaciones requeridas de almacenamiento

No se requiere de almacenamiento para la nafta desulfurada producto de esta planta, ya que esta nafta constituye la carga a la planta fraccionadora (torre deshexanizadora); una vez ya deshexanizada, esta nafta se envía como carga a la planta reformadora, para lo cual se adicionaran dos tanques de techo flotante con capacidad de 80 000 barriles cada uno para el almacenamiento de naftas deshexanizadas.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

4.3.1.9 Servicios auxiliares

4.3.1.9.1 Vapor

CONCEPTO	VAPOR DE ALTA PRESION	VAPOR DE MEDIA PRESION	VAPOR DE BAJA PRESION
PRESION kg/cm ²	40/41/42	18.5/19.0/19.5	--/3.5/--
TEMPERATURA °C	375/385/400	270/275/290	--/148/--
CAPACIDAD	SOBRECALENTADO	SOBRECALENTADO	SATURADO
DISPONIBILIDAD	LA REQUERIDA	LA REQUERIDA	LA REQUERIDA

4.3.1.9.2 Condensado (de alta presión)

CONCEPTO	CONDENSADO A ALTA PRESION	CONDENSADO A MEDIA PRESION	CONDENSADO A BAJA PRESION
Presión kg/cm ²	35	-----	1.0
Temperatura °C	59	-----	50
Capacidad	-----	-----	-----
Disponibilidad	La requerida	La requerida	La requerida
Condiciones al límite de batería			

4.3.1.9.3 Agua

AGUA DE ENFRIAMIENTO	
Fuente de suministro	Por PEMEX
Sistema de enfriamiento	Torre de enfriamiento DE-103
Condiciones de suministro	Límites de batería
Presión entrada kg/cm ² man.	3.5

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Temperatura entrada °C	32
Presión de retorno kg/cm² man.	2.1
Temperatura de retorno °C	42
Disponibilidad	La requerida

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

AGUA PARA SERVICIOS Y USOS SANITARIOS	
Fuente de suministro	Por PEMEX
Condiciones de suministro	Límites de batería
Presión kg/cm² man.	6.0
Temperatura °C	Ambiente
Disponibilidad	La requerida
AGUA CONTRA INCENDIO	
Presión kg/cm² man.	7.0
Temperatura °C	Ambiente
Disponibilidad	La requerida

Agua potable: la forma de suministro será en garrafones.

4.3.1.9.4 Aire de instrumentos

Fuente de suministro.- Se suministra un nuevo paquete para cubrir las necesidades.

AIRE DE INSTRUMENTOS	
Presión en kg/cm² man.	7.0
Temperatura °C	Ambiente
Temperatura de rocío	-10°C máximo
	- 20°C normal
	-32°C mínima
Impurezas	Ninguna

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

AIRE DE INSTRUMENTOS	
Presión en kg/cm ² man	7.0
Fuente de suministro	PEMEX en L.B

4.3.1.9.5 Combustible

GASEOSOS	
Fuente de suministro	Red General de la Refinería
Naturaleza	Gas de Refinería
Peso molecular	19.04
Densidad relativa	0.657
Poder calorífico neto	8.485 kcal/m ³
Poder calorífico total	9.370 kcal/m ³

CONDICIONES EN LIMITE DE BATERÍA	
Presión en kg/cm ² man	4.5
Temperatura °C	25
Disponibilidad	La requerida

Nota: No se requiere el uso de combustibles líquidos.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

4.3.1.9.6 Inertes

Para arranque, paros y regeneración del catalizador, se requiere nitrógeno.

INERTES	
Suministro	Tanque termo
Presión en kg/cm ² man	10
Temperatura °C	38
Disponibilidad	La requerida

4.3.1.9.7 Energía eléctrica

Fuente de suministro.- Subestación No. 25, alimentada directamente de la Planta de Fuerza No. 1 a 13,800 volts.

CARACTERÍSTICAS	
Interrupciones	Ninguna: La Refinería cuenta con conexión a la C.F.E.
Tensión	4160/480/220/127
Numero de fase	3/3/3/1
Frecuencia	60 ciclos
Factor de potencia	0.85
Acometida	Subterránea

4.3.1.10 Sistemas de Seguridad

4.3.1.10.1 Sistema contra incendio

La red de agua contra incendio se integrara a la red existente de acuerdo a las normas del IMP, PEMEX, NFPA y NFC, formando un circuito por medio de tubería enterrada.

Constará principalmente de hidrantes montados sobre monitores tipo corazón con capacidad de 500 gal/min cada uno, gabinetes para hidrante exterior con manguera de 2 ½ “de diámetro y 30 m de longitud. Se contara con extintores portátiles de 9.1 kg de polvo químico para el área de proceso y extintores de CO2 de 9.1 kg para el cuarto satélite.

Dentro de las instalaciones se tendrán estaciones manuales de alarma y alarma sonora tipos sirena a prueba de explosión; así como una estación manual de alarma tipo jalón para usos en interiores.

El sistema de aspersión está integrado a la red de agua contra incendio existente. El diseño del sistema de diluvio cumple con NFPA, NFC y normas de PEMEX.

4.3.1.10.2 Señales de seguridad

Dentro de las instalaciones de la refinería se cuanta con señales de dos tipos:

- ✓ Restrictivas
- ✓ Preventivas

Estas se encuentran localizadas dentro de todas las instalaciones de la refinería.

Sus especificaciones y tamaños son de acuerdo a lo indicado en la norma oficial mexicana:

- ✓ NOM-026-STPS-1998, colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.
- ✓ NOM-027-STPS-1993, señales y avisos de seguridad e higiene
- ✓ Normas de PEMEX

4.3.1.11 Condiciones climatológicas

4.3.1.11.1 Tipo de clima

El clima predominante en la zona pertenece al tipo Templado Subhúmedo (Cw), en un cociente P/T 37.6. Las lluvias se presentan en verano, registrándose una precipitación media de 191.9 mm en el mes más húmedo.

El porcentaje de lluvia invernal es inferior al 5%, es decir, del orden de 2.3%. Su oscilación térmica es entre 14.3° y 21.4° C

4.3.1.11.1.1 Temperaturas promedio

La temperatura promedio anual es de 18.4°C, presentando valores mensuales que fluctúan entre 14.3° C y 21.4 °C, considerando 58 años de registro (TABLA 2-4).

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

TABLA 2-4. Temperaturas promedio registradas durante todo el año (°C)

ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	AÑO
14.3	15.8	18.4	20.2	21.4	21.3	20.7	20.6	20.0	18.0	15.9	14.5	18.4
14.3	15.8	18.4	20.1	21.5	21.3	20.8	20.7	20.1	18.0	15.8	14.5	18.4

4.3.1.11.1.3 Precipitación promedio anual

La precipitación total anual asciende a 361.7 mm, con la distribución que se indica en la tabla 1.10.3 a, para 26 años de registro.

ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	AÑO
8.8	3.4	8.5	23.1	45.8	63.6	49.1	47.6	64.3	30.6	9.2	7.7	361.7
10.2	0.4	4.1	7.4	49.4	182.0	191.9	166.3	138.8	62.0	7.1	4.5	824.1

4.3.1.11.1.4 Intemperismos Severos

Los principales fenómenos especiales en la zona de interés se indican en la TABLA 3-4

TABLA 3-4 Intemperismos en la zona de interés

INTEMPERISMO	No. DIAS
NO. DE INTEMPERISMO CON LLUVIA APRECIABLE	61.3
NO. DE INTEMPERISMO CON LLUVIA INAPRECIABLE	71.52
NO. DE DIAS DESPEJADOS	224.61
NO. DE DIAS MEDIO NUBLADOS	56.66
NO. DE DIAS NUBLADOS/CERRADO	83.89
NO. DE DIAS CON ROCIO	70.57

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

NO. DE DIAS CON GRANIZO	0.78
NO. DE DIAS CON HELADA	17.88
NO. DE DIAS CON TORMENTA ELECTRICA	2.24
NO. DE DIAS CON NIEBLA	40.61
NO. DE DIAS CON NEVADA	0.11

4.3.1.12 Localización de la planta

La refinería está ubicada en Tamaulipas en Av. Álvaro Obregón No. 3020, Ciudad Madero. C.P. 89530; sus coordenadas son:

22° 16' Latitud norte

97° 48' 24'' Longitud oeste

La FIGURA 2-4 muestra la ubicación del complejo industrial de . La orografía de la zona de estudio es principalmente "sempiñana" con algunos llanos y colinas al sur y suroeste de la región, como se muestra en la misma figura.



FIGURA 2-4. Localización geográfica del complejo industrial de Tamaulipas.

4.3.1.13 Bases de diseño eléctrico

Para los equipos accionados con motores eléctricos de corriente alterna, cuyo arrancador sea con variador de frecuencia, tendrán un aislamiento reforzado.

4.3.1.13.1 Iluminación e instrumentos

En general todas las luminarias, lámparas, balastos y accesorios tendrán alto rendimiento, alta eficiencia de la luminaria, alto factor de potencia, con el propósito de ahorro de energía.

El alumbrado de emergencia y las luces de obstrucción serán alimentadas por medio de un sistema de energía interrumpible (UPS).

Los sistemas de alumbrado cumplirán con lo indicado en la sección 8.12 de la norma NRF-048-PEMEX-2003.

SERVICIO	TIPO DE ALUMBRADO	TENSION
Iluminación en interiores	Fluorescente, lámparas ahorradoras de energía, con balastro eléctrico	127 Volts, 1 fase, 60 Hz
Iluminación en exteriores de las plantas de proceso	Vapor de sodio alta presión, balastro integral de alto factor de potencia	220 Volts, 3 fases, 60 Hz
Instrumentos de control		127 Volts, 1 fase, 60 Hz 24 Volts Corriente Directa

4.3.1.13.2 Alimentación de energía eléctrica de emergencia

Para la alimentación de instrumentos, cargas críticas, sistemas de “Shut Down”, sistema de gas y contraincendios, en general todos los sistemas de seguridad de la planta, alumbrado de emergencia, luces de navegación; serán suministradas por un Sistema de Energía Interrumpible (UPS) con capacidad suficiente para manejar energizado el sistema durante 30 minutos a falla total de energía.

4.3.1.13.3 Código para la clasificación de áreas

La clasificación de áreas será de acuerdo a API-RP-500-A, NRF-048-PEMEX-2007, NOM-001-SEDE-2003, por lo que se tienen idénticas las zonas de alto riesgo, para que en caso de algún incidente estas no actúen como fuente de ignición y evitando incendios.

4.3.1.13.4 Resistividad eléctrica del terreno

El diseño cumple con los requisitos señalados en la norma NRF.048-PEMEX-2007. (ver TABLA 4-4 :características de motores eléctricos)

El arreglo del sistema eléctrico tendrá línea acometida redundante en 13800 V, los tableros de distribución y centros de control que se requieran en 4160 V, 480 V, y 220.127 V tendrán doble acometida e interruptor de enlace.

La distribución eléctrica en la planta será subterránea por ducto eléctrico; no se acepta distribución por charolas en la planta, se acepta la instalación de charolas dentro del cuarto de cables en la subestación.

Tipo de conductores: para circuitos de fuerza, alumbrado contactos en tensiones hasta de 600 V, instaladas en tuberías conduit o en charolas, se debe usar cable mono conductor, conductor de cobre, aislamiento EP, tipo RHH/RHW, 90/70°C, o multi conductor tipo TC, RHH/RHW, 90°C. Para media tensión 4160 V cable mono polar, conductor de cobre aislamiento de XLP, temperatura de operación 90 °C, nivel de aislamiento 133%.

El proyecto eléctrico final será revisado y certificado por una unidad de verificación de instalaciones eléctricas (UVIE).

TABLA 4-4 Características de motores eléctricos

POTENCIA DEL MOTOR	TENSION DE DISEÑO MOTOR (VOLTS)	TENSION DEL SISTEMA (VOLTS)	FRECUENCIA (HERTZ)	FASES
Menor de 0.746 KW (1 HP)	115, 220	120, 220	60	1 Ó 3
Actuadores de válvulas (todas las potencias)	220, 460	220,480	60	3
De 0.746 KW (1 HP) hasta 130.5 KW (175 HP)	460	480	60	3
De 149.2 KW (200 Hp) hasta 1.492 KW (2000 HP)	4000	4160	60	3
Mayores de 1.492 KW (2000 HP)	13200	1380	60	3

NOTA: en áreas de proceso o en otras instalaciones pueden requerirse motores a un nivel de 460 volts.

4.3.1.14 Bases de diseño de tuberías

4.3.1.14.1 Sistemas de drenajes

El licenciador de acuerdo con los estudios técnicos previos que se han desarrollado debe evaluar y verificar que los drenajes deben de estar de acuerdo con el análisis de riesgo y deben garantizar que tengan capacidad para desalojar el agua necesaria en caso de siniestro; así mismo, se deberá respetar la filosofía de drenajes de la Refinería.

El agua de lluvia colectada en las áreas de proceso, será retenida en una fosa construida para de ahí ser enviada con equipos de bombeo al drenaje pluvial existente. La fosa de retención de agua pluvial deberá contar además con un sistema de recuperación de los hidrocarburos que pudieran haber sido arrastrados con el agua de lluvia, para posteriormente enviarlos a tanques de slop.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

El agua aceitosa de purgas de hidrocarburos será incluida en la ingeniería.

La planta contara con drenaje pluvial, drenaje químico, drenaje aceitoso y drenaje sanitario.

Se contara, dentro del LB con un sistema de sellado de separación de aceite del drenaje aceitoso y de vaciado de equipos.

El drenaje sanitario deberá ser totalmente independiente de los otros sistemas.

La planta debe contar con sistemas de drenajes cerrados y abiertos, se tendrán los tipos siguientes:

- ✓ Aceitoso: Manejara purgas de las bombas, equipo general y se envía a un cárcamo cerrado, donde se recupera el hidrocarburo para su envío a un tanque s y el agua al drenaje aceitoso existente.
- ✓ Pluvial: Recolectara toda el agua de lluvia del área de proceso, se tendrá la opción de enviarse al cárcamo de retención (cerrado) o directamente a la red de drenaje aceitoso existente.
- ✓ Sanitario: Se debe colectar en una fosa séptica dentro de L.B para interconectarse después con el cárcamo de aguas sanitarias para su posterior tratamiento en la PTAR.
- ✓ Químico: Se debe tener un sistema de drenaje químico cerrado para manejo de purgas.

Los drenajes existentes fuera del L.B, fueron verificados para determinar su capacidad para recibir flujo, con objeto de integrar los drenajes a las instalaciones existentes. El licenciador deberá considerar los resultados de esta verificación y definir las acciones necesarias para atender las limitantes detectadas en los drenajes existentes y ejecutar los cambios requeridos.

4.3.1.15 Bases de diseño civil

Los terrenos donde se implementara el área correspondiente a la ampliación de la refinería de PEMEX, requieren desmonte de infraestructura existente, cortes y rellenos superficiales, así como nivelación y compactación. Así mismo se llevara a cabo el trazo y la nivelación de los terrenos indicados en la tabla 1.13 a. el movimiento de tierras se estima en un volumen de 10, 000 m³, antes de llevar a cabo la cimentación este material será retirado por el contratista y se sustituirá por un material limo-arcilloso. Cabe señalar que en algunas de las áreas se retiraran varios ejemplares arbóreos.

DISTRIBUCION DE AREAS				
PLANTA	DESMONTE/ VEGETACION	DESPALME	CORTE/RELLENO	NIVELACION
HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS	NO	SI	NO	SI

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

VOLUMENES DE MOVIMIENTOS DE TIERRA		
UNIDAD	TECNICA DE MOVIMIENTO	MATERIAL DE CORTE m ³
HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS	Manual y uso de maquinaria	10,000
TOTAL		10,000

Para el desarrollo del proyecto, las instalaciones provisionales son a base de carros remolque, que están instalados a un costado de la planta. Con lo que respecta a los servicios sanitarios, estos son del tipo móviles.

4.3.1.15.1 Construcción

Una vez re nivelada el área se realizara la localización de las cimentaciones correspondientes con apoyo topográfico para luego realizar la excavación de la cimentación, de la misma forma para la planta Hidrodesulfuradora de Naftas, así como todos los equipos que tienen sus bases ancladas a piso de concreto armado, dependiendo de la carga de la misma, se diseñaran las dimensiones y profundidad de los cimientos, fabricándose algunos taludes también en concreto armado y muros de contención.

Después se levantarán estructuras de perfil de acero para armar algunas bases de los equipos, con el propósito de adquirir estabilidad y disminuir vibraciones. Los volúmenes de obra se detallan en la tabla siguiente:

VOLUMENES DE OBRA							
UNIDAD	MATERIAL DE CORTE	CIMBRA m ²	AGUA m ³	CONCRETO m ³	COMBUSTIBLE m ³	COMBUSTIBLE TRANSPORTADO m ³	ELECTRICIDAD
HDS DE NAFTAS	10,000	388.12	955.38	3763.6	1.0003	11.59	14.5

4.3.1.16 Bases de diseño para instrumentación y control

4.3.1.16.1 Cuarto de control

El sistema de control distribuido será enviado al Cuarto de Control Centralizado.

La información de la instrumentación que se envía/recibe hacia/desde un sistema de monitoreo y supervisión que estará ubicado en el cuarto central (Bunker), desde el cual se podrá supervisar y monitorear en forma integral a la planta.

La información de la instrumentación que se envía/recibe hacia/desde un sistema de monitoreo y supervisión que estará ubicado en el cuarto central (Bunker), desde el cual se podrá supervisar y monitorear en forma integral a la planta.

El cuarto satélite albergara los controladores, módulos de entrada-salida y PLC's de protección. Se considera un arreglo de equipos, gabinetes, baterías, UPS y PLC en el cuarto de control satélite, donde se incluirá el sistema de control.

Las fuentes de energía de respaldo UPS serán del tipo alimentación en línea, doble conversión (AC a DC / DC a AC), debe contar con líneas de alimentación principal y línea alterna o de "by pass", independiente de los interruptores de transferencia automáticos y manual propios de la UPS. Se instalara un interruptor manual externo UPS del tipo "make.before.brake" para operar por la línea alterna independiente de la UPS y poder dar mantenimiento a esta.

El cuarto de control contara con:

- Sistema de presurización y aire acondicionado con sistema de compresión redundante, control de temperatura, variaciones no mayores a 4°C por hora, presión positiva de 0.2 a 0.4 in de agua, humedad relativa controlada de 40 a 60% y una temperatura de 22°C.
- Medidor de corrosión, temperatura, humedad y presión de un solo equipo, el cual se comunicara al sistema de control distribuido para llevar el histórico de estas variables.
- Sistema de detección de humo y un sistema de extinción de fuego.
- Un área de esclusa que permita mantener la presurización cuando se accede a él.
- Un sistema extinguidor automático de fuego a base de CO2. El almacenamiento de CO2 está protegido bajo techo en el exterior del cuarto satélite, enlazado y configurado en el Sistema de Fuego y Gas.

Para el Sistema de Paro de Emergencia, ESD, los arrancadores o apagadores de disparo remoto desde bunker, se utilizaran interruptores mecánicos interconectado con cable desde el cuarto de control en el bunker hasta el PLC que ejecutara la lógica de disparo.

Los equipos principales y la consola local para monitoreo y control de los sistemas de comunicación serán instalados en el cuarto de control satélite.

Para el monitoreo y control a nivel se realizara la completa integración a los sistemas de operación y controles centrales ubicados dentro del Cuarto de Control Centralizado (Bunker) para la unidad de proceso.

El cableado del distribuidor del cuarto satélite al interior de la planta y al Cuarto de Control Centralizado (Bunker) será implementado para la interconexión entre edificios y unidades, así como en el interior de los mismos, para proporcionar los servicios de voz, datos y videos (terminales, servidores y concentradores de datos) considerando áreas de crecimiento, densidad de servicios y naturaleza de los mismos.

4.3.1.17 Bases de diseño de equipo de proceso

En la planta Hidrodesulfuradora de naftas, se tiene considerada la instalación de los siguientes equipos:

- ✓ Un reactor
- ✓ Una torre fraccionadora
- ✓ Un tanque separador
- ✓ Un tanque separador de alta presión
- ✓ Un tanque separador de alta presión
- ✓ Un tanque acumulador
- ✓ Dos hornos
- ✓ Tres solo aires
- ✓ Ocho bombas
- ✓ Dos compresores
- ✓ Cuatro intercambiadores de calor

A continuación se presenta las características de los equipos de proceso.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

4.3.1.17.1 Torre Fraccionadora

CLAVE	DESCRIPCION DEL EQUIPO	CARACTERISTICAS				
		D.I. (m)	L-T (m)	NIVEL (m)	CONDICIONES DE DISEÑO	
					TEMPERATUR A (°C)	PRESION (kg/cm ² g)
DA-01	Columna fraccionadora	1.5	7	Max: 4.86 Norm.: 2.58 Min.: 1	150-245	10.5/FV

FV: condiciones de vacío completo

4.3.1.17.1.1 Información complementaria de la Torre Fraccionadora

CLAVE	NUMERO	DISTANCIA (m)		ALTURA (m)	
	PLATOS	PLATOS	EMPACADOS	PLATOS	EMPACADOS
DA-01	12	0.75	4.88	0.15	2.44

4.3.1.17.2 Reactor

CLAVE	DESCRIPCION DEL EQUIPO	CARACTERISTICAS			
		D.I. (m)	L (m)	CONDICIONES DE DISEÑO	
				TEMPERATURA (°C)	PRESION (kg/cm ²)
DC-01	REACTOR	2.5	10	400	175.00

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

4.3.1.17.3 Tanques Separadores

CLAVE	DESCRIPCION DEL EQUIPO	CARACTERISTICAS				
		D.I. (m)	L (m)	NIVEL (m)	CONDICIONES DE DISEÑO	
					TEMPERATURA (°C)	PRESION (kg/cm ²)
FA-01	Tanque acumulador	1.80	8	Max: 1.45 Norm.: 0.90 Min.: 0.60	180	30/FV
FA-02	Tanque separador de alta presión	2.7	8	Max: 1.25 Norm.: 0.77 Min.: 0.30	140	40/FV
FA-03	Tanque separador de baja presión	1.50	5.30	Max: 1.20 Norm.: 0.75 Min.: 0.30	120	24.0/FV
FA-04	Tanque acumulador	1.50	3.10	Max: 1.0 Norm.: 0.65 Min.: 0.30	150	20/FV

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

4.3.1.17.4 Compresores

CLAVE	DESCRIPCION DEL EQUIPO	CARACTERISTICAS			
		CONDICIONES DE ENTRADA		CONDICIONES DE SALIDA	
		TEMPERATURA °C	PRESION Kg/cm ² g	TEMPERATURA (°C)	PRESION (kg/cm ²)
GB-01	COMPRESOR DE HIDROGENO FRESCO	38	18.8	106	29.0
GB-01	COMPRESOR DE GAS DE RECIRCULACION	46	12.5	143.2	23.1

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

4.3.1.17.5 Bombas

CLAVE	DESCRIPCION DEL EQUIPO	CARACTERISTICAS	
		CAPACIDAD (GMP)	ΔP (kg/cm ²)
GA-01	BOMBAS DE CARGA AL REACTOR	684	18.4
GA-02	BOMBAS DE CARGA A LA TORRE	83	25.9
GA-03	BOMBAS DE FONDOS DE LA TORRE	680	6.2
GA-04	BOMBAS DE REFLUJO DE LA TORRE	121	4.1

4.3.1.17.6 Hornos

CLAVE	DESCRIPCION DEL EQUIPO	CARACTERISTICAS				
		CARGA TERMICA (kcal)	CONDICIONES DE ENTRADA		CONDICIONES DE SALIDA	
			TEMPERATURA °C	PRESION Kg/cm ²	TEMPERATURA (°C)	PRESION (kg/cm ²)
BA-01	CALENTADOR A FUEGO DIRECTO	28.10 x 10 ⁶	219	21.7	320	27.0
BA-02	CALENTADOR DE REFLUJO A LA TORRE	30.12 x 10 ⁶	245	19.0	350	22.0

4.3.1.17.7 Intercambiadores de calor

Clave	Descripción del equipo	Características		
		Carga térmica (kcal/hr)	Cond. de diseño	
			Temp.(°C)	Temp.(°C)
EA-01	Precautado de la carga de crudo e hidrogeno	0.33×10^6	210	25.4
EA-02	Enfriador de la fase liquida del separador a alta presión	0.51×10^6	150	12.5/FV
EA-03	Precautado de la carga de la torre	6.82×10^6	210	39.0
EA-04	Enfriador de vapor de la torre	0.46×10^6	210	10.5/FV

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

4.3.1 Requerimientos de servicios auxiliares

SERVICIO	TEMPERATURA		PRESION		CARACTERISTICAS	CONSUMO TOTAL	DESTINO
	LIQUIDO	GAS	LIQUIDO	GAS			
AGUA							
Agua de enfriamiento	32-42 °C	----- -	3.5-2.1 kg/cm ²	-----	Sin sólidos en suspensión	316 m ³ / h	Intercambiadores de calor
Agua para servicios y usos sanitarios (potable)	Ambiente	----- -	6.0 kg/cm ²	-----	Inodora, incolora e insabora	300 m ³ / h	Sanitarios, regaderas etc.
Agua contra incendio	Ambiente	----- -	7.0 kg/cm ²	-----	Sin sólidos en suspensión	300 m ³ / h	Para toda la planta
Agua para calderas	20-25 °C	-----	-----	-----	Desmineralizada	4.5 m ³ / h	Calderas
VAPOR							
Generador de vapor de alta	-----	375-400 °C	-----	40-42 kg/cm ²	Sobrecalentado	4.347 kg/h	GB-01/02
Generador de vapor de media	-----	270-290 °C	-----	18.5-19.5 kg/cm ²	Sobrecalentado	4.347 kg/h	GB-01/02
Generador de vapor de baja	-----	148 °C	-----	3.5kg/cm ²	Sobrecalentado	4.347 kg/h	GB-01/02
COMBUSTIBLE							
Gas combustible	-----	25 °C	-----	4.5 kg/cm ²	Gas natural	60 Mkcal/h	BA-01 y BA-02

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

INERTES							
Gases inertes	-----	38°C	-----	10 kg/cm ²	Nitrógeno Oxígeno	5 kg/h	Hornos
ENERGIA ELECTRICA							
Bombas							
GA-01	----	----	----	----	Bombeo de nafta a reactor	120 kW	DC-01
GA-02	----	----	----	----	Alimentación a la torre	38 kW	DA-01
GA-03	----	----	----	----	Recirculación en el re boiler	207 kW	BA-02
					CARACTERISTICAS	CONSUMO TOTAL	DESTINO
GA-04	----	----	----	----			
COMPRESORES	----	----	----	----			
GB-01	----	----	----	----	Para precalentamiento	174 kW	BA-01
GB-02	----	----	----	----	Para precalentamiento	32 kW	BA-01
SOLOAIRES	----	----	----	----			
EC-01	----	----	----	----	Condensador de estabilidad de nafta	56 kW	FB-02
EC-02	----	----	----	----	Condensador de la torre	230 kW	FB-04
EC-03	----	----	----	----	Enfriador del estabilizador de producto	51 kW	L.B.

4.3.2 Criterios básicos de diseño

4.3.2.1 Diseño de Proceso

4.3.2.1.1 Requerimientos de diseño de la planta con diferentes cargas y alimentaciones

Las instalaciones fueron diseñadas y especificadas para procesar una carga de materia prima constante, no existen variaciones en la alimentación del proceso. Por tanto no es necesario disponer de espacio para futuras ampliaciones, así como integración de más unidades de procesamiento o reordenamientos de equipo de proceso, debido a que se ha fijado un solo volumen de producción.

4.3.2.1.2 Criterios de sobre diseño o previsión de ampliaciones futuras de la planta y equipo

En la refinería “Francisco I. Madero”, se produce aproximadamente el 25.6 % del total de gasolina producida actualmente en México, y es el principal productor de gasolina a nivel nacional. Actualmente cuenta con una capacidad de refinación de 40,000 barriles por día.

En el caso de la planta HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS, no se prevé futuros cambios o ampliaciones tomando en cuenta los siguientes puntos:

- No se aumentara el volumen de producción.
- No se harán cambios en la disposición de equipos y tecnologías de proceso.
- El producto no se modificara

4.3.2.1.3 Criterios de selección de unidades de relevo de equipos

4.3.2.1.3.1 Válvulas

Los dispositivos más empleados en la industria para el alivio de presión son las válvulas de seguridad y los discos de ruptura. Existen otros dispositivos para tanques de almacenamiento a baja presión, protección de explosiones y para subidas bruscas de presión hidráulica en tuberías de gran longitud. Entre estos dispositivos se incluyen los venteos atmosféricos, las válvulas de respiración para presión y vacío, los venteos de emergencia.

La selección de una válvula de seguridad para un proyectista de los equipos de proceso implica la decisión de emplear una válvula de seguridad convencional o una equilibrada. El parámetro decisivo es la presión en la boca de salida. Si la contrapresión absoluta es variable y si además excede el 10% de la presión absoluta de tarado, se debería emplear la válvula de seguridad equilibrada.

Unos criterios para elegir el tipo de válvula son:

- Si la descarga se puede realizar directamente a la atmósfera: válvulas no equilibradas.
- Si la descarga se envía a depósitos colectores con contrapresión muy baja (inferior al 10% de la presión de tarado): válvulas no equilibradas.
- Si la descarga se envía a depósitos colectores con contrapresión elevada (hasta el 25% de la presión de tarado): válvulas equilibradas.
- Si los productos son inocuos (nitrógeno, CO₂, vapor de agua, etc.): válvulas de seguridad con sombrerete abierto a la atmósfera.
- Para la descarga de todos los líquidos y para los vapores peligrosos (tóxicos, inflamables, etc.): válvula de seguridad con sombrerete cerrado a la atmósfera.

4.3.2.1.3.2 Bombas

Una bomba centrífuga es un dispositivo hidráulico que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requeridas. En toda planta industrial se hace uso de ellas, para hacer una buena selección de cual debemos utilizar, se considera:

1. Naturaleza del fluido a bombear.
2. Capacidad requerida (flujo volumétrico).
3. Condiciones en la succión y descarga de la bomba.
4. Carga total sobre la bomba.
5. Tipo de sistema donde la bomba impulsa el fluido
6. Condiciones ambientales.

Existen otros criterios más específicos, para la selección de bombas, estos criterios son utilizados en las grandes industrias como por ejemplo las petroquímicas, algunos de esos criterios son:

- Las bombas centrífugas horizontales no se deben utilizar en donde exista una condición de succión negativa.
- Para la selección de las bombas, se debe cumplir con lo siguiente: a gasto nulo la presión no debe exceder de 140 % de la presión de descarga nominal y para un gasto de prueba de 150% de capacidad nominal, la presión de descarga no debe ser menor de 65 por ciento de la presión de descarga nominal.
- Para el caso de bombas centrífugas horizontales, la selección debe considerar que la bomba y el motor estén fijos a una base común de acero, a fin de asegurar su alineamiento, que evite el

calentamiento de los cojinetes, desgaste prematuro de chumaceras, roturas de flecha y pérdida de eficiencia en las bombas, entre otras. La base de acero se debe colocar sobre una cimentación de concreto reforzado, incluyendo el anclaje ahogado en la propia cimentación.

- Dependiendo de las condiciones de la succión, las bombas pueden ser del tipo turbina vertical o centrífuga horizontal de caja bipartida. Estas bombas deben tener fácil acceso a sus partes de trabajo, fabricados con materiales resistentes a la corrosión.
- Las bombas centrífugas horizontales, se deben seleccionar, cuando el nivel mínimo de succión se encuentre por arriba del eje de la bomba; en caso contrario, cuando no se disponga de una carga positiva en la succión, se deben seleccionar bombas del tipo turbina vertical, cuyos impulsores se encuentren por debajo del nivel dinámico.
- Las bombas para servicio de agua contra incendio, deben ser accionadas con motores eléctricos; cuyo suministro de energía eléctrica debe ser confiable y de un circuito independiente al utilizado en equipos de proceso. Cuando el suministro de energía eléctrica no sea confiable, los motores de combustión interna diésel también son aceptables.
- Las bombas para servicio de agua contra incendio redundante (relevó), deben ser accionadas con motor de combustión interna a diésel con el propósito de contar en todo momento con el suministro necesario de agua contra incendio.
- Las bombas para servicio de agua contra incendio principales deben contar con bombas redundantes, según se describe en la TABLA 5-4, que garanticen el mismo gasto y presión de descarga requeridos.

TABLA 5-4 Bombas principales y bombas requeridas

NUMERO TOTAL DE BOMBAS PRINCIPALES REQUERIDAS	NUMERO Y TIPO DE BOMBAS PRINCIPALES	NUMERO DE BOMBAS DE RELEVO REQUERIDAS
1	UNA ELECTRICA	UNA DE COMBUSTION INTERNA
2	DOS ELECTRICAS	DOS DE COMBUSTION INTERNA
3	TRES ELECTRICAS	TRES DE COMBUSTION INTERNA
4	CUATRO ELECTRICAS	CUATRO DE COMBUSTION INTERNA
1	UNA DE COMBUSTION INTERNA	UNA DE COMBUSTION INTERNA
2	DOS DE COMBUSTION INTERNA	UNA DE COMBUSTION INTERNA
3	TRES DE COMBUSTION INTERNA	DOS DE COMBUSTION INTERNA
4	CUATRO DE COMBUSTION INTERNA	DOS DE COMBUSTION INTERNA

4.3.2.1.4 Consideraciones relativas a la integración de unidades futuras a la planta

No se integraran posteriores unidades de proceso, debido a que la distribución de la planta incluye la disposición física de las unidades de proceso dentro de la instalación.

En lo que se refiere a la maquinaria, se habrá de considerar su tipología y el número existente de cada clase, así como el tipo y cantidad de equipos y utillaje. El conocimiento de factores relativos a la maquinaria en general, tales como espacio requerido, forma, altura y peso, cantidad y clase de operarios requeridos, riesgos para el personal, necesidad de servicios auxiliares, etc., se muestra indispensable para poder afrontar un correcto y completo estudio de distribución en planta.

Se procura el ordenamiento de los equipos y de las áreas de trabajo que sea más económica y eficiente, al mismo tiempo que segura y satisfactoria para el personal que ha de realizar el trabajo. De forma más detallada, se podría decir que este objetivo general se alcanza a través de la consecución de hechos como:

- ✓ Disminución de la congestión.
- ✓ Supresión de áreas ocupadas innecesariamente.
- ✓ Reducción del trabajo administrativo e indirecto.

- ✓ Mejora de la supervisión y el control.
- ✓ Mayor facilidad de ajuste a los cambios de condiciones.
- ✓ Mayor y mejor utilización de la mano de obra, la maquinaria y los servicios.
- ✓ Reducción de las mantenciones y del material en proceso.

4.3.2.1.5 Criterios de selección del tipo de accionadores y características.

Por accionamiento o actuador se entiende que es aquel elemento o dispositivo de una máquina encargado de suministrar energía mecánica para que esta funcione, este elemento debe ser capaz de transformar algún tipo de energía, ya sea eléctrica, neumática o hidráulica, en energía mecánica, para aplicarla en el motor de dicha máquina.

La selección está en función de la aplicación, es necesario conocer si el tipo de control del proceso es de interrupción, regulación o rotación. Los actuadores son de distintas formas según el tipo de montaje que se quiera realizar. Modifican estados de sistemas como la iluminación, climatización y persianas. Para cada tipo de aplicación existe un determinado tipo de actuador.

Para saber qué tipo de actuadores debemos de utilizar en el proceso, se tienen los siguientes criterios:

- Si se necesita mover, desplazar o soportar algún peso, se requiere de actuadores de movimiento. Existen actuadores que cumplen este propósito, entre ellos podemos encontrar: motores paso a paso, motores de corriente continua, motores de corriente alterna, etc. En algunos casos es necesario utilizar reductores, debido a que los motores son de operación continua.
- Cuando se trabaja con líquidos se utilizan motobombas son muy requeridas para ser instaladas en pozos de succión y electroválvulas que son las encargadas de permitir el paso de líquidos y gases, son útiles en sistemas de seguridad cuando son detectadas inundaciones o en caso de fuego para los gases.
- En los procesos, es importante utilizar un indicador que informe el estado de cada etapa, para ello se pueden utilizar alarmas, por ejemplo los zumbadores o pilotos, para dar un aviso cuando se llega a un límite o simplemente para generar una advertencia de algún problema. Y el actuador de luz es el encargado de reaccionar ante un estado de un sistema por medio de la emisión de luz.
- Para el control de temperatura se utilizan resistencias, ventiladores y extractores. Estos actuadores están conformados por semiconductores en donde el flujo de la corriente eléctrica produce una pérdida de energía que se transforma en calor y este calor se propaga por todo el espacio que lo rodea.
- Entre los criterios más importantes de selección para un actuador, se encuentran el tipo de señal, si es de corriente continua o de corriente alterna

4.3.2.1.6 Requerimientos de integración con y/o interrelación de plantas o unidades existentes

La Planta Hidrodesulfuradora tratará toda la nafta primaria, así como los butanos procedentes de otras plantas para suministrar carga dulce a los procesos de reformación e isomerización. Además de que a la reformadora se enviara una nafta desulfurada y deshexanizada, para evitar con ello la alimentación de precursores de benceno y por consiguiente la presencia de aromáticos en el reformado.

La planta HDS para naftas, fue diseñada para procesar las corrientes de naftas primarias provenientes de las plantas de destilación primarias “MA” y “MB”, destilación combinada “BA” y de asfalto “MF” y corrientes de butanos de otras plantas eliminando azufre, nitrógeno y oxígeno. La corriente hidratada se fraccionara en la planta fraccionadora de ligeros “MC” de donde se obtendrá la nafta deshexanizada para carga a la planta reformadora y los N-C4/n. C5/n-C6 para carga a la planta isomerizadora, así como otras corrientes de subproductos, como: C3, iC4, iC5 e iC6 que se enviaran a almacenamiento.

La Hidrodesulfuradora de naftas produce gas amargo y LPG como carga para la planta de isomerización, el gas pasa a endulzamiento. La gasolina desulfurada se envía como carga a las plantas reformadoras donde se obtiene gasolina de alto octano, que se manda al pool de gasolinas.

4.3.2.2 Criterios de diseño de equipo

4.3.2.2.1 Tanques Separadores

4.3.2.2.1.1 FA-01

Debido que a este tanque llegara la carga de naftas primarias, y esta es altamente corrosiva, se toman los siguientes criterios:

1. La boca de recepción de combustible debe contar con un recipiente contenedor, totalmente hermético e impermeable, a fin de prevenir eventuales derrames de líquidos inflamables y combustibles en sus adyacencias. El contenedor de derrame o dique debe tener una capacidad no inferior a 14 litros y debe estar construido con un compuesto reforzado resistente a líquidos inflamables, combustibles y/o corrosivos.
2. En el interior del recipiente contenedor se coloca una válvula de drenaje que puede ser de tipo émbolo o palanca, para permitir el rápido envío al tanque del producto recogido en el contenedor.
3. La tapa de la boca de recepción debe ser de fundición de aluminio, o de hierro, con anillo de montaje de fundición de hierro, debiendo estar diseñados para impedir la entrada de agua superficial y protegida ante la corrosión.
4. El tanque debe contar con un sistema que impida su sobrellenado durante la operación de carga de naftas.

4.3.2.2.1.2 FA-01 y FA-02

Para obtener una separación más eficiente y completa, dos o más separadores se conectan en serie, reduciéndose la presión en cada equipo, lo que se conoce como separación en múltiples etapas. Cada vez que se reduce la presión, ocurre separación de gas en el líquido que sale de cada etapa.

Para el diseño se debe tener en cuenta la aplicación de la NORMA API SPECIFICATION 12J. Para iniciar el diseño se debe conocer la cantidad de gas y de líquido que se separará, basándose en parámetros fundamentales como: la presión y la temperatura, con sus correspondientes variaciones durante el tiempo.

4.3.2.2.2 Reactor

La selección del reactor tiene por objeto maximizar el rendimiento material y energético de la planta. Para ello hay que considerar:

- a) Las características de la reacción: Las reacciones químicas varían radicalmente según el número de las fases presentes, el mecanismo de reacción (una o varias etapas), la existencia de equilibrios, los efectos térmicos y la sensibilidad a las condiciones físicas (presión, temperatura, agitación,...). Estas características imponen serias dificultades en el diseño del reactor, principalmente cuando se quiere preservar la seguridad y el medio ambiente y optimizar el rendimiento y los costos.
- b) Aspectos técnicos (agresividad del medio, naturaleza de los materiales)
- c) Económicos (materiales disponibles en el mercado, producción, costos de energía,...). Todo ello empíricamente viene englobado en la afirmación que indica que para grandes producciones unidades continuas y para pequeñas producciones unidades discontinuas

4.3.2.2.3 Torre Fraccionadora

El diseño detallado de una torre fraccionadora tiene que tomar en cuenta los elementos estructurales que permitan soportar físicamente los componentes internos que se coloquen dentro de la torre para que ésta conserve su integridad y para que los mismos componentes mantengan su posición adecuada dentro de las exigencias de las diferentes condiciones de operación. Estos elementos estructurales deben conocerse por el ingeniero de procesos, para que desarrolle una apreciación del impacto que su presencia puede tener en el patrón de flujo dentro de la torre y comprender a mayor profundidad el funcionamiento de estos equipos. Un elemento clave dentro del diseño estructural de torres fraccionadoras lo constituye el diseño del soporte de los platos. El método para soportar los platos lo fija el fabricante durante el diseño de detalle. El número y tamaño de cada soporte depende de varios factores, incluyendo el diámetro de la torre, la carga a soportar y la necesidad de acceso para mantenimiento.

4.3.2.2.4 Intercambiadores de Calor

Los intercambiadores de calor de tubos concéntricos son equipos muy utilizados, cuando la caída de presión calculada excede la permitida se puede transferir la misma carga de calor si se utilizan intercambiadores en arreglo serie-paralelo, en los cuales la corriente que va por los tubos se divide en varias entradas. Por heurística se ha recomendado que las caídas de presión para un intercambiador o un conjunto de intercambiadores, de entre 5 y 10 psi, excepto cuando el flujo es por gravedad.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Para intercambiadores de calor de tubos y coraza el espaciamiento entre placas deflectoras no debe ser mayor que el diámetro interno de la carcasa, ni menor que 1/5 del diámetro del diámetro interno: mínimo 2 pulgadas. Los baffles o placas deflectoras segmentadas tienen alturas que generalmente son el 75% del diámetro interior de la carcasa.

La decisión sobre cual fluido se localiza en los tubos y cual se localiza en la coraza, es el resultado del balance de los efectos, que tiene las siguientes variables:

1. Corrosividad
2. Caída de presión
3. Velocidad optima
4. Seguridad
5. Calculo de U_c para minimizar el tamaño del intercambiador

La información que se obtiene del diseño básico de intercambiadores de calor para que sea suministrada al fabricante es:

- a) Información del proceso
 - a.1) Fluidos utilizados
 - a.2) Velocidades de flujo
 - a.3) Temperaturas de entrada y salida
 - a.4) Cantidad de vaporización o de condensación (velocidades)
 - a.5) Presiones de operación
 - a.6) Caídas de presión
 - a.7) Factor de ensuciamiento
 - a.8) Velocidad de transferencia
- b) Información mecánica
 - b.1) Tamaño de los tubos: diámetro, longitud, espesor de pared, etc.
 - b.2) Arreglo de los tubos y numero de pasos
 - b.3) Temperaturas y presiones máximas y mínimas de operación

4.3.2.2.5 Calentador a fuego directo

Un horno en una instalación donde se transforma la energía química de un combustible en calor que se utiliza para aumentar la temperatura de aquellos materiales depositados en su interior y así llevarlos a las condiciones necesarias para el siguiente proceso que se les tenga que dar. En este proceso se tienen dos hornos de tratamiento térmico únicamente, el BA-01 se encuentra un paso antes del reactor BA-01 para elevar la temperatura de la mezcla que entra al mismo para poder llevarse a cabo las reacciones, y el segundo funge como rehervidor de la Torre de Fraccionamiento DA-01.

Algunos criterios de diseño que se emplean son:

- ✓ La elección de tipo de horno, su capacidad, tipo de calefacción y forma de operar, debe siempre realizarse mediante un estudio técnico-económico, optimizando el diseño para adecuarlo al objetivo. Debe procurarse que el horno se utilice exclusivamente para realizar las operaciones para las que se ha diseñado.
- ✓ Siempre que sea posible debe pasarse del trabajo discontinuo a continuo. En los procesos discontinuos deben utilizarse hornos de baja inercia térmica por alcanzar más rápidamente la temperatura de operación y tener menos pérdidas energéticas en los paros de operación. En los hornos de funcionamiento intermitente debe programarse el trabajo de tal forma que los tiempos de espera sean mínimos.
- ✓ Una buena estanqueidad del horno evita entradas de aire incontroladas.
- ✓ El empleo de materiales altamente refractarios permite temperaturas más altas de llama, con la consiguiente mejora de la eficacia.

4.3.3 Filosofía de operación

En esta filosofía de operación de una planta Hidrodesulfuradora de naftas se cubren las variables de operación y control del proceso así como las operaciones anormales y procedimientos especiales de operación. La Planta Hidrodesulfuradora de Naftas (HDS) tiene como función principal la reducción de azufre en productos petrolíferos así como la gasolina proveniente de las plantas de destilación primaria.

La Planta Hidrodesulfuradora de Naftas se divide en 3 secciones:

1. Tratamiento de la alimentación.
2. Sección de Reacción.
3. Sección de Estabilización y Fraccionamiento

4.3.3.1 Variables de operación y Control de proceso

4.3.3.1.1 Tratamiento de la alimentación

La sección de preparación de alimentación tiene como objetivo como su nombre lo dice preparar la carga que se enviara a la sección de reacción, mediante el aumento de presión y temperaturas necesarias para la adecuada reacción.

La corriente de alimentación de la planta proviene de la destilación primaria del crudo y esta es controlada mediante un control de flujo, nivel y temperatura. La corriente previamente medida es alimentada a un tanque FA-01, el cual tiene como objetivo regular la alimentación por el resto del proceso, para ello el tanque cuenta con un tiempo de residencia de 20 minutos, también recibirá el total de la alimentación de la nafta primaria.

El agua que es acumulada por la corriente de alimentación es eliminada o desechada por una pierna de separación del tanque FA-01, la cual cuenta con un control tipo on/off.

Por otro lado, la presión de este tanque se regulará en un rango de 25 Kg/cm² man. En caso de disminuir su presión, se abrirá la válvula de inyección de gas combustible; de otro modo, en caso de que la presión incremente, se abrirá la válvula de inyección de desfogue.

Los hidrocarburos previamente almacenados en el tanque FA-01 son enviados a la sección de reacción mediante la bomba GA-01, regulando su flujo con una válvula de nivel que se encuentra conectada al tanque. En caso de paro, o cuando se presenten excedentes en la carga también podrá ser controlado por medio del control de nivel, hacia un lavado caustico y posteriormente a almacenamiento, utilizando la bomba GA-01R, la cual estará normalmente fuera de operación, y solo será accionada u operada en los ya mencionados casos. También se tendrá una línea de desvío a la bomba GA-01R desde el tanque

FA-01 en caso de que la bomba GA-01 necesite de mantenimiento. Posteriormente el efluente de la bomba será mezclado con la corriente de hidrógeno proveniente de los compresores GB-01 y GB-02, donde el flujo es regulado mediante medición de flujo, presión y temperatura.

4.3.3.1.2 Reacción

La sección de reacción tiene por objeto efectuar la eliminación de compuestos de azufre, nitrógeno y oxígeno, fundamentalmente, mediante la hidrogenación catalítica en el reactor de lecho fijo. Los equipos principales de la sección son: Reactor de Hidrodesulfuración DC-01, Calentador de Carga al Reactor BA-01 y el Compresor de Recirculación de Hidrógeno GB-01.

4.3.3.1.2.1 Reactor DC-01

Las variables que afectan la operación del reactor DC-01 son: temperatura, presión, flujo y nivel.

El buen funcionamiento de la planta dependerá básicamente de una selección adecuada de las condiciones de operación en el reactor DC-01.

- **Temperatura:** La temperatura de entrada al reactor se controla en la corriente de salida del Calentador BA-01. Todas las reacciones que ocurren en el proceso usan Hidrógeno, cuando la reacción se efectúa con cargas olefinicas, el consumo de hidrógeno es mayor, sin embargo la carga esperada para esta planta no contiene ese tipo de compuestos en cantidades grandes. La descomposición de compuestos de azufre también consume gran cantidad de hidrógeno, la cual estará en función de la cantidad de los compuestos en la carga. Algunos compuestos de azufre
- Presión:** todas las reacciones de Hidrodesulfuración dependen del hidrógeno presente y generalmente se obtiene un grado de conversión mayor si la presión parcial del hidrogeno también es mucho mayor. La presión parcial del hidrogeno se incrementa operando el reactor a presiones elevadas o con un aumento de la relación de alimentación. En el reactor, la presión se controlara mediante un control de presión directo colocado en la tapa superior del reactor.
- **Nivel:** la cantidad de producto convertido en el reactor es despachado mediante un control de nivel que se encuentra a la salida del mismo asegurando el tiempo de residencia necesario para la adecuada conversión, o si es necesario en caso de paro o drene del reactor por medio de la válvula de nivel la cual servirá para vaciar el reactor dejando que el contenido del mismo valla a almacenamiento.

4.1.3.1.2.2 Compresor GB-01

Las variables que controlan al compresor son: Presión y flujo

- Presión: La presión del compresor es medida y se controla desde el tanque FA-01. Las variaciones de presión se pueden generar cuando se tengan contaminantes los cuales modifican las lecturas de los componentes principales, por lo que se ocasiona un aumento en el consumo de Hidrogeno y por lo tanto, variaciones de presión.
- Flujo: El flujo del compresor es regulado desde el límite de batería antes de ser comprimido, para evitar problemas de funcionamiento de la máquina de compresión se deberá mantener constante el flujo de gas de recirculación, lo cual se lograra mediante la manipulación del hidrógeno de reposición.

4.1.3.1.2.3 Calentador a fuego directo BA-01

El calentador está diseñado para satisfacer el requerimiento energético de la mezcla que reaccionara, así como la vaporización para que lleve a cabo una adecuada Hidrodesulfuración

Variables que se encuentran en el calentador: Temperatura, Flujo y Presión:

- Temperatura: La temperatura del horno es manejada por medio de un control de temperatura en cascada con el control del flujo de combustible gas. El control de gas es lo suficientemente efectivo como para suministrar la cantidad de calor necesario en función de la variación de la carga térmica suministrada, garantizando así que esta sea constante, para ello cuenta con un control de temperatura mediante la alimentación de combustible gas y a su vez este es apoyado con la inyección de aire para garantizar una ignición adecuada, y por lo tanto una carga térmica satisfactoria.
- Flujo: para evitar coquización es necesario medir esta variable ya que si la relación Hidrógeno/Hidrocarburo es inestable esta comenzara a formar coque afectando al proceso.
- Presión: La caída de presión del calentador estará en función del flujo y del ensuciamiento, regularmente para el diseño de los hornos o calentadores se considera una caída de presión máxima de 3.5 Kg/m^2 , pero este valor podría aumentar hasta el máximo permisible dependiendo del avance de la incrustación en el calentador.

4.3.3.1.3 Estabilización y Fraccionamiento

Esta sección tiene como objetivo preparar a los productos de la Hidrodesulfuración para otros procesos, o en la adecuación de productos listos para vender, esto se consigue mediante la torre fraccionadora DA-01, donde los componentes ligeros son separados en forma de gas amargo de la nafta desulfurada.

Los equipos de esta sección son: separador de alta presión, separador de baja presión, calentador a fuego directo (sección fondos de la torre DA01), torre de separación y tanque acumulador.

4.3.3.1.3 1 Separador de alta presión

El separador de alta presión FA-02 tiene como objetivo separar la mezcla bifásica de hidrocarburos del Hidrogeno no reaccionado, así como la eliminación del agua producida mediante la reacción. El agua que es acumulada por la reacción es desechada por una pierna de separación del tanque de separación FA-02, la cual cuenta con un control de nivel conectado a una válvula de control de flujo de tipo neumático que envía al agua por una corriente de desecho de agua amarga.

Antes de ser introducido al separador el efluente del reactor para por un aereo enfriador EC-01 el cual cuenta con un control de temperatura de tipo on/off conectado al motor del ventilador, por si se presentan variaciones en la de la corriente. El efluente del separador FA-02 pasa por un enfriador EA-02 el cual opera con agua de enfriamiento desde el límite de batería, la cual es controlada por medio de un control de temperatura la alimentación de agua, controlando así la temperatura corriente de salida.

4.1.3.1.3.2 Separador de baja presión

El separador de baja presión FA-03 tiene como objetivo separar la mezcla bifásica en: gas amargo, mezcla de hidrocarburos líquidos y agua amarga. El agua que es acumulada por la reacción es desechada mediante una pierna de separación, la cual cuenta con un control de nivel conectado a una válvula de control de flujo de tipo neumático que envía al agua por una corriente de desecho de agua amarga.

Los hidrocarburos previamente almacenados en el tanque FA-03 son enviados a la sección de fraccionamiento mediante la bomba GA-02, regulando su flujo con una válvula de nivel que se encuentra conectada al tanque. En caso de paro la carga también podrá ser controlada por medio del control de nivel, hacia almacenamiento, utilizando la bomba GA-02R, la cual estará normalmente fuera de operación, y solo será accionada u operada en este único caso. También se tendrá una línea de desvío a la bomba GA-02R desde el tanque FA-03 en caso de que la bomba GA-02 necesite de mantenimiento. La descarga de la bomba es enviada a un intercambiador EA-03, el cual intercambia calor a contra flujo con el efluente del fondo de la torre, donde la temperatura de entra de la torre es

controlada por medio de una válvula conectada a la entrada de flujo caliente del EA-03, garantizando así una adecuada temperatura de alimentación a la Torre DA-01.

4.1.3.1.3.3 Torre de fraccionamiento DA-01.

La sección de agotamiento o fraccionamiento tiene como objetivo separar los componentes ligeros de los pesados de interés (Nafta desulfurada).

Las variables que influyen la operación son:

- Presión: El cambio en la composición afecta la presión y la temperatura de la torre, esto depende las características de alimentación y de cómo será el proceso en general. La presión se controlara mediante el envío de gas amargo a la planta de tratamiento del mismo, a través de la válvula de controladora de presión, la cual toma la señal del acumulador de reflujo FA-04 de la torre DA-01.
- Temperatura y flujo: La temperatura de operación de la torre DA-01 se regula a través de la recirculación y de un calentador a fuego directo que toma lugar de un rehervidor en la operación. A su vez el flujo será controlado por medio del control de nivel ubicado en el tanque acumulador FA-04 de la torre DA-01, el cual opera con un reflujo de 18 con el fin de cumplir con las especificaciones de los fondos (Nafta desulfurada).

4.1.3.1.3.4 Calentador a fuego directo BA-02 (sección de recirculación de la torre DA-01)

Las variables que condicionan la operación del calentador son: Flujo y Temperatura.

- Flujo: El flujo de alimentación del calentador BA-02 se controla mediante una válvula de flujo localizada en la descarga de la bomba GA-03 de fondos de la torre DA-01
- Temperatura: Debido a que la torre requiere mayor carga térmica que la que un rehervidor puede prever, el uso de un calentador a fuego directo se hace necesario, este mismo satisface de la temperatura necesaria para el adecuado agotamiento, el control de la temperatura se lleva a cabo por medio de un control en cascada con el control de flujo de gas combustible, dependiendo de su carga térmica y a su vez con la ayuda de la inyección de aire. Cuando la planta baja su producción es necesario aumentar la relación de la recirculación en los fondos, de lo contrario se presentarían problemas de coquización.

4.3.3.2 Operación en condiciones anormales

Las condiciones anormales se pueden suscitar en la sección de reacción, o por falla en el equipo de intercambio térmico y de equipo rotatorio como compresores y bombas.

4.3.3.2.1 Fallas en el Reactor DC-01.

El reactor puede fallar en dos casos:

- ❖ Envenenamiento del catalizador
- ❖ Condiciones de operación inadecuadas

En caso de suscitarse el primer caso el catalizador deberá limpiarse (regenerarse) o cambiarse en el peor de los casos, para ello se debe parar la producción y dar mantenimiento y se debe parar la sección de reacción y de agotamiento o fraccionamiento.

4.3.3.2.2 Fallas en el equipo de intercambio térmico

En caso de no operar algún intercambiador o calentador, se deberá repetir la operación del punto anterior ya que será imposible seguir con las condiciones de operación adecuadas que el proceso demande.

4.3.3.2.3 Fallas en el equipo de rotatorio.

En caso de fallo en alguna bomba o compresor, el procedimiento deberá ser el mismo que el 2.1, ya que al no haber un adecuado funcionamiento de los equipos abastecedores de materia prima la sección de reacción no funcionara de ninguna forma

4.3.3.3 Procedimientos especiales de operación

4.3.3.3.1 Adición de condensado para lavado de sales

Ya que en el reactor DC-01 existe la formación de sales de amonio en la corriente del efluente, se considera la inyección intermitente de condensado de acuerdo a la relación de:

1.1 galones de agua/ barril de hidrocarburo

Entre los intercambiadores EA-01 y EC-01, disolviendo de esta manera los depósitos de sales de sales en el intercambiador de calor EA-02 ya que de no ser así, se tendrán problemas de corrosión, se recomienda lavar cada 72 horas inyectando 6 m³/h durante un periodo de 2 horas ajustando esta práctica de acuerdo a los resultados obtenidos.

4.3.3.3.2 Regeneración del catalizador

Durante el proceso de Hidrodesulfuración, el catalizador se irá saturando gradualmente con carbón, a nivel superficial. El nivel y la rapidez de la saturación están en función del tipo de carga alimentada y de las condiciones de operación bajo las cuales el catalizador está sujeto en el reactor DC-01. La rapidez de acumulación del carbón se ve favorecida cuando la alimentación contiene mayor cantidad de componentes pesados o cuando las condiciones de operación sean inapropiadas. El carbón y los metales depositados sobre el catalizador le causarán una desactivación gradual cada vez mayor hasta que tenga que ser eliminado o regenerado.

Para la regeneración del catalizador se debe inyectar aire hasta lograr un 2% mol de oxígeno muestreado del efluente de esta operación para su análisis. Se debe llevar también, un registro de temperatura de salida del reactor DC-01. Si la temperatura de salida no es mayor de 538°C se debe aumentar la temperatura de entrada a 400°C, se continúa analizando y cuando el porcentaje de CO₂ sea menor de 10% se debe aumentar la temperatura a 482°C hasta que el contenido de CO₂ sea menor del 2% con lo cual se puede considerar un catalizador regenerado.

4.3.3.3.3 Limpieza de los calentadores de vapor

Para esta operación, se deberán cambiar los codos giratorios que se encuentran en las salidas del serpentín hacia el sistema de limpieza, verificar que la alimentación de agua de enfriamiento este abierta hacia el tambor de apagado para el decoquizado e instalar los carretes móviles en las líneas de aire de la planta hacia las líneas de vapor de limpieza.

Aplicar vapor saturado a través del serpentín de vapor sobrecalentado y ventearlo, este vapor de enfriamiento debe mantenerse durante todo el tiempo de la operación de limpieza, esta última se hará simultáneamente en todos los pasos que tenga el horno, programándola de preferencia durante la noche, para que cualquier tubo que eleve su temperatura al máximo pueda identificarse.

Se inyectará aire en forma gradual a cada paso, mientras que se observan los tubos para encontrar cualquier punto con una temperatura anormal o elevada. La combustión de coque dentro de los tubos será observada por la aparición de puntos rojos a lo largo de los tubos. La relación de aire para la combustión del coque es superior al 10% en peso del flujo de vapor, esta cantidad de aire incrementará la presión de entrada del paso en un 20%.

Cuando sea necesario mantener la combustión, deberá mantenerse la temperatura de salida de los gases de combustión en la sección de radiación cercana a los 704°Ce incrementar lentamente el flujo de aire a un máximo del 10% del flujo de vapor en cada serpentín.

Cuando el análisis de la corriente de horno indique la ausencia de CO₂ se deberá interrumpir el flujo de aire y limpiar otra vez los pasos con vapor.

4.3.3.3.4 Inyección de inhibidor de corrosión

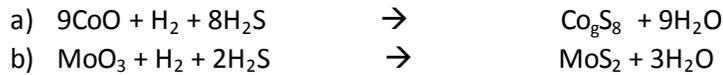
Debido a que el vapor de los domos de la torre agotadora DA-01 presenta alto contenido de azufre, es necesario aplicarle protección contra la corrosión, para ello se inyecta inhibidor de corrosión en una proporción igual a 5ppm. La corriente inyectada será una solución preparada con un volumen de inhibidor y 30 de solvente, usando como solvente los fondos de la torre DA-01.

4.3.3.3.5 Presulfhidrado del catalizador

La etapa de presulfhidrado del catalizador tiene como objetivo básico lograr la actividad óptima del catalizador de tal forma que se alcancen altos niveles de Hidrotratamiento y se tengan ciclos de operación prolongados. Para lograr lo anterior, se requiere convertir los óxidos metálicos de molibdeno y cobalto (estado inactivo) a sulfuros metálicos (estado activo). La omisión de esta etapa representa una pérdida de actividad del 10 al 20.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Las reacciones de sulfhidratación son las siguientes:

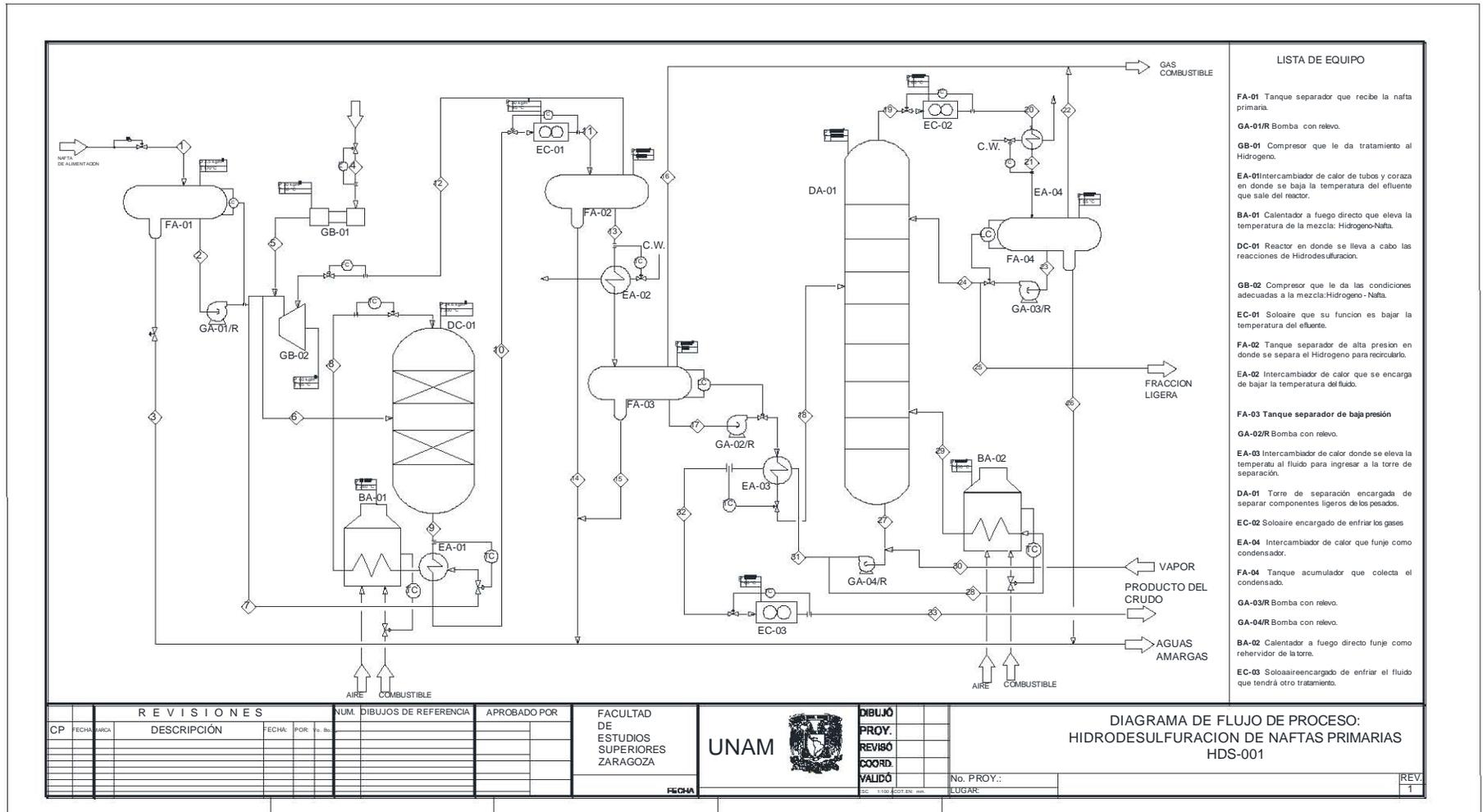


El proceso de presulfhidrado se efectúa a los flujos y presiones normales de operación, conservándose el espacio velocidad. La temperatura no debe exceder los 300°C considerándose 260°C como valor adecuado. Esta temperatura asegura la descomposición del reactivo utilizado H₂S, al mismo tiempo que evita la desactivación del catalizador por reducción debido a la presencia de hidrogeno a temperaturas superiores a 300°C.

La nafta utilizada para esta operación deberá estar desulfurada y deshexanizada, proveniente de almacenamiento y el circuito utilizado para presurizar el catalizador será el correspondiente a la sección de reacción y la corriente líquida (nafta) efluente del tanque separador de alta presión FA-02 se recirculará continuamente al tanque de carga FA-01.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTA

4.3.4 Diagrama de Flujo de Proceso de la planta Hidrodesulfuradora de Naftas Primarias



4.4 SELECCIÓN DE MATERIALES PARA EQUIPO DE PROCESO DE UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Para la selección de los materiales de cada equipo se utilizó la metodología de Selección de Materiales de Ashby que se mencionó en el Capítulo 2, se emplearon las características de los fluidos, ya que como ya hemos mencionado, cuando se trata de hidrocarburos, la principal preocupación que se tiene es la corrosión, sucesivamente se toman en cuenta las condiciones de operación, estado físico, etc., y estas deben de ser compatibles, desde luego, los materiales. Se descarta el equipo mecánico (bombas y compresores) debido a que regularmente el fabricante de estos equipos es quien especifica los materiales de acuerdo a las características de los fluidos que se le proporcionan.

Ya que la principal preocupación en este tipo de industria es la resistencia de los materiales a la corrosión y la reducción de costos, se hará la selección de materiales de acuerdo a su resistencia a la fractura, módulo de Young, temperatura máxima de servicio, costo, etc. A continuación se describe algunas especificaciones de cada equipo, tomadas de la bibliografía y se hará la selección de materiales para cada equipo correspondiente.

Las dimensiones de cada equipo se obtuvieron de datos de documentos de PEMEX disponibles al público, estos se anexan en la bibliografía y algunos otros son supuestos con el único propósito de ejemplificar la selección de materiales.

4.4.1 Tanque separador

Los 4 tanques separadores van a contener fluidos corrosivos, por lo tanto como el objetivo es seleccionar material y no adentrarse en el diseño de cada uno, se pone un ejemplo de la metodología de Ashby con los datos del Tanque FA – 01.

4.4.1.1 Atribución de límites

El material que se elija debe tener una alta resistencia a la corrosión ya que va a tener contacto directo con fluidos y subproductos altamente corrosivos aparte de que debe resistir la presión de la misma, para esto podemos proponer de forma definitiva a los metales ya que la mayoría de ellos tiene una alta resistencia a la corrosión, que es nuestra principal preocupación.

4.4.1.2 Requerimientos de diseño

FA – 01	
Función	Almacenar la nafta primaria, soportar la presión de forma segura
Objetivos	➤ Maximizar la seguridad utilizando el criterio de rendimiento antes de la rotura.
Restricciones mínimas	<ul style="list-style-type: none">✓ Presión de operación: 25000 Kg/m²✓ Temperatura de operación: 170°C✓ Radio R: 1 m✓ Radio r: 0.9 m✓ Diámetro: 1.80 m✓ Longitud: 8 m
Variables libres	Elección del material

4.4.1.3 Índice de materiales

En la FIGURA 3-4 se muestra la tensión de pared que se da en un tanque de almacenamiento cilíndrico (esta figura se usara como ejemplo para los 4 tanques de almacenamiento), la tensión que se genera es longitudinal y está dada por:

$$\sigma = \frac{pD_m}{4t}$$

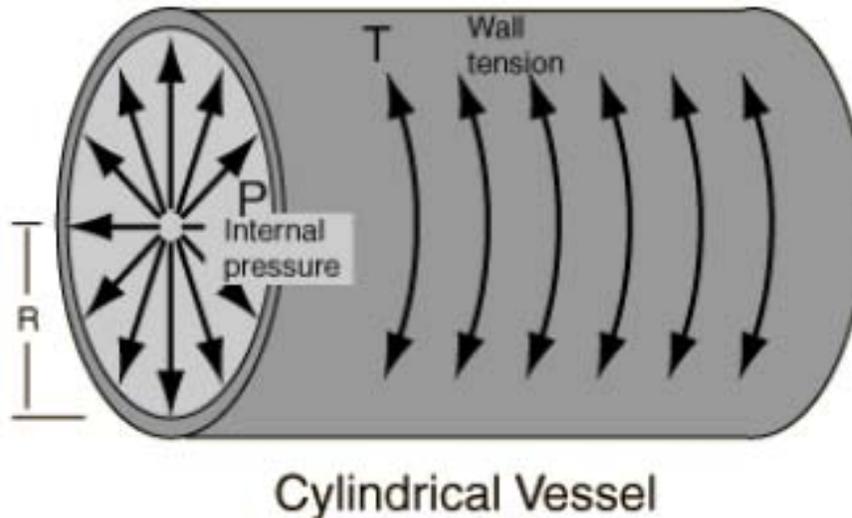
Dónde:

σ = tensión ejercida

P= presión del tanque

r= radio del tanque

FIGURA 3-4 Representación de cómo se ejerce la tensión en la pared del tanque



Para determinar el primer índice M_2 se calcula primero la tensión que se tiene en el tanque σ

1. Para el espesor:

$$t = (1 - 0.90)m = 0.1 m$$

2. Tensión en el recipiente

$$D_{ext.} = 1.8 m + 2(0.1m) = 2 m$$

$$Dm = \frac{1.80 m + 2}{2} = 1.9 m$$

$$\sigma = \frac{250000 \frac{Kg}{m^2} * 1.9m}{4(0.1 m)} = 118750 \frac{kg}{m^2}$$

3. Como se explicó en los ejemplos de aplicación en el Capítulo 3 se plantea que la grieta que llegue a tener el material sea suficientemente grande para penetrar tanto en el interior como en el exterior del recipiente y esta va a ocurrir por una tensión que es menor o igual a:

$$\sigma = \frac{C K_{1c}}{\sqrt{\frac{\pi t}{2}}}$$

Dónde:

C= constante cercana a la unidad, en este caso determinaremos que el valor es de 1 totalmente.

K_{1c} = resistencia a la fractura en este caso supondremos un valor de **90 MPa*m^{1/2}** **que este valor a su vez será el primer índice=M₁**

$$\sigma_f = \frac{(1 * 90 MPa * m^{1/2})}{\sqrt{\frac{\pi * 0.1m}{2}}} = 227.0819 MPa$$

4. Entonces maximizamos este valor determinando el índice M_2 :

$$M_2 = \frac{90 \text{ MPa} * m^{1/2}}{227.0819 \text{ MPa}} = 0.3963 m^{1/2}$$

5. Comprobamos si el espesor es capaz de soportar la presión, sin tener un daño prematuro

$$0.1 \geq \frac{25\,0000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 1 \text{ m}}{2 \left(118750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)} = 0.1 \text{ m}$$

6. Ahora para sacar el tercer índice, determinamos la presión máxima que puede soportar el material

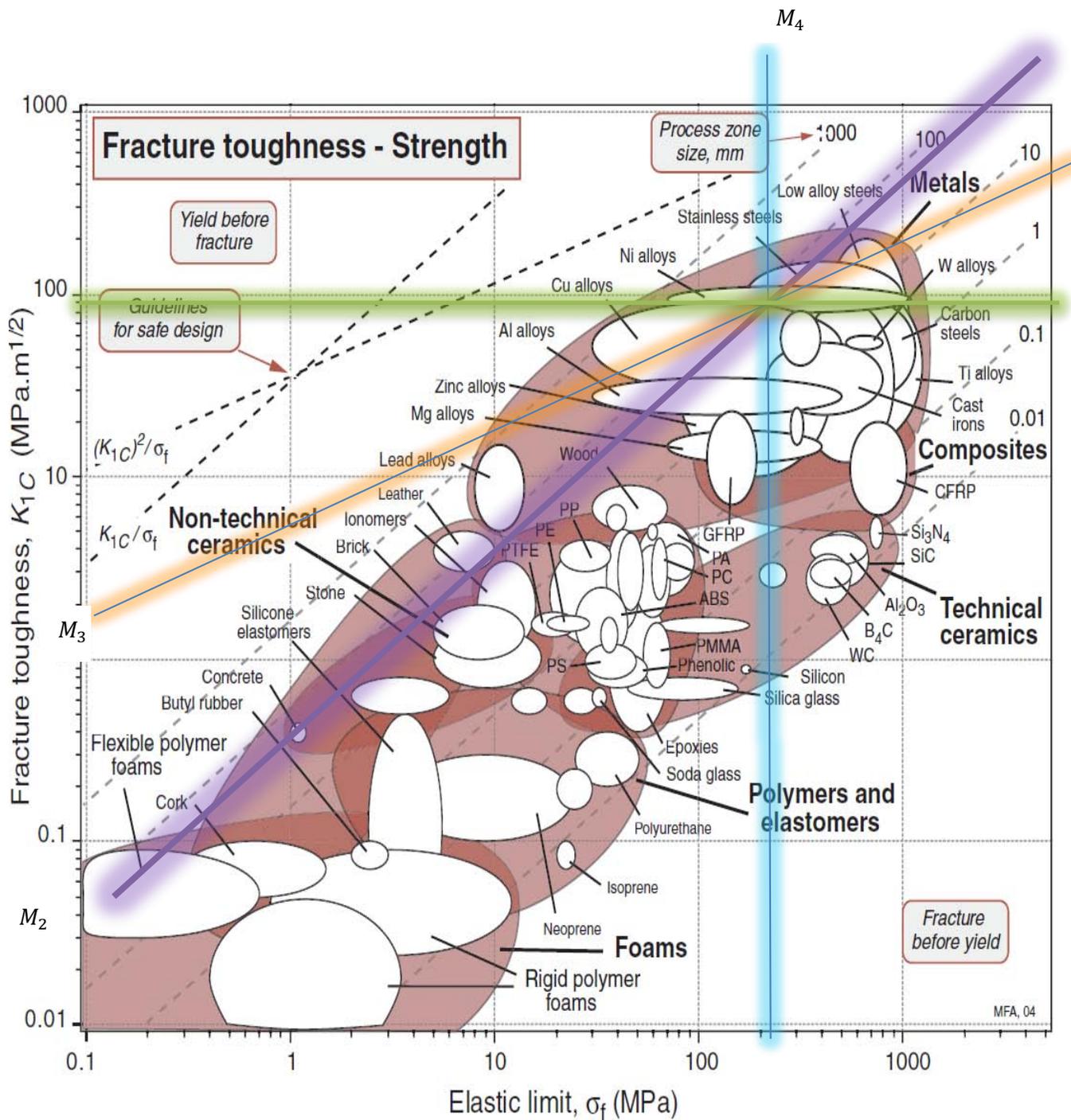
$$M_3 = \frac{\left(90 \text{ MPa} * m^{\frac{1}{2}} \right)^2}{227.0819 \text{ MPa}} = 35.6699 \text{ MPa} * m$$

7. Como vimos en el Capítulo 3, en los casos de estudio, se determina que

$$M_4 = 227.0819 \text{ MPa}$$

8. Ahora que ya tenemos los índices de los materiales, procedemos a ubicarlos en un diagrama de Ashby el cual será Resistencia a la fractura – Limite de Elasticidad, en el siguiente paso.

4.4.1.4 La selección



IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Como lo observamos en el Diagrama de Ashby, la zona de selección abarca:

- ✓ Los aceros inoxidables

Los Aceros Inoxidables son una gama de aleaciones que contienen un mínimo de 11% de Cromo. El Cromo forma en la superficie del acero una película extremadamente delgada, continua y estable. Esta película deja la superficie inerte a las reacciones químicas. Esta es la característica principal de resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables.

La selección de los aceros inoxidables puede realizarse de acuerdo con sus características:

- Resistencia a la corrosión y a la oxidación.
- Resistencia a temperaturas elevadas.
- Propiedades mecánicas del acero.
- Características de los procesos de transformación a que será sometido.
- Costo total (reposición y mantenimiento).
- Disponibilidad del acero.

Los aceros inoxidables tienen una resistencia a la corrosión natural que se forma automáticamente, es decir no se adiciona. Tienen una gran resistencia mecánica, de al menos dos veces la del acero al carbón, son resistentes a temperaturas elevadas y a temperaturas criogénicas.

- ✓ Aceros de baja aleación

Los aceros de baja aleación se utilizan cada vez debido a los requisitos de mayor fuerza con menos peso. Este tipo de aceros son muy soldables por todos los procesos comunes de soldadura.

En esta clase de aceros se pueden encontrar los siguientes tipos:

- Austenítico al Manganeso
- Aleación de Cromo
- Carbono Molibdeno
- Cromo Vanadio
- Aleación de manganeso
- Níquel Molibdeno
- Manganeso Molibdeno
- Níquel Cromo
- Níquel Cromo Molibdeno
- Níquel Cobre

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

En la siguiente TABLA 6 – 4 se tiene información de algunos aceros inoxidable y de baja aleación que pueden ser útiles para el tanque.

TABLA 6 – 4 Selección de posibles materiales para un tanque de separación

TIPO	DESIGNACION	DESCRIPCION GENERAL	COMPOSICION QUIMICA (%)
Acero inoxidable austenítico	AISI 316	Son muy resistentes a la corrosión por picadura, mayor resistencia a la corrosión por aireación diferencial y tiene mejor comportamiento que los aceros tipo AISI 304 frente a la corrosión bajo tensión, esto debido a la presencia de Molibdeno.	C 0.08 Mn 2.00 P 0.04 S 0.03 Si 0.75 Cr 16.0 Ni 10 – 14 Mo 2.0 – 3.0
Acero inoxidable ferrítico	AISI 444	Este tipo de acero exhibe gran resistencia a la corrosión en muchos medios moderadamente agresivos, resiste el ataque de las disoluciones de ácido sulfúrico hasta la temperatura de ebullición.	C 0.03 Mn 1.00 Si 1.00 Cr 17.5 – 19.5 Ni 1.0 P 0.04 S 0.03 Mo 1.75 – 2.5 N 0.035 (máx.) Ti+Nb 0.44 (min)

**IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL
DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE
NAFTAS**

TIPO	DESIGNACION	DESCRIPCION GENERAL	COMPOSICION QUIMICA (%)
Acero de baja aleación serie: 300M	AISI E4340	Este acero cuenta con la adición de vanadio y un alto contenido en silicio, las aleaciones de esta serie ofrece una combinación de resistencia y ductilidad en altos niveles de tensión.	C 0.38 – 0.45 Mn 0.60 – 0.90 P y S 0.010 Si 1.45 – 1.80 Cr 0.70 – 0.95 Ni 1.65 – 2 Mo 0.30 – 0.50

4.4.2 Calentador a fuego directo BA - 01

En la selección de los materiales que componen el horno influyen las condiciones ambientales, los factores estructurales y las condiciones del proceso. La determinación y estudio de estos factores determinaran la utilización de materiales costosos o baratos.

Para ambos calentadores se van a seleccionar materiales refractarios que nos ayuden a conservar el calor para el ahorro de energía, es decir, se elegirá el material para las paredes que estarán en contacto con la parte interior del horno de manera que los criterios de selección serán la conductividad del material y la difusividad térmica.

4.4.2.1 Atribución de límites

Como ya sabemos el punto más importante del uso de hornos o calentadores a fuego directo es utilizar la menor cantidad de energía posible cumpliendo con los requerimientos de temperatura para nuestro proceso, debido a que el suministrar energía implica costos muy altos, en el diseño de un horno siempre se buscan materiales que sean capaces de retener la energía sin que este tenga un daño prematuro que afecte su eficiencia, pero también se busca que el material sea lo menos costoso posible siempre y cuando pueda cumplir las especificaciones de nuestro diseño. Por ello inicialmente descartaremos la mayoría de los materiales existentes y tomaremos en cuenta únicamente materiales refractarios para la selección del material de los hornos BA- 01 y BA – 02.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

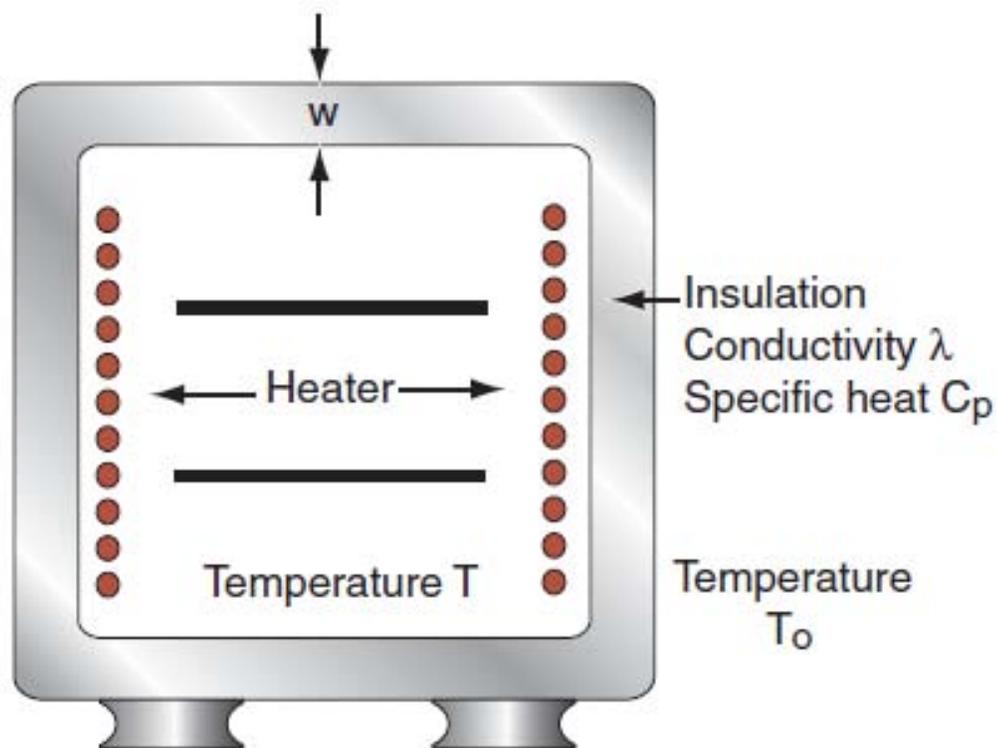
4.4.2.2 Requerimientos de Diseño

REQUERIMIENTOS	BA – 01
Función	Elevar la temperatura de la nafta combinada con hidrogeno, para que la mezcla entre al reactor a una temperatura constante.
Objetivos	Minimizar lo más posible la energía consumida en un ciclo del horno. Resistir altas temperaturas
Restricciones mínimas	➤ La temperatura máxima de servicio será de 260 °C
Variables libres	➤ Elección de material ➤ Espesor de la pared del horno

4.4.2.3 Índice de materiales

En la FIGURA 4-4 se muestra el esquema de un horno en donde las paredes del mismo siempre alcanzan la temperatura de operación del horno por un lapso corto de tiempo, sin embargo a través de la pared se irá perdiendo el calor mientras pase el tiempo. Cuando el material con el que esta hecho el horno no es capaz de soportar las altas temperaturas es evidente que después de un corto tiempo este se deformará por otro lado cuando tenemos un material que resiste altas temperaturas pero este no es capaz de retener el calor lo suficiente por un periodo largo de tiempo, este hará que empleemos un espesor de pared muy grande o que incrementemos la energía, lo cual sería muy costoso.

FIGURA 4-4 Comportamiento del flujo de calor en un horno



IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Para seleccionar un material que pueda cubrir las necesidades para este proceso, calcularemos el índice, como lo vimos en el Capítulo 3.

Los datos de este horno son:

$$Q=28.10 \times 10^6 \text{ kcal}$$

$$T_1=219^\circ\text{C}$$

$$T_2=320^\circ\text{C}$$

Temperatura máxima de servicio: 325 °C

Para el cálculo del calor específico supondremos una masa $m=28$ Ton (28,000 Kg)

Entonces tenemos que:

$$Q = m * C_p * (T_2 - T_1)$$

Despejando C_p :

$$C_p = \frac{28.10 \times 10^6 \text{ kcal}}{28000 \text{ kg} * (320^\circ\text{C} - 219^\circ\text{C})} = 3.0453 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right)$$

$$C_p = 3.0453 \times 10^{-3} \frac{\text{kcal}}{\text{g } ^\circ\text{C}}$$

Para la conductividad térmica, dado que no tenemos aún un material específico nos basamos en TABLA 7-4 encontrada en la literatura que clasifica los materiales en buenos, moderados y malos aislantes

TABLA 7 – 4 Parámetros de conductividades térmicas

TIPO DE MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TERMICA (BTU*in/hft ² °F)	CONDUCTIVIDAD TERMICA (W/m K)	CONDUCTIVIDAD TERMICA (kcal/m h °C)
Altamente aislantes	0.3-2.0	0.043-0.288	0.037-0.25
Moderados aislantes	2.0-5.0	0.288-0.721	0.25-0.62
Malos aislantes	>5.0	>0.721	>0.62

Considerando que nuestro material debe ser moderadamente aislante, ya que nuestra temperatura máxima de servicio no es tan alta, tomaremos un valor de:

$$\lambda = 0.60 \frac{kcal}{cm h ^\circ C} = 0.71 \frac{W}{m K}$$

Se sabe que un buen material cerámico posee una baja densidad, en la TABLA 8 – 4 se muestran algunos materiales que han demostrado tener buena resistencia térmica y que podría acortar mucho nuestra selección de materiales, para nuestro ejemplo tomaremos un valor aleatorio para densidad de nuestro material seleccionado posteriormente.

TABLA 8 – 4 Propiedades de algunos materiales y sus densidades

MATERIAL CERAMICO	DENSIDAD (g/cm ³)
Ladrillo (arcilla cocida)	2.3
Cemento Portland	2.4
Carburo de Silicio	3.2
Nitruro de Silicio	3.2
Sílice vítrea	2.2
Nitruro de Boro	2.3
Alúmina	3.5
Carburo de Titanio	4.9
Zirconia	5.7-6.1
Carburo de Wolframio	15.7

Para calcular el espesor de pared de nuestro horno empleamos la siguiente ecuación que vimos en el Capítulo 3:

$$w = \left(\frac{2 \lambda t}{C_p \rho} \right)^{1/2}$$

Suponemos un tiempo de residencia en el horno de 1.5 h y una densidad de 2.0 g/cm³, sustituyendo tenemos:

$$w = \left(\frac{2 * 0.60 \frac{kcal}{cm \cdot h \cdot ^\circ C} * 1.5 h}{3.0453 \times 10^{-3} \frac{kcal}{g \cdot ^\circ C} * 2.0 \frac{g}{cm^3}} \right)^{1/2} = 17.1912 \text{ cm}$$

$$w = 17.1912 \text{ cm} * \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right)$$

$$w = 0.1719 \text{ m}$$

Para determinar el índice de nuestro material aplicamos la siguiente formula:

$$M = \frac{a^{1/2}}{\lambda}$$

Donde a representa el valor de $\frac{\lambda}{\rho c_p}$

Sustituyendo tenemos que:

$$a = \frac{0.60 \frac{\text{kcal}}{\text{cm h } ^\circ\text{C}}}{2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 3.0453 \times 10^{-3} \frac{\text{kcal}}{\text{g } ^\circ\text{C}}} = 98.5124 \frac{\text{cm}^2}{\text{h}}$$

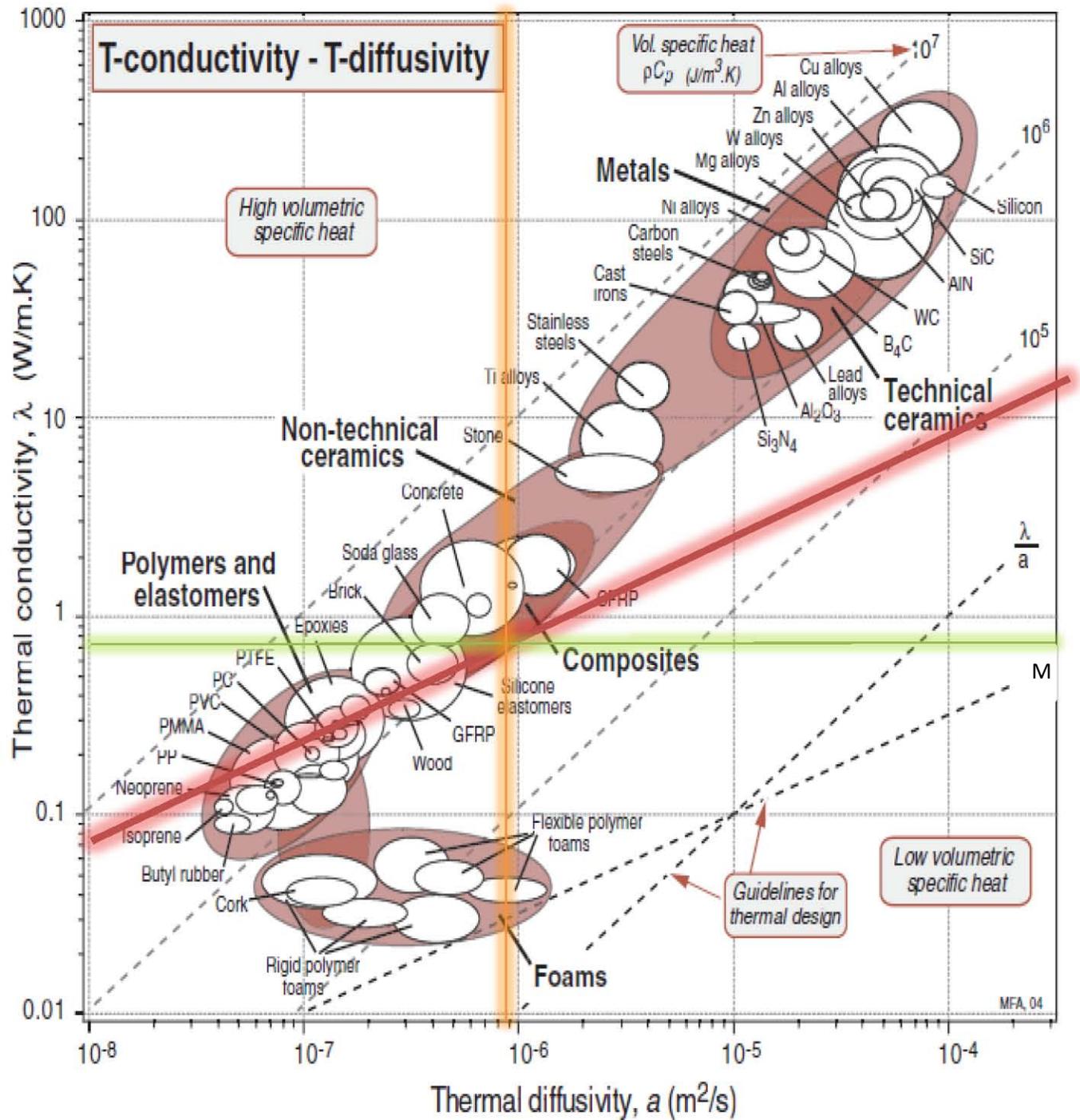
$$a = 98.5124 \frac{cm^2}{h} * \left(\frac{1 m}{100 cm} \right)^2 * \left(\frac{1 h}{3600 s} \right) = 2.7364 x 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$a = \left(2.7364 x 10^{-6} \frac{m^2}{s} \right)^{1/2} = 1.6542 x 10^{-3} \frac{m}{s^{1/2}}$$

$$M = \frac{1.6542 x 10^{-3} \frac{m}{s^{1/2}}}{0.71 \frac{W}{m K}} = 2.3298 x 10^{-3} \frac{m^2 K}{s^{1/2} W}$$

En el siguiente paso de la metodología vemos el Diagrama de Ashby de *Termo-conductividad – Termo-difusividad*, en donde vamos a ubicar los parámetros de $a^{1/2}$ y λ , cuando se tienen ubicados ambos puntos se traza una línea paralela a la del índice M que va a llegar hasta donde toque el punto del valor de λ y nuestra área de selección se encontrará en la superficie del triángulo que se forme sobre el diagrama.

4.4.2.4 La selección del material



IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Recordemos que los hornos de refinería están compuestos por dos tipos de materiales siempre:

4.4.2.4.1 Cubierta

En general la cubierta o pared exterior del horno incluyendo la cubierta de la chimenea, se fabrica de placas de acero de un espesor generalmente de 6.35 mm, las cuales son reforzadas para evitar torceduras en la estructura, las placas se unen de manera hermética mediante una soldadura para evitar las filtraciones de aire, agua y cualquier otra sustancia en el interior del horno.

4.4.2.4.2 Pared interna

Esta pared es la más importante ya que es la que estará en contacto directo con el calor y que impide la pérdida de energía además de que es la encargada de proteger a la cubierta de los efectos de la corrosión

El diagrama de Ashby nos sugiere materiales como los polímeros o los elastómeros de siliconas, lo cual se descarta ya que estos materiales son capaces de resistir temperaturas hasta 300°C y nuestra temperatura de servicio es ligeramente mayor, otra desventaja de estos materiales es que no pueden exponerse durante mucho tiempo al calor es decir, pueden exponerse a temperaturas altas pero por muy poco tiempo si fuese al contrario este se dañaría, por otro lado son materiales muy caros, lo cual no nos convendría del todo.

Otro punto que toca la línea es la de los ladrillos y que definitivamente son los ideales para cubrir las necesidades del proceso, de acuerdo a la Norma: NRF-124, en la TABLA 9 – 6 se muestran los materiales que pueden ser útiles para este proceso:

TABLA 9 – 6 Selección de materiales para la pared de un horno

Material	Descripción	¿Adecuado?
Ladrillo refractario de arcilla tipo 1	Estos ladrillos provienen del grupo de los aluminosilicatos los cuales contienen Oxido de aluminio y Sílice, y su temperatura máxima de servicio es de 870 °C ideal para este horno *Fuente NRF-124-PEMEX-2007:	Este material es el adecuado para la pared interna del horno.
Elastómero de silicona	Este material tiene una conductividad térmica muy baja, pero su máxima temperatura de servicio no es la adecuada para este horno	Este y otros elastómeros se descartan.

4.4.3 Reactores

Los reactores son recipientes que pueden considerarse como recipientes a presión ya que trabajan a una presión diferente a la del ambiente en la selección para este material se tendrá mucho cuidado dado que aquí se llevan a cabo las reacciones principales y la combinación de los productos con los subproductos es un enorme daño para el material, principalmente por el Ácido Sulhídrico (H_2S) que se forma.

4.4.3.1 Atribución de límites

En la mayoría de los reactores se busca que el material, evidentemente, sea altamente resistente a la corrosión ya que como se mencionó se llevan a cabo las reacciones y se tienen combinados productos y subproductos.

4.4.3.2 Requerimientos de diseño

DC – 01	
Función	➤ En él se llevan a cabo las reacciones de Hidrodesulfuración y está expuesto a daños prematuros debido a la alta corrosividad de los productos.
Objetivos	➤ Maximizar la seguridad utilizando el criterio de rendimiento antes de la rotura.
Restricciones mínimas	✓ Presión de operación: $171,0750 \text{ Kg/m}^2$ ✓ Temperatura de operación: $340\text{-}540^\circ\text{C}$ ✓ Radio R: 2.5 m ✓ Radio r: 2.0 m ✓ Diámetro: 4.6 m ✓ Longitud: 10 m
Variables libres	Elección del material

4.4.3.3 Índice de materiales

Consideraremos un valor supuesto de Modulo de Young aproximado, el criterio para suponer este valor es de acuerdo a información obtenida de la bibliografía, es decir, tablas de valores de Modulo de Young de diferentes materiales.

$$E = 190 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

$$190 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * \left(\frac{1 \text{ Pa}}{1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \right) = 190 \times 10^9 \text{ Pa}$$

$$190 \times 10^9 \text{ Pa} * \left(\frac{1 \text{ GPa}}{10^9 \text{ Pa}} \right) = 190 \text{ GPa}$$

$$E = 190 \text{ GPa}$$

Como el reactor DC – 01 es un recipiente cilíndrico a presión la tensión la calculamos como en el ejemplo 4.4.1.

$$t = 2.5 \text{ m} - 2.0 \text{ m} = 0.5 \text{ m}$$

$$D_{EXT} = 4.6 \text{ m} + (2 * 0.5 \text{ m}) = 5.6 \text{ m}$$

$$D_m = \frac{(4.6 \text{ m} + 5.6 \text{ m})}{2} = 5.1 \text{ m}$$

$$\sigma = \frac{1710750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 5.1 \text{ m}}{4 * (0.5 \text{ m})} = 4363413 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Con un valor de $K_{Ic} = 100 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ (M_1), tenemos que la grieta se propaga cuando la tensión es:

$$\sigma_f = \frac{1 * 100 \text{ MPa} * \text{m}^{1/2}}{\sqrt{\frac{\pi * 0.5 \text{ m}}{2}}} = 112.8379 \text{ MPa}$$

Comprobamos que el espesor de pared del reactor soportara la tensión ejercida

$$0.2 \geq \frac{1710750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 2.5 \text{ m}}{2 \left(10264500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)} = 0.2 \text{ m}$$

Calculamos los índices M_2 y M_3

$$M_2 = \frac{112.8379 \text{ MPa}}{190 \text{ GPa} \left(\frac{10^9 \text{ Pa}}{1 \text{ GPa}} \right) \left(\frac{1 \text{ MPa}}{10^6 \text{ Pa}} \right)} = 5.94 \times 10^{-4}$$

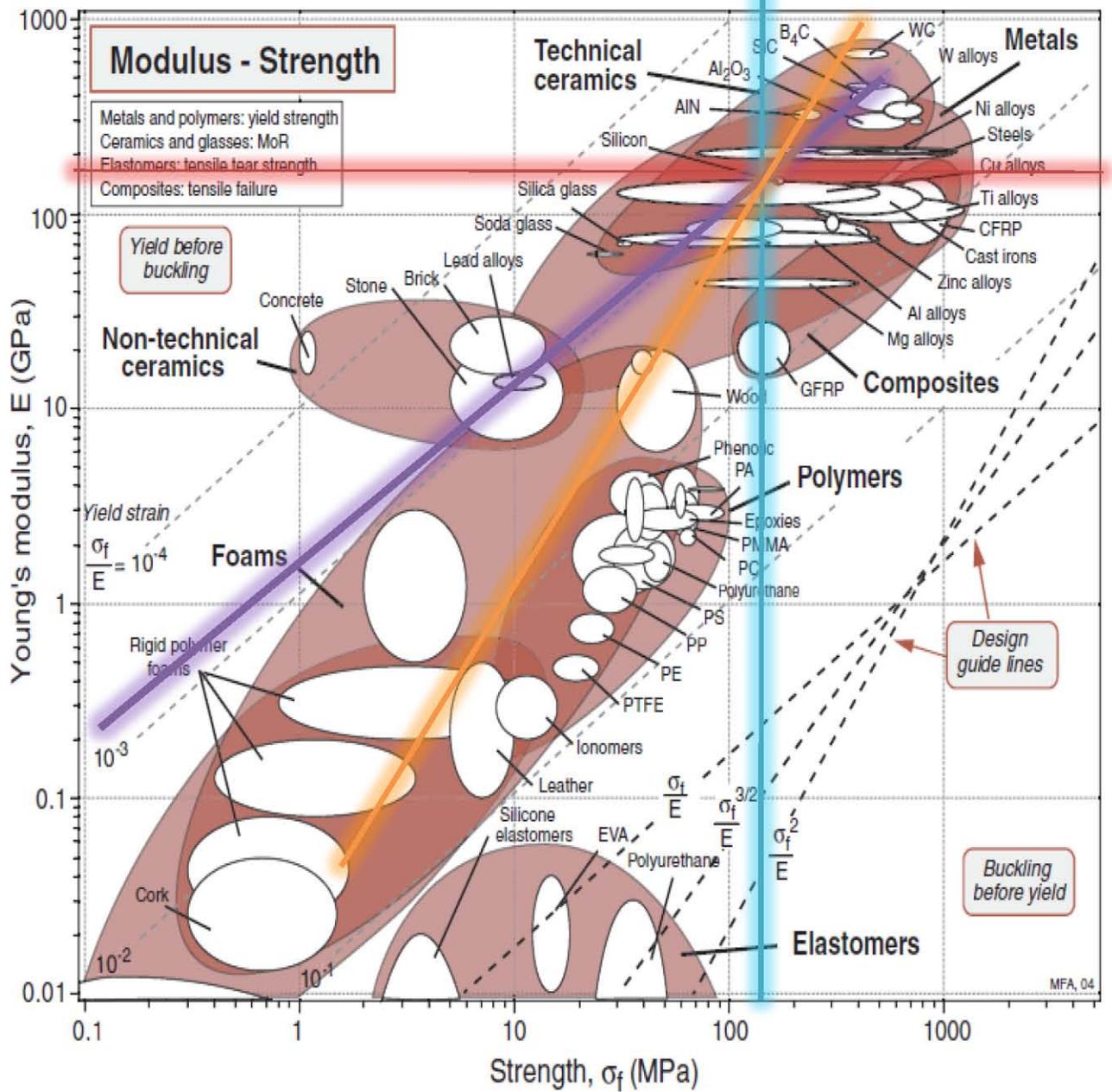
$$M_3 = \frac{(112.8379 \text{ MPa})^2}{190 \text{ GPa} \left(\frac{10^9 \text{ Pa}}{1 \text{ GPa}} \right) \left(\frac{1 \text{ MPa}}{10^6 \text{ Pa}} \right)} = 0.0670$$

$$M_4 = 112.8379 \text{ MPa}$$

En el gráfico de Ashby: Modulo de Young – Fuerza marcamos los índices ubicando primero los puntos principales E y σ_f y donde crucen estas se ubican los índices M_2 y M_3 trazando las líneas paralelas.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

4.4.3.4 La selección



IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Los índices nos indican que los materiales adecuados para el reactor son:

- ✓ Aceros, los cuales ya explicamos con anterioridad.
- ✓ Aleaciones de Níquel: Las aleaciones de Níquel se utilizan en aplicaciones de altas temperaturas y en plantas nucleares, en equipo para el manejo de alimentos y procesos químicos, en el acuñado de monedas y en aplicaciones marinas. Las aleaciones de Níquel tienen una alta fortaleza y resistencia a la corrosión y al desgaste a temperaturas altas; los elementos de aleación en el Níquel son el Cromo, Cobalto, y el Molibdeno, el comportamiento de las aleaciones en el maquinado, formado, fundido y soldado puede ser modificado mediante otros elementos de aleación.
- ✓ Aleaciones de Cobre: Aunque el cobre puro se emplea principalmente como conductor eléctrico, no es adecuado para aquellas aplicaciones que requieren resistencia mecánica, buena maquinabilidad y gran resistencia a las temperaturas elevadas y al desgaste. Las aleaciones de cobre con porcentajes variables de otros metales como Zinc, Aluminio, Estaño, Níquel, Hierro, etc., son muy útiles para las aplicaciones antes mencionadas.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

En la TABLA 10 – 4 se muestran algunos materiales que pueden ser útiles para la construcción del reactor

TABLA 10 – 4 Características de materiales posibles para reactores

TIPO	DESIGNACION	DESCRIPCION GENERAL	COMPOSICION QUIMICA (%)
Acero inoxidable	AISI 304	La aleación 304 es un acero inoxidable austenítico de uso general con una estructura cúbica de caras centradas. Es esencialmente no magnético en estado recocido y sólo puede endurecerse en frío. Su bajo contenido en carbono con respecto a la aleación 302 otorga una mejor resistencia a la corrosión en estructuras soldadas.	C 0.08 Mn 2.0 S 0.03 P 0.04 Si 0.75 Cr 18 – 20 Ni 8.0 – 11.0 Mo ---
Aleación de Níquel	INCONEL 600 (recocido)	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a un amplio rango de ambientes corrosivos. • Virtualmente inmune al agrietamiento por tensión de corrosión causada por el ion cloruro. • No es magnético. • Excelentes propiedades mecánicas. • Alta fuerza y fácil para soldar bajo un amplio rango de temperaturas. 	C 15 (máx.) Mn 1.0 (máx.) S 0.015 (máx.) Si 0.50 (máx.) Cr 14.0 – 17.0 Ni+Co 72.0 (min.) Fe 6.0 – 10.0 Cu 0.50

4.4.4 Tuberías

Las tuberías también son parte fundamental del proceso y por ello se debe tener mucho cuidado ya que mediante estas se transportan todo tipo de fluidos que se produzcan en la planta y son más susceptibles a colapsar debido a que tienen un menor espesor de pared y su diámetro es incomparable con el de un equipo de proceso, por ello procedamos a buscar un material mediante el Método de Ashby, que sea aceptable para una tubería que tiene contacto con fluidos altamente corrosivos.

4.4.4.1 Atribución de límites

La línea que vamos a tomar como ejemplo en este caso será la número 9 (véase Diagrama de Flujo de Proceso) la cual lleva el efluente del reactor, quien lleva entre otros productos, Ácido Sulfhídrico el cual es altamente peligroso para nuestro material ya que es muy corrosivo. Para las tuberías es recomendable usar materiales como aceros aleados o aceros al carbón, según la Norma ASME B31.1.

4.4.4.2 Requerimientos de diseño

Línea 9 (tubería de salida del Reactor DC – 01)	
Función	Transportar el efluente del reactor al intercambiador de calor EA – 1
Objetivos	➤ Maximizar la seguridad utilizando el criterio de rendimiento antes de la rotura y evitar tener un daño prematuro por corrosión.
Restricciones mínimas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Presión de operación: 1710750 Kg/m² (171.075 kg/cm²) ✓ Temperatura de operación: 570 °C
Variables libres	Elección del material

Hacemos algunas conversiones para poder determinar las dimensiones aceptables que podría tener nuestra tubería.

$$P = 171.075 \frac{kg}{cm^2} * \left(\frac{1 atm}{1.03323 \frac{kg}{cm^2}} \right) = 165.5730 atm$$

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

$$P = 165.5730 \text{ atm} * \left(\frac{14.696 \text{ psia}}{1 \text{ atm}} \right) = 2433.2609 \text{ psia}$$

$$P = 2433.2609 \text{ psia} * \left(\frac{144 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}}{1 \text{ psia}} \right) = 350389.752 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}$$

$$P = 350389.752 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} * \left(\frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \right)^2 = 2433.2609 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

De acuerdo a información de tablas: "MAXIMA PRESION INTERNA PERMITIDA DE OPERACIÓN PARA TUBERIA" tenemos los siguientes datos:

Diámetro nominal	3 ^{1/2} " (0.0889 m), en un margen de corrosión de 3/16"
Espesor de pared	0.25" (0.0063 m)

4.4.4.3 Índice de materiales

La tensión en el tubo se da de la forma que muestra la FIGURA 6 – 4

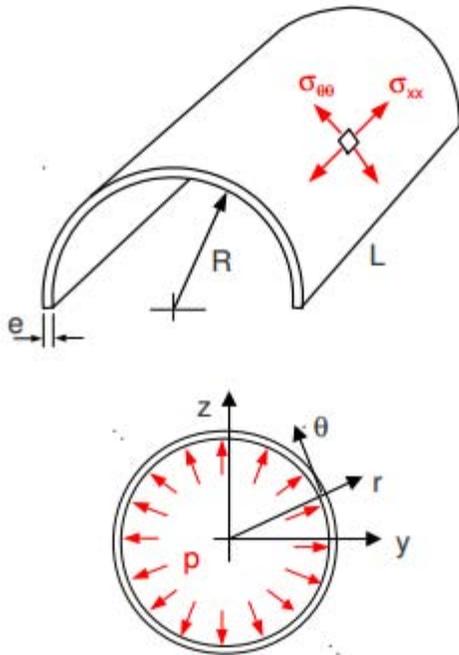


FIGURA 6 – 4 Tensión en tuberías

En un plano de corte transversal (perpendicular a “x”), las tensiones tangenciales σ_{xr} y $\sigma_{x\theta}$, son nulas debido nuevamente a las simetrías del problema (en el caso de la última, puede razonarse por reciprocidad). La tensión σ_{xx} no será nula, y puede también suponerse constante en el pequeño espesor en dirección “r”.

Entonces tenemos los datos:

$$D_i = 0.0889 \text{ m}$$

$$D_e = 0.0889 \text{ m} + (2 * 0.0063 \text{ m}) = 0.1015 \text{ m}$$

$$r = 0.0444 \text{ m}$$

$$R = 0.0507 \text{ m}$$

Calculamos la tensión que tenemos en el tubo:

$$D_m = \frac{(0.0889 \text{ m} + 0.1015 \text{ m})}{2} = 0.0952 \text{ m}$$

$$\sigma = \frac{pDm}{2t}$$

$$\sigma = \frac{1710750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 0.0952 \text{ m}}{2 (0.0063 \text{ m})} = 12925666.67 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Calculamos la presión máxima a la cual empezara a penetrar la grieta en nuestro material, con un $K_{1c} = 120 \text{ MPa} * \text{m}^{1/2}$

$$\sigma_f = \frac{1 * 120 \text{ MPa} * \text{m}^{1/2}}{\sqrt{\frac{\pi * 0.0063 \text{ m}}{2}}} = 1206.288 \text{ MPa}$$

Comprobamos que el espesor tiene el valor suficiente para soportar la presión de operación:

$$0.006 \text{ m} \geq \frac{1710750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 0.0507 \text{ m}}{2 * 12925666.67 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}} = 0.003$$

Calculamos los índices y posteriormente lo reflejamos en el Diagrama de Ashby: Resistencia a la fractura – Limite de Elasticidad.

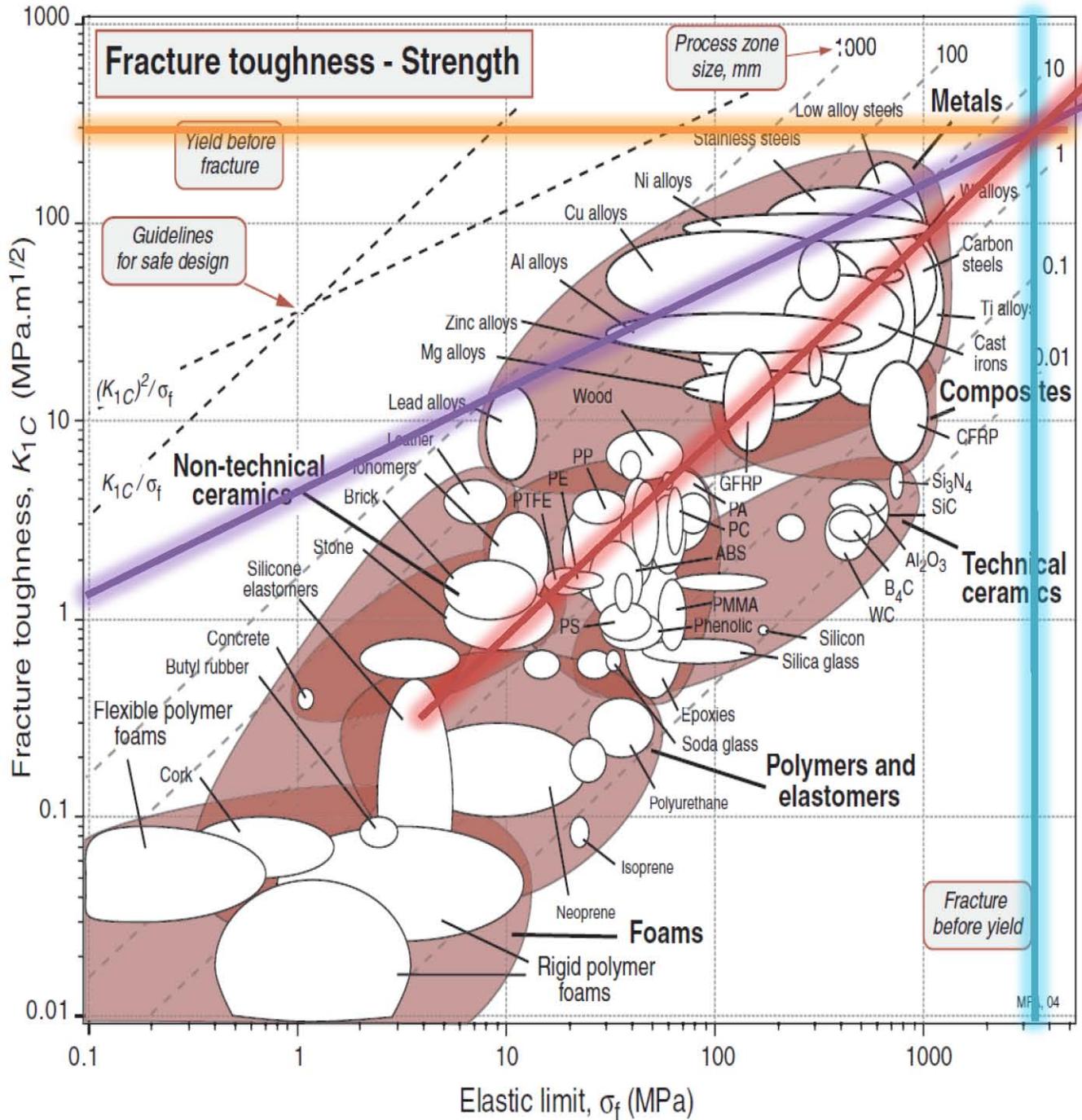
$$M_2 = \frac{120 \text{ MPa} * \text{m}^{1/2}}{1206.288 \text{ MPa}} = 0.0994 \text{ m}^{1/2}$$

$$M_3 = \frac{(120 \text{ MPa} * \text{m}^{1/2})^2}{1206.288 \text{ MPa}} = 11.9374 \text{ MPa} * \text{m}$$

$$M_4 = 1206.288 \text{ MPa}$$

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

4.4.4.4 La selección



IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Los índices nos indican que los materiales idóneos para la tubería son los siguientes:

- ✓ Aceros al Carbón: Esta clase de aceros está dividida en tres grupos principales, (como se muestra en la TABLA 11 – 4), hay muchos tipos de aleaciones de acero, las propiedades de cada una depende de otros elementos que sean agregados al acero.

TABLA 11 – 4 Clasificación de los aceros al carbón

Porcentaje en peso de carbono en el acero	Usos
Contenido bajo en Carbono	
0.05 – 0.20	Carrocerías de automóviles, edificios, tuberías, cadenas, remaches, tornillos y clavos.
0.20 – 0.30	Engranajes, ejes, pernos, piezas forjadas, puentes, edificios, tuberías.
Contenido medio en Carbono	
0.30 – 0.40	Barras de conexión, muñequillas de giro, ejes, piezas forjadas.
0.40 – 0.50	Ejes para carros, cigüeñales, rieles, caleras, destornilladores,
0.50 – 0.60	Martillos, trineos.
Contenido alto en carbono	
0.60 – 0.70	Troqueles de sellado y prensado, destornilladores, martillos de herrería, cuchillos domésticos.
0.70 – 0.80	Caras de yunques, cinceles, trineos, mordazas, cintas de sierras, palancas, juegos de remaches.
0.80 – 0.90	Cinceles, cuchillos domésticos, juegos de remaches, cuchillas de corte, sierras, cinceles para trabajar madera, martillos, resortes.
0.90 – 1.00	Grifos, cuchillos, agujas, resortes, taladros, fresadoras, cuchillas de corte.
1.00 – 1.10	Ejes, cinceles, tapas pequeñas, exprimidores de mano, centros de torno, fresadoras de corte, taladros.
1.10 – 1.20	Fresadoras de corte, exprimidores, herramientas para trabajar madera, sierras, cuchillos, cojinetes de bolas, brocas helicoidales.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

Contenido alto en carbono	
1.20 – 1.30	Brocas helicoidales, guadañas, herramientas de grabado, objetos de corte quirúrgicos.
1.30 – 1.40	Brocas helicoidales pequeñas, máquinas de afeitar, instrumentos quirúrgicos, herramientas de perforación, sierras para cortar metales, cinces para madera.
1.40 – 1.50	Máquinas de afeitar, sierras para cortar acero, cortadoras finas.

- ✓ Aleaciones de Níquel, que ya se explicaron anteriormente.
- ✓ Aleaciones de Titanio: El Titanio se puede alea con Carbono, Oxígeno y Nitrógeno, existen otros elementos que pueden alearse con el Titanio y se dividen en cuatro clases como lo muestra la TABLA 12 – 4:

TABLA 12 – 4 Clases de aleaciones del Titanio

CLASE	DESCRIPCION
1	Los que son completamente solubles en Titanio alfa y beta, de los cuales el más importante es el Circonio.
2	Los que son solubles en todas las proporciones en la forma beta, pero tienen una limitada solubilidad en la alfa: así se comportan el Molibdeno y el Niobio.
3	Los que poseen una limitada solubilidad en la beta y la alfa, si bien mayor en la beta: como por ejemplo el Cromo, el Hierro, el Manganeso y el Vanadio.
4	Los que tienen una limitada solubilidad en las fases beta y alfa, pero es mayor en la alfa: el caso notable es el Aluminio.

La desventaja que pueden presentar estas aleaciones es que son muy caras.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

TABLA 13 – 4 Selección de posibles materiales

TIPO	DESIGNACION	DESCRIPCION GENERAL	COMPOSICION QUIMICA (%)	
Acero al carbono	ASTM A 53 B	Se utiliza para tubos que transporten fluidos y gases de uso frecuente en la industria petroquímica, pesca, minera e industria en general.	C 0.3 Mn 1.2 P 0.05 S 0.045 Cu 0.4 Ni 0.4 Cr 0.4 Mo 0.15 V 0.08	
Acero al carbono	API 5L B	Tubos de línea para la industria petrolera	C 0.3 Mn 1.2 P 0.05 S 0.045 Cu 0.4 Ni 0.4 Cr 0.4 Mo 0.15 V 0.08	
Acero al Carbono	ASTM A 106 B	Para tuberías que darán servicio a media y alta temperatura.	C 0.3 Mn 1.2 P 0.05 S 0.045 Cu 0.4	Ni 0.4 Cr 0.4 Mo 0.15 V 0.0

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

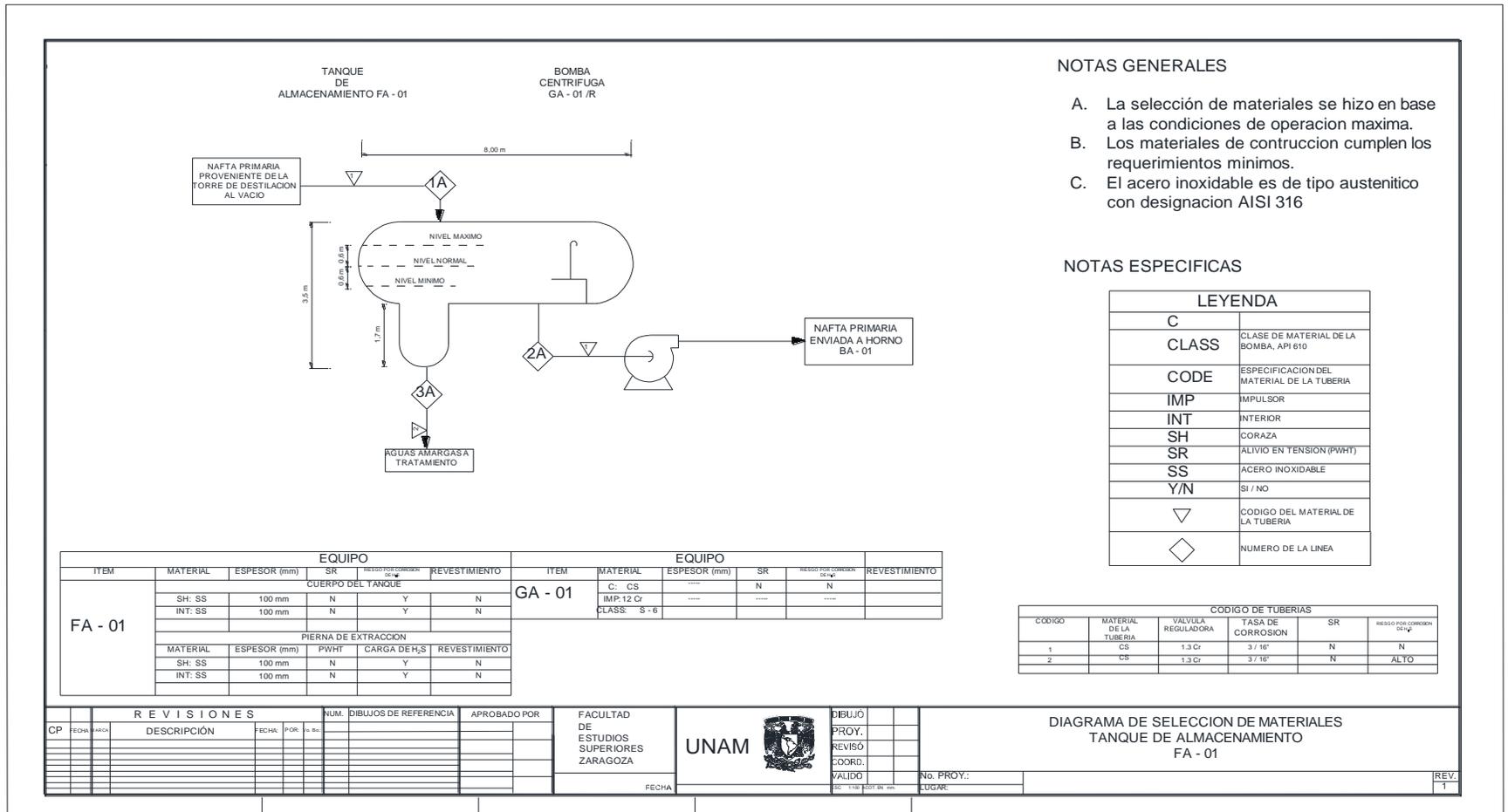
En general se puede decir que los Aceros al carbono de grado B son los ideales para nuestra tubería.

La información de los materiales seleccionados se ve reflejada en el Diagrama de Selección de Materiales (M.S.D. por sus siglas en inglés) junto con más información acerca del equipo de acuerdo a la Norma **NACE-SP 0407- 2013** que se explicó en el capítulo anterior.

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTA

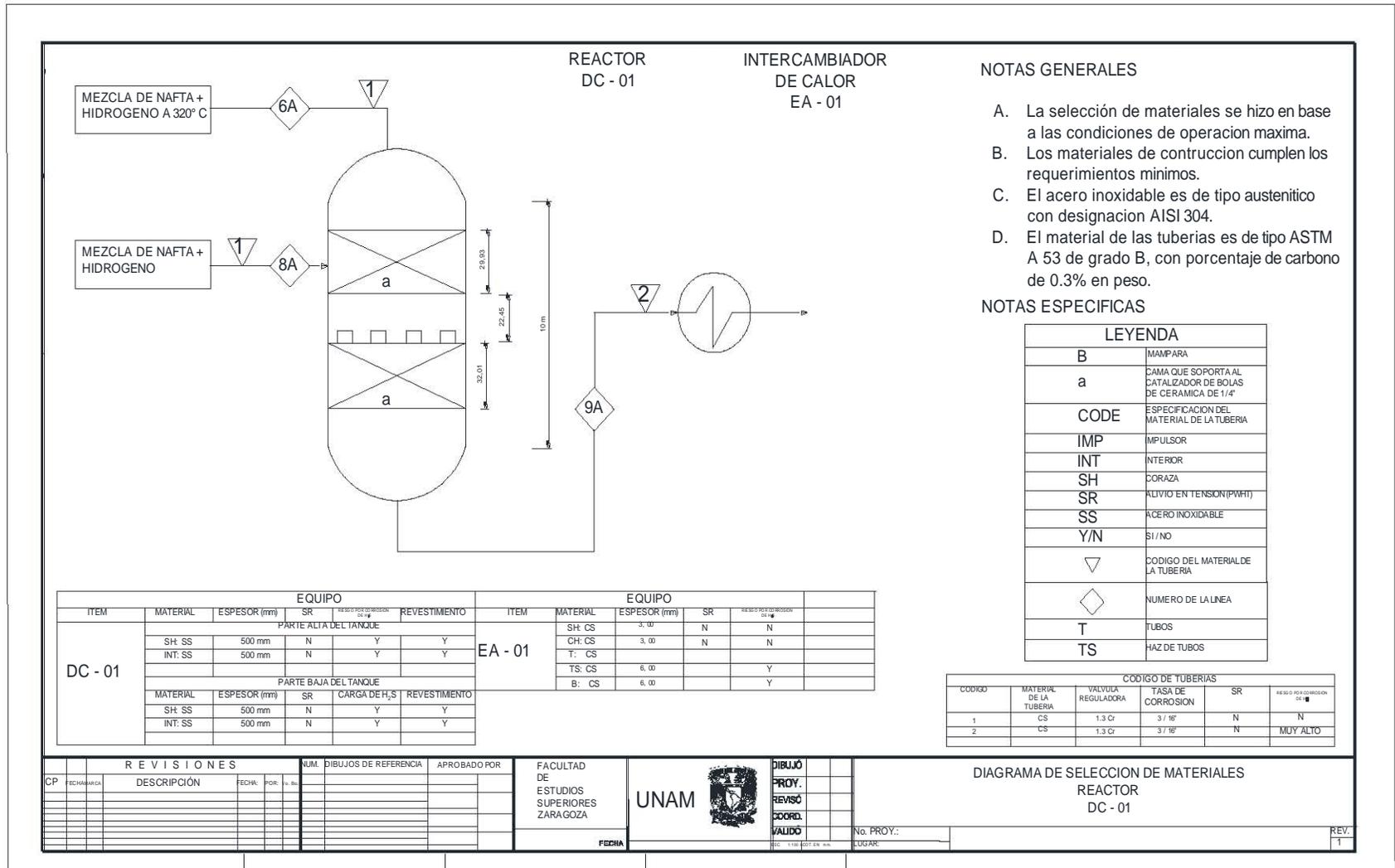
4.5 Diagrama de selección de materiales (MSD)

4.5.1 Diagrama de Selección de Materiales del Tanque de Almacenamiento FA - 01



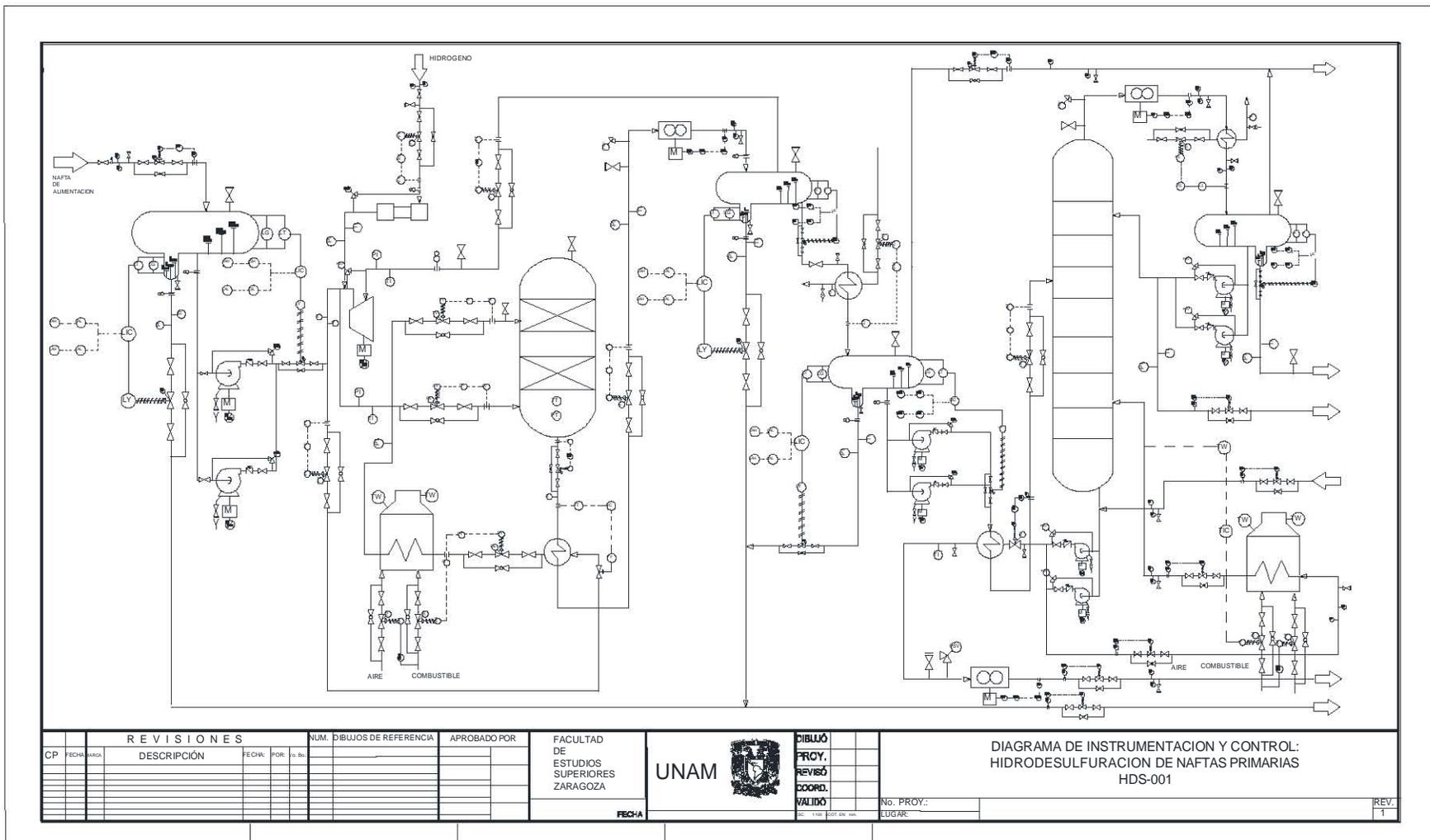
IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTA

4.5.2 Diagrama de Selección de Materiales del Reactor DC - 01



IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

4.5.1 Diagrama de Tubería e instrumentación preliminar



CONCLUSIONES

1. La Ingeniería Básica es la fase donde se lleva a cabo gran parte de la estructura de todo el proyecto, si bien, es la fase que da la pauta para continuar con el resto de las actividades para dar por terminado el proyecto, de acuerdo a esta investigación, en la Ingeniería Básica se lleva a cabo el diseño del proceso del producto final, y a su vez se lleva a cabo el diseño que cada componente de tal proceso, nos referimos al equipo de proceso, el cual es muy importante debido a que el buen diseño del mismo nos permitirá que la eficiencia del proceso sea satisfactoria o no.
2. En el diseño del equipo, se ve involucrado también el material de construcción, que es fundamental para el diseño final, ya que no podemos proponer un material sin antes saber que este podrá proporcionarnos seguridad y eficiencia en el servicio, es por eso que se han desarrollado muchos métodos para hacer de la selección de materiales una actividad más minuciosa pero sin emplear tanto tiempo en investigación, ya que sería una pérdida de recursos en el proyecto porque como vimos existe una gran cantidad de materiales disponibles para la construcción de equipo y tuberías, pero no todos son útiles para todas las industrias existentes, ya que cada una requiere de distintos servicios y de distintas condiciones de operación. Cada firma de Ingeniería tiene su manera de seleccionar sus materiales de construcción, todos deben basarse en las normas establecidas para seleccionar materiales de forma segura y eficaz, otros se basan en la información del proveedor de materiales y algunos lo hacen mediante la experiencia, ya que es una práctica muy fácil y es válido, pero en el caso de que se tenga un proceso que se analice por primera vez o que no se haya trabajados con los productos anteriormente, los métodos cuantitativos para la selección de materiales podría ser de gran ayuda, ya que son métodos rápidos que nos ayudan a tener una idea más clara de dónde empezar a buscar.
3. Como vimos, la estructura de los Diagramas de Ashby son muy simples y fáciles de usar, pero sobretodo es conveniente usarlos ya que cuando tenemos más de una restricción de diseño en nuestro material, es muy difícil encontrar una situación parecida, si es que nos basamos en experiencia, los criterios para seleccionar el material no siempre serán los mismos en todos los proyectos, siempre se va a tener una restricción más o una restricción menos, dependiendo del caso. Y sus aplicaciones son extensas ya que existe más de un diagrama que engloba las propiedades por pares y en ellos se tiene a todos los materiales existentes, lo cual es una ventaja por que podríamos aplicarlos a muchas industrias. Toda la información obtenida de los Diagramas de Ashby, en cuanto a información de materiales, la encontramos más detalladamente en el Diagrama de Selección de Materiales, en el cual podemos leer las especificaciones de los materiales de construcción y las especificaciones de los equipos, principalmente esta información le es muy útil al cliente o empresa que licito el proyecto, lo que lo hace un documento formal que se entrega junto con los demás documentos cuando el proyecto se cierra.
4. De manera formal, se concluye que los Diagramas de Ashby son viables para ser empleados en un proyecto real, ya que se demostró que acorta tiempo en la búsqueda de materiales y se demostró que efectivamente nos puede proporcionar materiales que nos sean útiles para el servicio, esto lo pudimos comprobar buscando en la bibliografía, los materiales adecuados para cada uno de nuestros ejemplos.

BIBLIOGRAFIA

1. Ashby, Michael F., 2005. **“Material Selection in Mechanical Design”**. Tercera Edición. Ed. ELSEVIER.
2. Ballesteros Salán, María Nuria. 2009, **“Tecnología de proceso y transformación de materiales”**. Universidad Politécnica de Catalunya.
3. Baron, Hervé. **“The Oil and Gas Engineer”**. Ed. OPHRYS
4. Barrera Tapia, Arturo. Jiménez García, Fausto. Valencia Fernández, José de Jesús., 1998. Laboratorio de Procesos y Diseño III. **“Diseño de una Planta Hidrodesulfuradora de Gasolina”**. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.
5. Bilurbina Alter, Luis, Iribarren Laco, Ignacio, 2004. **“Corrosión y Protección”**. Universidad Politécnica de Catalunya.
6. Callister, William D., 2002. **“Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales”**. Ed. Reverté.
7. Campbell, Flake, 2012. **“Phase Diagrams: Understanding the Basis”**. ASM Internacional. Págs. 42.
8. Cisternas, Luis A, 2009. **“Diagramas de Fases y su Aplicación”**. Editorial REVERTE. Págs. 134.
9. Cunill, Fidel. Iborra, Monserrat. Tejero, Javier, 2010. **“Reactores Químicos”**. Ed. ERQ. Universitat de Barcelona.
10. Davis, Joseph, 2000. **“Corrosion: understanding the basics”**. ASTM International
11. Editorial Vértice, 2008. **“Gestión de Proyectos”**. Ed. Vértice. Págs. 2-6.
12. Garverick, Linda, 1994. **“Corrosion in a Petrochemical Industry”**. Volumen 11. Ed. ASM International.
13. González, Jorge Luis, 2004. **“Mecánica de Fractura”**. Ed. Limusa y Noriega Editores.
14. Gupta, Shant P., 2003, **“Phase equilibria in Materials”**. Ed. Allied Publishers PVT.
15. Hatch, Lewis F., Sami Matar, D., 2001. **“Chemistry of Petrochemical Processes”**. 2º Edición. Ed. Gulf Professional Publishing.
16. Heaton, C.A., 1994. **“The Chemical Industry”**. Ed. Springer Science & Business media.
17. Jackson, Harold L., Smiley, Robert, 2002. **“Chemistry and Chemical Industry: A practical guide for non-chemists”**. Ed. CRC Press.
18. Jeffus, Larry. 2009. **“Soldadura: principios y aplicaciones”**. Ed. Paraninfo
19. Kalpakjian, Serope. Schmid, Steven R., Sánchez García, Gabriel, 2002. **“Manufactura, Ingeniería y Tecnología”**.
20. Kister Henry Z., 1990. **“Distillation Operation”**. Mc. Graw Hill.

21. Kutz, Myler, 2002. **"Handbook of materials selection"**. Ed. John Wiley & Sons.
22. Laughlin, David E., Agosto 1989. **"Metallurgical and Materials Transactions"**. Volumen 20.
23. Levenspiel, Octave, 1993. **"Flujo de Fluidos e Intercambio de Calor"**. Ed. REVERTE.
24. Miranda M., Juan José, 2005. **"Gestión de Proyectos"**. Ed. MM Editores.
25. Molera Solá, Pere. 1990. **"Metales resistentes a la corrosión"**. Ed. Marcombo
26. Monllor Domínguez, Jorge, 1994. **"Economía, Legislación y Administración de Empresas"**. Págs. 249-251
27. Montaguth Abreu, Kelly Karina. Montilla Oddy, Montieldhi del Carmen, 2011. **"Desarrollo de la Ingeniería conceptual para la infraestructura de superficie de un campo costa afuera"**. Tesis. Barcelona, España.
28. Mott, Robert, 2006. **"Mecánica de Fluidos"**. Ed. Pearson Educación.
29. Murray, George. White, Charles V., 2007. **"Introduction to Engineering Materials"**. Ed. CRC Press.
30. Nieto, Ana, 2002. **"Apuntes de Ingeniería de Proyectos"**.
31. Palacio Santos, Luz Amparo. Saldarriaga Molina, Calos. Tapia García, Heberto., 2005. **"Métodos y algoritmos de diseño en ingeniería química"**. Universidad de Antioquia. 110 págs.
32. Primo Yúrefra, Eduardo, 1994. **"Química Orgánica Básica y aplicada: De la molécula a la industria."** Ed. REVERTE
33. Rosales Rosas, Ramón, 2005. **"Formulación y Evaluación de Proyectos"**. 1º Edición. Editorial EUNED. Págs. 29-30.
34. Schorr Wiener, Michael. Valdez Salas Benjamín, 2013. **"Corrosión y Preservación de la Infraestructura Industrial"**. Ed. Omnia Science.
35. Temple Black, J. DeGarmo, Paul E., Kosher, Ronald A., 1988. **"Materiales y Procesos de Fabricación"**. Ed. REVERTE.
36. Valderrama, José O., 1996. **"Diseño de Materiales estructurales en Ingeniería, Aplicaciones"**. **Información Tecnológica**. Volumen 7, nº 2. ISSN 0716-8756.
37. Dominguez Beltrán, Mario Edilberto. 2010, **"Estandarización en el proceso de selección y especificación de materiales en tuberías y accesorios utilizando el programa PUMA 5 en la compañía TIPIEL S.A."**, Tesis. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y ciencia de Materiales Bucarama,

Fuentes de Internet

1. <http://biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/proyecto/publicacioneselectro/monografias/El%20petr%C3%B3leo%20y%20su%20proceso%20de%20refinaci%C3%B3n.pdf>
2. <http://ceramicayvidrio.revistas.csic.es/index.php/ceramicayvidrio/article/viewFile/392/410>
3. <http://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v12n3/02124521v12n3p406.pdf>
4. <http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/12972/4/TD%20Miguel%20A.%20Barbes%20Fernandez.pdf>
5. <http://edu.iccm.es/ies/orden/images/stories/TECNOLOGIA/diagramasequilibrio.pdf>
6. <http://info.inspectioneering.com/blog/bid/37497/Corrosion-Control-MS-External-Corrosion-Materials-Selection-and-Corrosion-Control-Standards>
7. <http://info.inspectioneering.com/blog/bid/37497/Corrosion-Control-MS-External-Corrosion-Materials-Selection-and-Corrosion-Control-Standards>
8. <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecno-II/PDF/cap-17.pdf>
9. <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/13323/1/Mem%C3%B2ria>
10. <http://www.api.org/globalitems/globalheaderpages/about-api>
11. <http://www.api.org/publications-standards-and-statistics/standards/webcast-page/tank-webcast>
12. http://www.astm.org/Standards/category_index.html estándares de ASTM
13. <http://www.efn.unc.edu.ar/departamentos/aero/Asignaturas/MecFluid/material/introducci%C3%B3n%20no%20newtonianos.pdf>
14. http://www.enge.vt.edu/terpenny/Smart/Virtual_econ/Module2/pahl_and_beitz_method.htm
15. <http://www.inescoingenieros.com/areas-actividad/industria-quimica-petroquimica.html>
16. http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_510.pdf
17. <http://www.nace.org/standards/>
18. <http://www.nickelinstitute.org/en/NickelUseInSociety/MaterialsSelectionAndUse/FoodAndBeverage/Guidance.aspx>
19. <http://www.pemex.com/proveedores-y-suministros/normas-referencia/Paginas/normas-ref-vigentes.aspx>
20. <http://www.petrotecnica.com.ar/abril10/Sin/Hidrotratamiento.pdf>
21. <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6837/05Jcb05de16.pdf;jsessionid=FB812B34D692DE20E7295B52F5BA15FF.tdx1?sequence=5>
22. http://www.techstreet.com/api_est%C3%A1ndares_de_api
23. <http://www.utp.edu.co/~dhmesa/pdfs/tiposdecorrosion.pdf>
24. http://www-materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/interactive_charts
25. http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/sec_9.html

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

26. <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/gto/estudios/2008/11GU2008X0013.pdf>
27. <http://www.ing.unlp.edu.ar/aeron/catedras/archivos/Mecanica%20de%20Fractura%202010rev01.pdf>
28. <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.REFRACTARIOS.PROPIEDADES.Termicas.pdf>
29. <http://www.goodfellow.com/S/Elastomero-de-Silicona.html>
30. <http://www.porex.com/es/technologies/materials/porous-plastics/polypropylene/>
31. <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion1.Refractarios.Introduccion.pdf>
32. <http://www.eng.utoledo.edu/~tschrede/met1110/Unit%206.pdf>

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 1

FIGURA 1-1	Ciclo de vida de un proyecto por Cleland y King (1983)	9
FIGURA 2-1	Ciclo de vida de un proyecto	10
FIGURA 3-1	Representación de un fluido newtoniano	25
FIGURA 4-1	Fluidos Newtonianos y No Newtoniano	26
FIGURA 5-1	Curva de enfriamiento para la solidificación de los metales puros.	37
FIGURA 6-1	Diagrama de fases Presión-Temperatura para un componente puro	39
FIGURA 7-1	Diagrama de composición de dos elementos puros	40
FIGURA 8-1	Representación de la curva liquidus que une los tres puntos de solidificación simples	41
FIGURA 9-1	Soluciones solidas α y β	
FIGURA 10-1	Mezcla de los tres componentes A, B y C	43
FIGURA 11-1	Diagrama de Fase ternario representado con líneas de proporcionalidad	44
FIGURA 12-1	Puntos de composición	44
FIGURA 13-1	Representación de un Diagrama Ternario con Líneas de Relación	45
FIGURA 14-1	Diagrama de fase con líneas de relación	45
FIGURA 15-1	Sistema de representación para todas las posibles composiciones de cuatro componentes de un sistema cuaternario. CA, CB y CD	46
FIGURA 16-1	Sistema cuaternario ideal simple	47
FIGURA 17-1	Curvas de liquidus de los sistemas de óxido de sílice binario	50
FIGURA 18-1	Superficie de líquido del sistema ternario CaO-TiO₂-SiO₂	51
FIGURA 19-1	Relaciones de la fase sólida en la parte correspondiente del sistema CaO-MgO-SiO₂-Fe₂O₃	53
FIGURA 20-1	Diagrama de Ashby: Modulo de Young- Densidad	59
FIGURA 21-1	Diagrama de Ashby: Modulo de Young – Costo	61
FIGURA 22-1	Hormigón poroso utilizado en estructuras	62
FIGURA 23-1	Tubería de Hierro fundido	62

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

FIGURA 24-1 Diagrama de Ashby: Fuerza – Resistencia	63
FIGURA 25-1 Diagrama de Ashby: Costo - Resistividad Eléctrica	65
FIGURA 26-1 Materiales conductores	66
FIGURA 27-1 Diagrama de Ashby: Fuerza – Densidad	67
FIGURA 28-1 Poros que poseen las maderas	68
FIGURA 29-1 Poros que poseen las espumas poliméricas	68
FIGURA 30-1 Diagrama de Ashby: Fuerza – Elongación	69
FIGURA 31-1 Barreras de protección, diseñadas para alargar su longitud a consecuencia de impactos	70
FIGURA 32-1 Diagrama de Ashby: Fuerza – Costo	71
FIGURA 33-1 Ladrillo refractario, utilizado en la construcción de hornos de gran tamaño	72
FIGURA 34-1 Teflón, utilizado como material antiadherente.	72
FIGURA 35-1 Diagrama de Ashby: Fuerza – Temperatura Máxima de Servicio	73
FIGURA 36-1 Los ladrillos cerámicos	74
FIGURA 37-1 El poliestireno	74
FIGURA 38-1 Diagrama de Ashby: Fracción de reciclaje – Costo	75
FIGURA 39-1 Los materiales plásticos	76
FIGURA 40-1 Diagrama de Ashby: Energía – Costo	77

CAPITULO 2

FIGURA 1-2 Fases de la selección de materiales	81
FIGURA 2-2 Ejemplo del uso del Diagrama de Ashby	145

CAPITULO 3

FIGURA 1-3 Diagrama de Ashby: Modulo de Young – Densidad	162
FIGURA 2-3 Diagrama de Ashby: Fuerza – Densidad	164
FIGURA 3-3 Diagrama de Ashby: Módulo de Young – Fuerza	166
FIGURA 4-3 Diagrama de Ashby: Resistencia a la Fractura – Módulo de Young	169
FIGURA 5-3 Diagrama de Ashby: Coeficiente de pérdida – Módulo de Young	171
FIGURA 6-3 Diagrama de Ashby: Conductividad Térmica – Difusividad Térmica	173
FIGURA 7-3 Diagrama de Ashby: Expansión Térmica - Conductividad Térmica	175
FIGURA 8-3 Diagrama de Ashby: Expansión Térmica – Modulo de Young	177
FIGURA 9-3 Diagrama de Ashby: Fuerza – Temperatura máxima de servicio	178
FIGURA 10-3 Modulo de Young – Costo	181
FIGURA 11-3 Diagrama de Ashby: Fuerza – Costo Relativo	182
FIGURA 12-3 Diagrama de Selección de Materiales.	196
FIGURA 13-3 Restricciones iniciales proyectadas en el Diagrama de Ashby en la Ingeniería Conceptual	198
FIGURA 14-3 Ejemplo de una tabla de Balance de Materia y Energía	203
FIGURA 15-3 Operaciones unitarias básicas para una planta de producción química	205
FIGURA 16-3 Diagrama de Flujo de Proceso para un proceso de Poliestireno	209
FIGURA 17-3 Representación de un recipiente a presión que tiene un defecto	223
FIGURA 18-3 Materiales para recipientes a presión	227
FIGURA 19-3 Funcionamiento del horno	229
FIGURA 20-3 Materiales para la construcción de paredes para hornos	231

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

FIGURA 21-3 Intercambiador de calor	233
FIGURA 22-3 Gráfico de límite de elasticidad contra conductividad térmica	237
CAPITULO 4	
FIGURA 1-4 Proceso de refinación del Petróleo	244
FIGURA 2-4. Localización geográfica del complejo industrial de Tamaulipas	272
FIGURA 3-4 Representación de cómo se ejerce la tensión en la pared del	306
FIGURA 4-4 Comportamiento del flujo de calor en un horno	315
FIGURA 6 – 4 Tensión en tuberías	331

LISTA DE TABLAS

CAPITULO 1

TABLA 1-1 Propiedades de los fluidos en general	24
TABLA 2-1 Composición típica del Gas Natural	30
TABLA 3-1 Clasificación de los materiales para manufactura	55

CAPITULO 2

TABLA 1-2 Parámetros que permiten determinar la utilidad técnica de un material	82
TABLA 2-2 Clases de polímeros termo plásticos principales y sus aplicaciones	89
TABLA 3-2 Polímeros Termo fijos principales y sus aplicaciones	96
TABLA 4-2 Elastómeros principales y sus características	98
TABLA 5-2 Normas ASTM Aplicadas para Selección de Materiales para Equipo	115
TABLA 6-2 Normas ASTM Aplicadas para Selección de Materiales para Tuberías	118
TABLA 7-2 Normas NACE Aplicadas para la Selección de Materiales para Equipo	124
TABLA 8-2 Normas NACE Aplicadas para la Selección de Materiales para Tuberías	128
TABLA 9-2 Normas NOM Aplicadas para la Selección de Materiales para Equipo	131
TABLA 10-2 Normas NMX (Normas Mexicanas) Aplicadas para la Selección de Materiales para Equipo	132
TABLA 11-2 Normas NMX (Normas Mexicanas) Aplicadas para la Selección de Materiales para Tubería	132
TABLA 12-2 Normas NRF Aplicadas para la Selección de Materiales para Equipo	133
TABLA 13-2 Normas NRF Aplicadas para la Selección de Materiales para Tubería	136
TABLA 14-2 Fórmulas para estimar el costo - unidad – Propiedad	141
TABLA 15-2 valores de los criterios de evaluación	149
TABLA 16-2 Valores para los criterios individuales para la solución final	150

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

TABLA 17 - 2 Ejemplo de una matriz de Pugh para la toma de decisiones para la sustitución de materiales.

153

CAPITULO 3

TABLA 1-3 Propiedades básicas de los materiales para el diseño y sus unidades habituales SI	158
TABLA 2-3 Costo relativo por unidad de volumen para algunas aleaciones	180
TABLA 3-3 Información de los componentes de los equipos que se incluye en el MSD	185
TABLA 4-3 Designaciones Típicas de algunos Materiales	187
TABLA 5-3 Nomenclatura normalmente utilizada para identificar los equipos y/o indicaciones del proceso	189
TABLA 6-3 Nomenclatura común para cada equipo de proceso	207
TABLA 7-3 Especificaciones de materiales para recipientes a presión	226
TABLA 8-3 especificaciones de materiales para paredes de hornos industriales	232
TABLA 9-3 especificaciones de los materiales para la construcción de intercambiadores de calor	237

CAPITULO 4

TABLA 1-4 Valores límite de la calidad del aire	251
TABLA 2-4. Temperaturas promedio registradas durante todo el año (°C)	267
TABLA 3-4 Intemperismos en la zona de interés	267
TABLA 5-4 Bombas principales y bombas requeridas	287
TABLA 6 – 4 Selección de posibles materiales para un tanque de separación	311
TABLA 7 – 4 Parámetros de conductividades térmicas	317
TABLA 8 – 4 Propiedades de algunos materiales y sus densidades	318
TABLA 9 – 6 Selección de materiales para la pared de un horno	322
TABLA 10 – 4 Características de materiales posibles para reactores	328
TABLA 11 – 4 Clasificación de los aceros al carbón	334

**IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL
DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE
NAFTAS**

TABLA 12 – 4 Clases de aleaciones del Titanio	335
TABLA 13 – 4 Selección de posibles materiales para tuberías	336