



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Diseño de experimento para el  
proceso SHELL

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**Ingeniera de Minas y Metalurgista**

**P R E S E N T A**

Susana Orozco Cisneros

**DIRECTOR DE TESIS**

MC. Juan José Obregón Andría



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



## INDICE

INTRODUCCION.....	5
<b>CAPITULO I</b> <b>HISTORIA DE LA CALIDAD, BASES CONCEPTUALES Y NORMALIZACION</b>	
1.1 Concepto tradicional.....	6
1.2 Concepto moderno.....	6
1.3 Calidad de diseño.....	7
1.4 Calidad de conformidad .....	8
1.5 Historia y definiciones de calidad.....	9
1.6 Las filosofías de calidad.....	10
1.7 Las enfermedades Mortales.....	10
1.8 La eliminación de obstáculos.....	10
1.9 Normalización y conceptos de la ISO 9001:2008.....	15
1.9.1 Normatividad.....	16
1.9.2 Norma.....	17
1.9.3 Conceptos básicos de la ISO 9000.....	18
1.9.4 Serie de estándares ISO 9000.....	18
1.9.5 ISO 9001: 2008.....	19
<b>CAPITULO II</b> <b>APLICACIÓN DE LA INGENIERIA DE CALIDAD</b>	
2.1 Solución de problemas.....	20
2.2 Técnicas gráficas para la solución de problemas.....	21
2.2.1 Diagrama de flujo.....	21
2.2.2 Hojas de inspección.....	21
2.2.3 Diagrama de Pareto.....	21
2.2.4 Análisis casual.....	22
2.2.5 Gráficas de control.....	22
2.2.6 Capacidad de proceso.....	23
2.2.7 Análisis ¿Por qué? ¿Por qué?.....	24
2.2.8 Análisis ¿cómo- cómo?.....	24
2.2.9 Diseño de experimentos.....	25
<b>CAPITULO III</b> <b>DEFINICION DE FUNDICION Y DESCRIPCION DEL PROCESO SHELL</b>	
3.1 Definición de fundición.....	26
3.2 Análisis de la materia prima.....	26
3.3 Tipos de arena para fundición.....	27
3.4 Propiedades de la arena para corazones.....	27
3.5 El proceso Shell.....	28
3.5.1 Descripción del proceso.....	29
3.5.2 Máquinas que se utilizan en el proceso de Shell.....	30
3.5.3 Clasificación de la máquina.....	33
3.5.4 Esquema breve del equipo Shalco U-900.....	35

**CAPITULO IV PROCESO DE MEJORAMIENTO CONTINUO Y TECNICAS PARA EL ANALISIS Y LA SOLUCION DE PROBLEMAS (DISEÑO DE EXPERIMENTOS)**

4.1 Aplicación del sistema de calidad.....	40
4.2 Tipos de variabilidad.....	41
4.3 Pasos a seguir en un diseño de experimentos.....	42
4.4 Terminología usada en el diseño de experimentos.....	43
4.5 Principios básicos del diseño de experimentos.....	44

**CAPITULO V DISEÑO APLICADO AL PROCESO SHELL**

5.1 Reconocimiento y planteamiento del problema.....	46
5.2 Selección de factores, niveles y variable de respuesta.....	48
5.3 Selección del diseño experimental.....	49
5.4 Realización del experimento y análisis de datos.....	50

**CAPITULO VI COSTOS Y BENEFICIOS**

6.1 Comparación de proveedores de arena.....	53
6.2 Beneficios.....	55

**CAPITULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....60**

**BIBLIOGRAFIA.....63**

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis es una investigación que tiene por objetivo evaluar por medio del diseño de experimentos distintas arenas recubiertas que se usan en el área de fundición para la fabricación de corazones tipo Shell. Esta herramienta contribuye a conocer los procesos de una manera más profunda, permite mejorar la calidad y bajar los costos de producción, así como el identificar qué factores o variables afectan el comportamiento de un proceso productivo y de esta manera poder mejorarlo. Adicionalmente este documento puede servir como un material de apoyo para aquellas personas interesadas en la manufactura de corazones tipo Shell.

Este trabajo presenta los siguientes capítulos:

Capítulo I y II se inicia con un resumen de conceptos básicos de la calidad, la importancia de hoy en día para las empresas automotrices que se encuentren certificadas por una normatividad ISO, y la de conocer una serie de técnicas para analizar y solucionar un problema en particular.

Capítulo III previamente se analiza uno de los procesos de fabricación de corazones más ampliamente difundidos en el área de la fundición, tanto en la industria de los metales no ferrosos como en la de los metales ferrosos. El proceso que se estudia en el trabajo presentado es el proceso Shell. También se da a conocer paso a paso la secuencia del proceso que es analizado, así como la descripción de la maquinaria empleada para dicho fin.

Capítulo IV y V Se muestra el proceso de mejoramiento continuo y técnicas para el análisis y la solución de problemas, como el diseño de experimentos aplicado al proceso Shell. En este caso se analiza una arena que es utilizada en el proceso de fabricación de corazones en la que se requieren ciertas variables de entrada y de salida con el fin de obtener resultados óptimos del corazón.

Es esencial conocer el entorno del proceso, para que efectivamente se haga una apreciación de todos los factores o variables que intervienen y cuáles de ellas pueden ocasionar o no una salida negativa del proceso.

## **CAPÍTULO I**

### **HISTORIA DE LA CALIDAD, BASES CONCEPTUALES Y NORMALIZACIÓN**

#### **1.1 Concepto Tradicional**

El concepto de calidad se ha dado desde que el primer hombre comienza a vivir. En ese entonces no se le daba una definición con palabras precisas, sino más bien era subjetiva la manera en que se percibía la calidad. Ya que en ese entonces el hombre carecía de estudios que le ayudaran a darle una definición como la que ahora se maneja. Pero aun así el hombre buscaba la calidad en cada actividad que realizaba.

Se encuentran dos conceptos de calidad, el conocido tradicionalmente y el concepto moderno.

El concepto tradicional habla de la calidad como el cumplimiento de una norma, sin tomar en cuenta la demanda de dicho producto; en este concepto la oferta supera a la demanda, desarrollándose en una economía cerrada. Siendo el consumidor quien debe adaptarse al producto, y no el producto a las necesidades del consumidor.

#### **1.2 Concepto actual**

El producto o servicio se diseña en función de los requerimientos y necesidades del consumidor, tomando en cuenta también conceptos como el precio, el tiempo, el servicio, la superación, etc.

De acuerdo con estas características el concepto de calidad engloba 3 aspectos básicos.

- Calidad de diseño
- Calidad de conformidad
- Calidad de vida del trabajador.

Y la suma de estos aspectos da como resultado a la “Calidad Total”

Se definirán a continuación los conceptos que engloba la “Calidad Total”

### **1.3 Calidad de diseño**

Básicamente la calidad de diseño es una planeación a conciencia del producto y/o servicio que se piensa ofrecer a la comunidad. Deberán tomarse en cuenta 5 puntos clave para que se dé dicha calidad de diseño.

1. Segmentar el mercado para identificar el nicho o nichos de mercado al que habrá de dirigirse.
2. Realizar la adecuada y completa investigación de mercado para cada nicho al que se dirigirá.
3. Adecuar el producto o servicio de acuerdo con las necesidades, gustos y preferencias detectadas en la investigación del mercado.
4. Definir los métodos de producción a utilizar.
5. Equipar a la organización con los elementos necesarios para la producción del producto o servicio, así como los cursos de capacitación para el personal.

### **1.4 Calidad de Conformidad**

Esto se refiere básicamente al grado en que el producto o servicio cumple con los estándares o normas establecidas de calidad. En este concepto la frase de "*Hacer las cosas bien a la primera vez*" queda perfectamente, ya que esta calidad de conformidad se enfoca a la manera de hacer las cosas: con los materiales correctos, maquinaria y equipo en buen estado, personal capacitado y motivado, etc.

### **1.5 Calidad de vida del trabajador**

A los trabajadores de todos los niveles se les debe brindar un clima organizacional óptimo, ya que de eso depende el buen desempeño de los trabajadores.

Se tiene como resultado:

**Calidad Total = Calidad de diseño + Calidad de conformidad + Calidad de vida del trabajador.**



## **1.6 Historia y definiciones de calidad**

### **El hombre de las cavernas.**

Esta época es llamada así, debido a que los antiguos hombres habitaban en cuevas. Su principal actividad era abastecerse de comida, y vivían prácticamente de la recolección de los productos que encontraban en la naturaleza. La calidad se basaba en inspeccionar y seleccionar lo mejor.

### **Técnicas rudimentarias**

Consistía en elaborar un producto para usarlo uno mismo. Para esta actividad, el hombre desarrolló los primeros conocimientos científicos que tuvo, para poder elaborar las herramientas que necesitaría para cazar, pescar, etc.

Con el paso del tiempo, el hombre se dio cuenta de que él podía mejorar la calidad de sus alimentos, así que decidió experimentar y mejorar desde sus armas y sus métodos de agricultura, y así fue como desarrolló su propia tecnología, pasando de la era de las cavernas a la era de los metales.

Así es como surge la administración de la calidad, con el propósito de cambiar de posición competitiva ante la vida, y se desarrollaron así conocimientos y actividades para lograrlo.

### **La manufactura.**

Con el crecimiento demográfico las tribus se fueron transformando en comunidades y fue necesario modificar los sistemas de organización y los líderes se convirtieron en gobernantes, nacieron los templos, los palacios, los sacerdotes, y el conocimiento comenzó a centralizarse.

Este mismo crecimiento exigió que las tareas se organizaran de una forma más perfeccionada y el trabajo se especializó de tal forma que surgieron los artesanos y los especialistas y se creó la burocracia.

El artesano destacaba por la elaboración de determinado producto: el fundidor, que fabricaba armas, etc.

Otros tipos de especialistas eran los sacerdotes y el curandero, los primeros servidores públicos eran ancianos, guerreros y gobernantes.

La calidad de conformidad se da con la incorporación del uso de diseños con especificaciones del producto.

## **La revolución industrial.**

Debido al continuo crecimiento de la población, se desarrollaron rutas comerciales y esto a su vez trajo como consecuencia que subiera la demanda de productos manufacturados.

Se inició la industrialización, y los pequeños talleres fueron reemplazados por las grandes fábricas y los mercados de consumidores.

Poco a poco, con el desarrollo de la sociedad y sus leyes, combinadas con la complejidad en el manejo del negocio de las fábricas, se requirió que las tareas se especializaran. Antes el artesano era el responsable del control de la calidad, puesto que sólo él realizaba los artículos en todo el ciclo de producción, pero con el aumento de la demanda, aumentó el volumen de producción y el artesano tuvo que delegar algunas de sus actividades en otras personas.

## **La administración científica de Taylor.**

La administración científica de Taylor, F.W, Principios de la administración científica, Herrero México 1991.

Frederick Winslow Taylor (1856-1915), ingeniero industrial de profesión, nació en Filadelfia (Estados Unidos), y se le ha calificado como el padre de la administración científica por haber investigado en forma sistemática las operaciones fabriles, sobre todo en el área de producción bajo el método científico.

El estudio de estas operaciones las realizó mediante la observación de los métodos utilizados por los obreros; de sus observaciones surgieron hipótesis para desarrollar mejores procedimientos y formas para trabajar. Experimentó sus hipótesis apoyado por los empleados fuera del horario normal de trabajo; los métodos que comprobó mejoraban la producción y fueron puestos en práctica en el trabajo cotidiano, previa capacitación de los operarios.

Frederick Taylor llegó a la conclusión que todo esto era aplicable a cualquier organización humana. Entre sus conclusiones se encuentran:

- No existía ningún sistema efectivo de trabajo.
- No había incentivos económicos para que los obreros mejoraran su trabajo.
- Las decisiones eran tomadas militar y empíricamente más que por conocimiento científico.
- Los trabajadores eran incorporados a su labor sin tomar en cuenta sus habilidades y aptitudes.

Frederick Taylor desarrolló métodos para organizar el trabajo, considerando los materiales, el equipo y las habilidades de cada individuo. Éstos se han llamado tiempos y movimientos, hoy conocidos como operaciones del proceso o sistema.

Publicó en 1911 un libro titulado "Principios de la administración científica", fundamentándose en estos cuatro principios:

- Sustitución de reglas prácticas por preceptos científicos.
- Obtención de armonía, en lugar de discordia.
- Cooperación en lugar de individualismo.
- Selección científica, educación y desarrollo de los trabajadores.

La influencia de Taylor en el pensamiento administrativo fue, y continúa siendo, de gran trascendencia. En la actualidad está presente en todo el mundo, pero su enfoque ha sido modificado y humanizado.

### **Teoría clásica de administración.**

Henry Fayol (1841-1925), de origen francés, es para algunos el autor más distinguido de la teoría administrativa. Señaló que la teoría administrativa se puede aplicar a toda organización humana (universalidad). Se le considera el padre del proceso administrativo y creador e impulsor de la división de las áreas funcionales para las empresas.

Los primeros trabajos de Henry Fayol representan la escuela de la teoría del "proceso administrativo". En el año de 1916 publicó el libro "Administration industrielle et générale" Administración industrial y general. El libro compendia sus opiniones sobre la administración adecuada de las empresas y de las personas dentro de éstas.

Fayol identificó cinco reglas o deberes de la administración:

- Planeación: diseñar un plan de acción para el mañana.
- Organización: brindar y movilizar recursos para la puesta en marcha del plan.
- Dirección: dirigir, seleccionar y evaluar a los empleados con el propósito de lograr el mejor trabajo para alcanzar lo planeado.
- Coordinación: integración de los esfuerzos y aseguramiento de que se comparta la información y se resuelvan los problemas.
- Control: garantizar que las cosas ocurran de acuerdo con lo planeado y ejecución de las acciones correctivas necesarias en las desviaciones encontradas.

Más importante aún, Fayol creía que la administración se podía enseñar. Le interesaba mucho mejorar la calidad de la administración y propuso varios principios para orientar el quehacer administrativo, los que se muestran a continuación:

- División del trabajo.
- Autoridad y responsabilidad.
- Disciplina.
- Unidad de mando.
- Unidad de dirección.
- Interés general sobre el individual.
- Justa remuneración al personal.
- Delegación vs. centralización.
- Jerarquías.
- Orden.
- Equidad.
- Estabilidad del personal.
- Iniciativa.
- Espíritu de equipo.

Fayol aclaró que estos principios administrativos no son de ninguna manera rígidos, ya que, en diversas situaciones, se requiere hacer uso del criterio personal y la medida. Lo más importante es que constituyen guías universales que en cualquier tipo de organización humana se pueden aplicar.

### **La revolución de la calidad en Japón.**

La Segunda Guerra Mundial terminó en el año 1945, gracias a que los japoneses se rindieron al ver truncados sus objetivos de expandirse.

Con la experiencia de su derrota, los japoneses visualizaron el cumplimiento de sus objetivos mediante el comercio, y comenzaron la transformación de su industria bélica a la del consumo; pero sus exportaciones no eran de calidad, y decididos a resolver sus problemas, hicieron un proyecto nacional para mejorar la calidad de los productos japoneses, y utilizaron a la administración de la calidad como una herramienta que les serviría para competir en el mercado mundial.

En este tiempo se aumentaron algunos procesos para la administración de calidad como la inspección por muestreo y controles estadísticos para detectar defectos.

La Federación Japonesa de Organizaciones Económicas logró que las empresas japonesas actuaran de una manera colectiva, y mandaron a sus más altos directivos a aprender cómo otras compañías extranjeras manejaban el control de la calidad.

Contrataron a un estadounidense, llamado William Edwards Deming. Este enseñó a los más altos líderes que había muchas cosas que administrar para la mejora de la calidad.

### **Diferenciación de mercados.**

En el periodo después de la guerra, los empresarios buscaron formas para producir más barato. Y lo hicieron mediante la estandarización de los productos y procesos productivos, esto permitía que bajaran los costos aumentando la producción.

Esto hacía pensar que todos los consumidores tenían las mismas necesidades porque si hacían artículos con distintas características aumentaban los costos.

Fue en este momento que Deming, vio la oportunidad de ganarse al mercado mundial, y propuso orientar los esfuerzos para poder desarrollar variedad en los productos que se ofrecían, pero sin elevar los costos.

Con esto Japón descubrió lo importante que era satisfacer las necesidades del cliente y reaccionar a cada una de ellas, con artículos que los diferenciaban en el mercado. De esta manera los estudios del mercado se volvieron una herramienta importante y pasaron a ser parte de los programas de calidad y cambiaron el enfoque de la calidad: *“el enfoque al cliente”*

**“La calidad es la satisfacción de todas las expectativas y necesidades del cliente”**

Los japoneses, dieron un impulso a la administración de calidad, porque hicieron que todos sus trabajadores participaran en los procesos de control, para el mejoramiento de los productos, incluyendo los servicios que se dan dentro de la compañía, y fue así como Armand V. Feigenbaum bautizó a este proceso como Control Total de la Calidad.

### **Desarrollo histórico de la calidad**

<b>Época</b>	<b>¿Quién decidía?</b>
Antigua	El propio usuario
Artesanal	Cliente + productor
Gremios	Productor (especificaciones, controles)
Revolución Industrial	Productor (especificaciones escritas, estandarización)
Sistema Taylor	Productor (departamentos centrales de inspección)
1ª Guerra Mundial	Productor (departamentos de fiabilidad, ingeniería de calidad)
2ª Guerra Mundial	Productor (control estadístico de la calidad)
Estrategia Japonesa (1945)	Cliente (gestión de calidad)
Décadas 1980´s y 1990´s	Cliente (estrategia competitiva)

## 1.7 Las filosofías de calidad

### **Philip B Crosby:**

*La calidad no cuesta. No es un regalo, pero es gratuita. Lo que cuesta dinero son las cosas que no tienen calidad – todas las acciones que resultan de no hacer las cosas bien a la primera vez.*

### **Kaoru Ishikawa:**

*El control de calidad es desarrollar, diseñar, manufacturar y mantener un producto de calidad que sea el más económico, el más útil y siempre satisfactorio para el consumidor.*

### **Armand. V. Feigenbaum**

*Hacer bien las cosas desde el principio.*

### **Joseph Moses Juran:**

*Adecuación al uso.*

Juran habla sobre dos aspectos de la calidad, uno con respecto a las personas y el otro con respecto a los procesos.

El aspecto que tiene que ver con las personas se denomina el triple papel:



El aspecto que involucra a los procesos se denomina trilogía de la calidad:

- Planeación
- Control
- Mejora

### **William Edwards Deming**

*El cliente es la parte más importante de la línea de producción.*

El sistema de mejoramiento propuesto por Deming consiste en los Catorce Puntos de la Gestión, en la erradicación de las Enfermedades Mortales y en la Eliminación de los Obstáculos.

<b>LOS CATORCE PUNTOS DE LA GESTION</b>	
G	1. Crear constancia en el propósito de mejorar el producto y el servicio
G	2. Adoptar la nueva filosofía
I	3. No depender más de la inspección masiva para lograr la calidad
P	4. Acabar con la práctica de hacer negocios basándose exclusivamente en el precio
G	5. Mejorar continuamente y por siempre el sistema de producción y de servicio
C	6. Establecer la capacitación en el trabajo
G	7. Instituir el liderazgo
G	8. Eliminar el miedo en el trabajo
G	9. Derribar las barreras que hay entre los departamentos
I	10. Eliminar las consignas, exhortaciones y las metas numéricas
I	11. Eliminar las cuotas u otros estándares de trabajo
G	12. Derribar las barreras que impiden el orgullo de hacer bien un trabajo
C	13. Establecer un programa vigoroso de educación y auto mejora
G	14. Empezar las acciones necesarias para la transformación

G = Gerenciales

C = Capacitación

I = Implantación

P = Proveedores

### **1.7 Las Enfermedades Mortales**

1. Falta de constancia en el propósito
2. Énfasis en las utilidades a corto plazo
3. Evaluación del desempeño, calificación por méritos o análisis anual
4. Movilidad de los directivos
5. Manejar una compañía basándose sólo en las cifras visibles
6. Costos médicos excesivos
7. Costos excesivos de garantía.

### **1.8. La Eliminación de los Obstáculos**

1. Descuido de la planeación y de la transformación a largo plazo.
2. La suposición de que la solución a los problemas es la automatización e innovación de nueva maquinaria.
3. En busca de ejemplos ajenos (compararse con otra compañías)
4. Nuestros problemas son diferentes.
5. La instrucción obsoleta en las escuelas
6. Depender de los departamentos de inspección y de control de calidad
7. Echarle a los trabajadores la culpa

## 8. Salidas en falso

### 1.9 Normalización y conceptos de la ISO 9001:2008

#### 1.9.1 Normatividad

La normatividad en México está constituida por una serie de normas que tiene como objetivo el asegurar valores, cantidades y características mínimas o máximas en el diseño, producción o servicio de los bienes de consumo entre personas morales y/o físicas, sobre todo los de uso extenso y de fácil adquisición por el público en general, poniendo principal atención a un público no especializado en la materia; de estas normas existen dos tipos básicos en la legislación mexicana, las *Normas Oficiales Mexicanas* llamadas **NOM** y las *Normas Mexicanas* llamadas **NMX**, de las cuales sólo las **NOM** son de uso obligatorio en su alcance y las segundas sólo expresan una recomendación de parámetros o procedimientos, aunque si son mencionadas como parte de una **NOM** como de uso obligatorio su observancia es a su vez obligatoria.

#### 1.9.2 Norma

Es el documento que provee, para un uso común y repetido, reglas, directrices o características para las actividades o sus resultados con el fin de lograr un grado óptimo de orden en un contexto dado.

#### Clases de las normas

- Internacionales (ISO,IEC,ITU,CODEX)
- Regionales (COPANT,EN)
- Nacionales (NMX,BSI,UNA,IRAM)
- Asociación (ANSI,ASTM,QS9000,VDA 6)
- Empresa (CFE,PEMEX) (especificaciones técnicas)



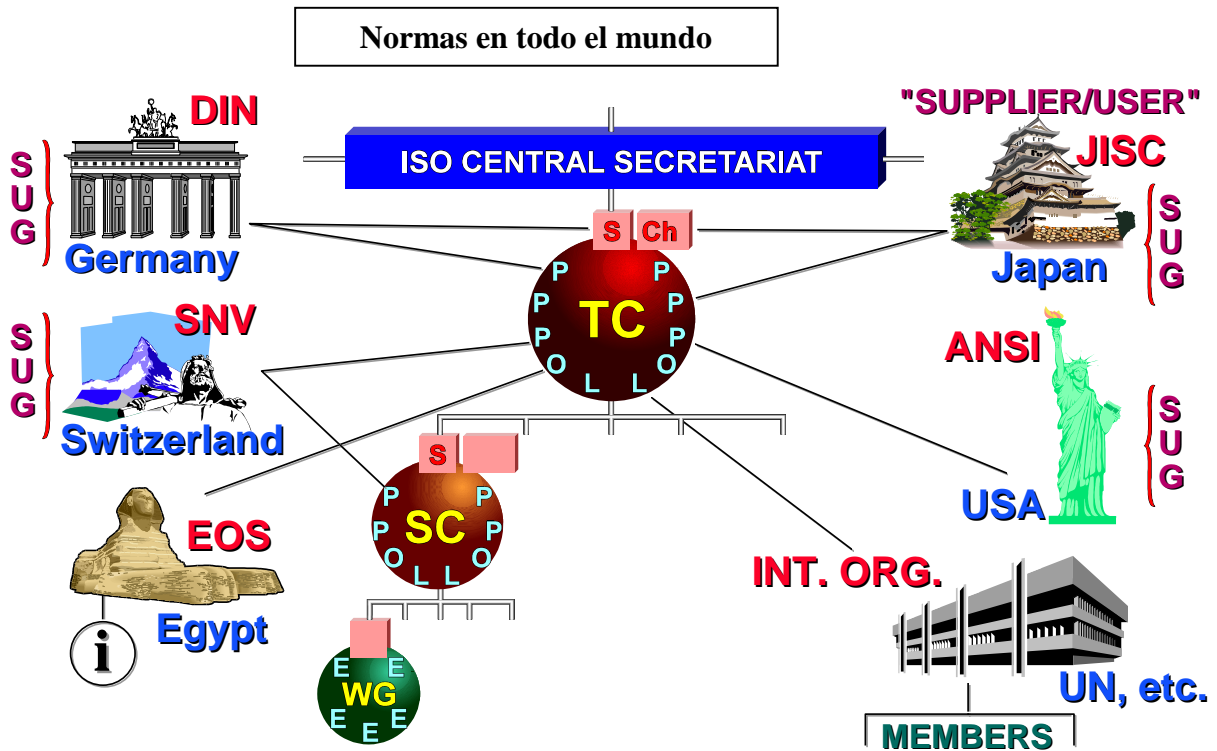


Figura 1 Normas en todo el mundo

### 1.9.3 Conceptos básicos de la ISO 9000

ISO es una abreviación de *International Organization for Standardization* (ISO), que es la agencia especializada en normas y estándares; el propósito de ISO es promover el desarrollo de la estandarización y actividades relativas para facilitar el comercio internacional de bienes y servicios.

### 1.9.4 Serie de estándares ISO 9000

Las series de ISO 9000 son un grupo de normas o estándares internacionales para la administración de la calidad y el aseguramiento de calidad.

Elas son genéricas, no específicas para cualquier producto. Pueden usarse igualmente para manufactura y servicios industriales. Estos estándares fueron desarrollados para documentar efectivamente los elementos de los sistemas de calidad que son utilizados para mantener un sistema eficiente de calidad en la empresa. La serie ISO 9000 no especifica la tecnología que debe ser aplicada para la estructuración de los elementos del sistema de calidad.

### 1.9.5 ISO 9001: 2008

Es un sistema de gestión de calidad reconocido internacionalmente que ha sido implementado por más de un millón de organizaciones en todo el mundo. La **ISO 9001**,

en resumen, ha sido creada para ayudar a las empresas a asegurar que cumplen con las necesidades de sus clientes y otras partes interesadas, al mismo tiempo que satisfacen los requisitos legales relacionados con el producto comercializado.

Cuenta con ocho principios clave de gestión de la calidad que, pese a no ser auditables, conforman las características fundamentales de un sistema como el que se aspira a gestionar. Son los siguientes:

Orientación al cliente y búsqueda de su satisfacción, como objetivos.

- Liderazgo.
- Involucramiento de las personas.
- Enfoque basado en procesos.
- Gestión orientada a sistemas.
- Mejora continua.
- Toma de decisiones fundamentada en datos objetivos.
- Relaciones de beneficio mutuo con los proveedores.

Estos principios son utilizados por los directivos y supervisores como una herramienta para mejorar el desempeño de sus organizaciones.

- Orientación al cliente.
  - Entender sus necesidades, tanto actuales como futuras
  - Cumplir con sus requisitos
  - Esforzarse por ir más allá de lo que se espera.
- Liderazgo
  - Los líderes unen a las personas en torno a una misma dirección de la organización
  - Los líderes crean y mantienen el ambiente interno en el que la gente puede involucrarse totalmente para alcanzar los objetivos de la organización.
- Involucramiento de las personas
  - Las personas en todos los niveles, son la esencia de la organización
  - Cuando se involucran totalmente, sus habilidades se incrementan para el beneficio de la organización.
- Enfoque a procesos
  - Un resultado deseado se alcanza más fácilmente cuando las actividades y recursos asociados son administrados como un proceso.

- Gestión orientada a Sistemas
  - Cuando se identifican, se entienden y se administran los procesos interrelacionados como un sistema, se contribuye hacia la eficiencia y eficacia para alcanzar sus objetivos.
- Mejora Continua
  - La mejora continua del desempeño de la organización debería ser un objetivo permanente dentro de esta.
- Toma de decisiones basada en hechos.
  - Las decisiones efectivas son aquellas que se basan en el análisis de los datos y la información.
- Relaciones de beneficio mutuo con Proveedores.
  - Una organización y sus proveedores son interdependientes por lo que una relación mutuamente benéfica incrementa la habilidad de ambos para crear valor.

Esta norma internacional promueve la adopción de un enfoque basado en procesos cuando se desarrolla, implementa y mejora la eficacia de un sistema de gestión de la calidad, para aumentar la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de sus requisitos.

Una ventaja del enfoque basado en procesos es el control continuo que proporciona sobre los vínculos entre los procesos individuales dentro del sistema de procesos, así como sobre su combinación e interacción.

Un enfoque de este tipo, cuando se utiliza dentro de un sistema de gestión de calidad, enfatiza la importancia de:

- a) La comprensión y el cumplimiento de los requisitos
- b) La necesidad de considerar los procesos en términos que aporten valor,
- c) La obtención de resultados del desempeño y eficacia del proceso, y
- d) La mejora continua de los procesos con base en mediciones objetivas.

El modelo de un sistema de gestión de la calidad basado en procesos muestra que los clientes juegan un papel significativo para definir los requisitos como elementos de entrada. El seguimiento de la satisfacción del cliente requiere la evaluación de la información relativa a la percepción del cliente acerca de si la organización ha cumplido sus requisitos. El modelo mostrado en la figura 1 cubre todos los requisitos de esta norma internacional, pero no refleja los procesos de una forma detallada.

De manera adicional puede aplicarse a todos los procesos la metodología conocida como Planear-Hacer-Verificar-Actuar. PHVA puede describirse brevemente como:

**Planear:**

Establecer los objetivos y procesos necesarios para conseguir los resultados de acuerdo con los requisitos del cliente y las políticas de la organización.

**Hacer:**

Implantar y operar los procesos

**Verificar:**

Realizar el seguimiento y la medición de los procesos y los productos respecto de las políticas, los objetivos y los requisitos para el producto, e informar sobre los resultados.

**Actuar:**

Tomar acciones para mejorar continuamente el desempeño de los procesos.



Figura 2 Modelo de un Sistema de Gestión de calidad basado en procesos.

Sistema de gestión de la calidad, Requisitos particulares para la aplicación de ISO 9001:2008 para producción automotriz y partes relevantes del servicio de organizaciones, Tercera Edición 2009-06-15

## **CAPÍTULO II**

### **APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA DE CALIDAD**

#### **2.1 Solución de problemas.**

El proceso pasa cronológicamente a través de varias etapas que van desde la identificación de un problema hasta la presentación de resultados, utilizando diversas técnicas para obtener ideas y analizarlas posteriormente dentro de esas etapas.

El proceso de mejoramiento continuo tiene 2 componentes:

1. Filosofía
2. Técnicas para el análisis y la solución de problemas.

Hay puntos comunes en las filosofías operativas en diferentes compañías las cuales son las siguientes:

- El mejoramiento de la calidad, logrado mediante la eliminación de las causas de los problemas en el sistema, inevitablemente conduce a mejorar la productividad.
- La persona encargada de un trabajo es quien tiene más conocimiento sobre el mismo.
- Toda persona desea sentirse como un contribuyente importante.
- Para mejorar un sistema, es mejor trabajar en un equipo que trabajar individualmente.
- Un proceso estructurado para la solución de problemas con la ayuda de técnicas conduce a mejores soluciones que uno no estructurado.
- Las técnicas para el análisis y la solución de problemas le permiten a la gente ubicarse, saber en dónde hay variaciones, la importancia relativa de los problemas a ser resueltos y si los cambios hechos han tenido el impacto deseado.

#### **Guía para la selección de una técnica.**

1. Decidir primero qué problema será tratado
2. Llegar a un punto que describa el problema en términos de qué es específicamente, dónde y cuándo ocurre, y su alcance.

3. Elaborar un cuadro completo con todas las posibles causas del problema.
4. Llegar a un acuerdo sobre las causas básicas del problema.
5. Desarrollar una solución efectiva que se pueda implantar, así como un plan de acción.
6. Implantar la solución y establecer las acciones necesarias de seguimiento.

## 2.2 Técnicas para el análisis y la solución de problemas

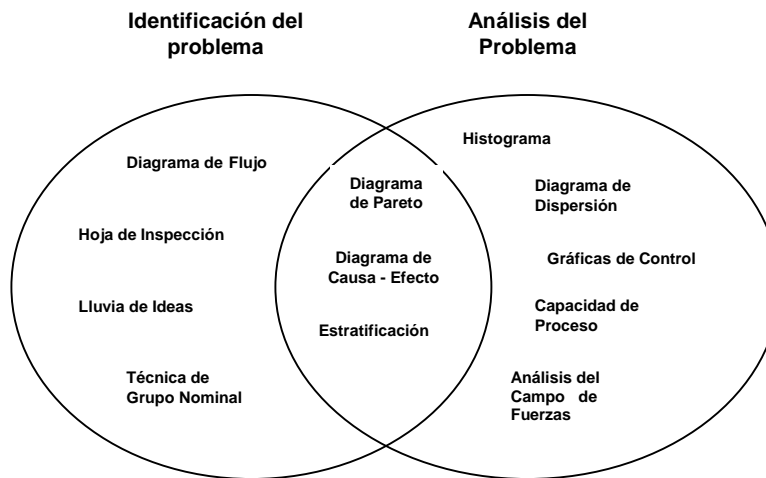


Figura N° 3 Técnicas para la identificación del problema y análisis del problema

### Técnicas:

- Diagrama de Flujo
- Hoja de Inspección
- Diagrama de Pareto
- Análisis de Causa – Efecto (Diagrama de Ishikawa)
- Gráficos de Control
- Capacidad de Proceso
- Análisis de ¿Por qué – Por qué?
- Análisis de ¿Cómo - Cómo?
- Diseño de experimentos (DOE)

### 2.2.1 Diagrama de Flujo:

Es una representación gráfica que muestra todos los pasos de un proceso; provee una excelente documentación de un programa y puede ser una herramienta útil para

examinar cómo se relacionan los pasos de un proceso. El diagrama de flujo utiliza símbolos fáciles de reconocer para representar el tipo de operación realizada.

Estudiando estos diagramas se descubren vacíos que son fuentes potenciales de problemas.

### **2.2.2 Hojas de Inspección:**

Las hojas de Inspección son formas fáciles de comprender para contestar a la pregunta ¿Qué tan frecuentemente ocurren ciertos eventos? Empieza el proceso de convertir “opiniones” en “hechos”. Para la elaboración de la hoja de Inspección se requiere:

1. Estar de acuerdo sobre que evento está siendo observado.
2. Decidir el período de tiempo durante el cual serán recolectados los datos.
3. Diseñar una forma que sea clara y fácil de usar, asegurarse que todas las columnas estén claramente descritas y de que haya suficiente espacio para registrar los datos
4. Obtener los datos de una manera consistente y honesta.

### **2.2.3 Diagrama de Pareto:**

El Diagrama de Pareto es una forma de representar los datos en un gráfico de frecuencias, de manera que los datos aparecen ordenados de mayor a menor. Así se pueden identificar las principales causas de la mayor parte de los efectos producidos. Según este concepto, si se tiene un problema con muchas causas, se puede decir que el 20% de las causas resuelven el 80% del problema.

El Diagrama de Pareto es de gran utilidad para identificar y dar prioridad a los problemas más significativos de un proceso.

### **2.2.4 Análisis Causal: Análisis Causa – Efecto (Diagrama de Ishikawa o Diagrama de Pescado):**

Ishikawa comenta que es necesario observar primero los efectos visibles para poder determinar las verdaderas causas del problema y con esto poder dar solución a este último.

Propósito:

1. Representar visualmente causas probables (factores causales) en categorías específicas

2. Ayudar a visualizar globalmente el problema (efecto)
3. Identificar aquellas causas probables que producen mayores impactos
4. Ayudar a pensar de un modo explícito en los detalles del proceso
5. Practicar el pensamiento divergente.

### 2.2.5 Gráficas de control:

Una gráfica de control es simplemente un gráfico de desarrollo con límites de control estadísticamente determinados; estos límites se denominan Límite de Control Superior (LCS) y Límite de Control Inferior (LCS) y se colocan equidistantes a ambos lados de la línea que indica el promedio de un proceso.

Los límites de control son calculados ejecutando un proceso sin alteraciones, tomando muestras e insertando los promedios de las muestras en la fórmula apropiada. Se podrán entonces graficar estos promedios para determinar si algunos de los puntos caen dentro o fuera de los límites, o si muestra patrones inusuales. Si ocurre una de estas dos cosas, se dice que el proceso “*está fuera de control*”.

La fluctuación de los puntos dentro de los límites resulta de causas comunes dentro del sistema, y que solo pueden ser afectadas si se cambia el sistema.

Existen diferentes gráficas de control en función de la variable a observar y del proceso a controlar.

Las más utilizadas son las siguientes:

#### Por variable

X - R	Promedios y Rangos
X - R	Medianas y Rangos
X - S	Promedios y Desviación Estándar
X - R	Lecturas Individuales y Rangos

#### Por atributo

P	Porcentaje de Unidades Defectuosas
Np	Cantidad de Unidades Defectuosas
C	Número de Defectos
U	Cantidad de Defectos por Unidad



### **2.2.6 Capacidad del proceso:**

Estar en control no es suficiente. Un proceso “*controlado*” puede producir un mal producto. La verdadera mejora de un proceso nace del equilibrio entre la repetición y la consistencia y la capacidad de satisfacer los requerimientos del cliente, también conocido como Capacidad del Proceso.

Para poder medir objetivamente el grado en que un proceso satisface o no dichos requerimientos, se han desarrollado índices de capacidad que permiten graficar esta medición. Los índices de capacidad permiten situar la distribución de un proceso en relación con los límites de especificación.

### **2.2.7 Análisis ¿Por qué – Por qué?**

En dicha técnica se realiza un esquema en el cual se plantea la pregunta ¿Por qué?

Propósito:

1. Proporcionar un método alternativo para identificar las causas principales de un problema.
2. Permitir explorar en forma creativa las diversas causas en lugar de saltar a la “*causa obvia*”
3. Practicar una técnica de pensamiento divergente

### **2.2.8 Análisis ¿Cómo – Cómo?**

En dicha técnica se realiza un esquema en el cual se plantea la pregunta ¿Cómo?

Propósito:

1. Ayudar a determinar los pasos específicos que deben seguirse para implantar una solución.
2. Permitir explorar en forma creativa y considerar varias soluciones alternativas en lugar de saltar a la “*solución obvia*”
3. Practicar una técnica de pensamiento divergente

### **2.2.9 Diseño de experimentos (DOE):**

Es una herramienta estadística para la mejora de la calidad, usada frecuentemente en proyectos Seis Sigma. Esta metodología sirve para diseñar las condiciones ideales de un producto, proceso o servicio para que cumpla con las expectativas usando el número mínimo de experimentos o pruebas. DOE es muy útil cuando se tiene entre manos un producto complicado cuyo resultado puede depender de una gran cantidad de variables que no se controlan y que se deben ajustar para optimizarlo.

## **CAPÍTULO III**

### **DEFINICIÓN DE FUNDICIÓN Y DESCRIPCIÓN DE PROCESO SHELL**

#### **3.1 Definición de fundición**

Se entiende por fundición la obtención de piezas por solidificación de un metal dentro de una cavidad llamada molde.

La elección del tipo de proceso depende del metal que se va a colar, del tamaño y número de piezas y del acabado o tersura que se requiere. Los moldes metálicos son de acero o hierro vaciado.

Los corazones son piezas de arena, estos deben tener una resistencia mecánica muy alta para soportar el manejo y el empuje del metal; deben tener una permeabilidad muy grande pues los gases tienen un camino más grande por recorrer y cuando el metal empieza a solidificar, tiende a contraerse y entonces el corazón debe perder totalmente su resistencia para que no se oponga a esa contracción. Para fabricar los corazones se emplean varios sistemas, los más comunes son el de Shell y el de caja fría.

#### **3.2 Análisis de la materia prima**

Composición de la arena

Las arenas son partículas segregadas por la acción del viento, del agua y del hielo a partir de rocas existentes en montañas o ríos. La arena de sílice, se encuentra en la naturaleza en depósitos a cielo abierto de donde se extrae con trascabos, luego se criba y lava con agua para quitar raíces y materiales extraños. Después se pasa a agitadores de alta velocidad, donde la arena choca con placas o barras y contra otros granos de arena para que mediante estos choques se desprenda la arcilla que los recubre, luego se pasa a un clasificador de gusano o rastrillo para eliminar la arcilla, este proceso se repite unas 4 veces o más dependiendo del contenido de arcilla. Después se escurre la arena, pasa a un horno de secado, generalmente rotatorio, se enfría y luego pasa a cribas vibratorias para clasificarla por tamaños y obtener las diferentes granulometrías.

Las arenas están compuestas químicamente por cuarzo, aproximadamente del 80% al 90%, de arcillas, y contenidos variables de minerales como cal, feldespatos, etc. en cantidades de un 5%, siendo estas indeseables.

La arcilla está compuesta fundamentalmente por silicato hidratado de alúmina y forma parte de las arenas, con una proporción del 10%. Se encuentra rodeando los granos de sílice. Cuando la arcilla tiene el grado de humedad adecuado es plástica y adhesiva. Pero al perder la humedad, se convierte en una masa dura y rígida. Por lo que el grado refractario de la arena depende del porcentaje y de la clase de arcilla que contenga.

La sílice ( $\text{SiO}_2$ ) se encuentra en la naturaleza en estado anhídrido, cuarzo, calcedonia, cristales de roca, rocas silíceas en estado hidratado.

La sílice anhídrida existe en 3 formas alotrópicas. La arena como se encuentra en la naturaleza, normalmente es cuarzo alfa, con una densidad de 2.65, a  $573^\circ\text{C}$  pasa a cuarzo beta estable y esta transformación viene acompañada de una dilatación volumétrica de 4% y lineal de 1.5%, esta dilatación es la responsable de los defectos conocidos como defectos por dilatación de las arenas, el cuarzo beta es estable hasta  $870^\circ\text{C}$ , arriba de esta temperatura cambia a la forma cuarzo beta inestable, hasta  $1460^\circ\text{C}$  donde se inicia la fusión, temperatura de reblandecimiento o sinterización y funde a  $1870^\circ\text{C}$ .

La Tridimita, con densidad de 2.26 es estable entre  $870^\circ\text{C}$  y  $1470^\circ\text{C}$ . La Cristobalita con densidad de 2.32 es estable entre  $1470^\circ\text{C}$  y  $1720^\circ\text{C}$ , punto de fusión. Hacia los  $220^\circ\text{C}$  la Cristobalita alfa se transforma en Cristobalita beta y esta transformación se acompaña de una expansión lineal de 1.8%.

La sílice es inerte a diversos agentes químicos, salvo al ácido fluorhídrico que la ataca fuertemente. A altas temperaturas reacciona con los óxidos básicos dando silicatos ácidos más o menos fusibles. La sílice tiene poca conductividad térmica, su dilatación es importante y tiene la desventaja de ser mojada por el metal. Los defectos principales debido a su uso son costras, colas de rata, venas y penetración.

### **3.3 Tipos de arena para fundición**

La arena es un sedimento incoherente construido por fragmentos minerales refractarios, presentando composiciones muy diversas y uno de sus usos más comunes es la fabricación de moldes y corazones para la obtención de piezas fundidas.

Las principales características de una arena para fundición son: sus propiedades térmicas, densidad, geometría de grano, inercia química y costo.

Tanto en moldes como en corazones, el metal fundido a temperaturas elevadas, entra en contacto directo con una parte de la arena y de manera inmediata empieza a ceder parte de su calor al medio que lo rodea de modo que las paredes del molde y corazones se calientan. Este aumento de temperatura puede causar expansión de la arena y ocasionar pandeamientos o deformaciones, creando así serios defectos de superficie.

### 3.4 Propiedades de la arena para corazones

- a) Refractariedad: Las arenas deben de tener un punto de fusión muy elevado para resistir sin fundirse y ni siquiera reblandecerse al contacto del metal fundido a temperaturas de 1500° C.
- b) Permeabilidad: Se denomina permeabilidad de las arenas a la facilidad que ofrecen a dejarse atravesar por el aire y los gases que se desprenden al realizar el vaciado y que proceden de:
  - El metal que lo desplaza al llenar la cavidad del molde
  - De la propia masa del metal
  - Del corazón ya formado con aglutinantes y estos gases están formados principalmente por el producto de la descomposición del aglutinante y la humedad.
- c) Plasticidad: Se entiende por plasticidad de las arenas de moldeo a la aptitud de estas para reproducir los detalles de los modelos. Esta depende de dos propiedades: la deformabilidad y la fluidez.
- d) Cohesión: Las arenas deben poseer resistencia a la tracción y a la flexión, para que resistan sin deshacerse a los esfuerzos que producen los metales en el vaciado.

### 3.5 El proceso Shell

El proceso nació en Alemania en 1943, pero se desarrolló industrialmente en 1948, el creador fue Johannes Croning, quien tuvo la idea de aglomerar arena por la adición de una resina sintética termoendurecible, que le da a la arena, después de calentarla, una resistencia muy alta, esto permite usar solamente una cáscara de arena para soportar las presiones del metal colado. Se emplea para fabricar corazones y moldes, los cuales tienen poco peso, no absorben humedad, producen pocos gases que se evacuan fácilmente por ser sólo una cáscara.

La precisión dimensional de las piezas obtenidas es alta. En la colada se quema la resina, produciendo un depósito en la superficie del molde o corazón de una capa de un carbono muy brillante, que taponan los poros de arena, aísla el metal del molde y los gases, que empujan desde adentro de la capa de arena, evitan la penetración del metal, obteniéndose una pieza con un muy buen acabado superficial.

### 3.5.1 Descripción del proceso.

Debe disponerse de una placa modelo o caja de corazones metálica, preferentemente de hierro gris, debido a su alta conductividad calorífica, montada en una máquina especial para este propósito que puede ser de una marca comercial o elaborada por el mismo fundidor. La placa o caja de corazones se calienta con quemadores de gas o resistencias eléctricas, distribuidos convenientemente para tener una temperatura uniforme en la placa o caja.

Es primordial el control de la temperatura y la uniformidad de la misma, si la temperatura es baja los corazones quedarán crudos, podrán deformarse durante el almacenamiento o durante la colada, además tendrán una mayor generación de gases. Si por el contrario la temperatura es muy alta, parte de la resina superficial se quema, el corazón se vuelve erosionable, baja su resistencia y el acabado superficial es deficiente.

La temperatura de la caja debe ser de 200° a 250° C, pero corresponde al fundidor encontrar la más adecuada para su proceso; en corazones chicos en los que la pared es delgada, se recomienda una temperatura alta y un tiempo de curado corto, en cambio en corazones grandes, que tienen una pared gruesa, se recomienda una temperatura baja y un tiempo de curado largo.

Algunas máquinas tienen pirómetros termoeléctricos fijos en alguna parte de la caja o placa que sirven para controlar los quemadores o resistencias, pero es necesario vigilar la uniformidad de la temperatura, distribuyendo adecuadamente los quemadores y ajustando la intensidad de la flama.

La arena en este punto es de suma importancia que tenga las características físicas y químicas necesarias para la fabricación de corazones, ya que al tener estas propiedades, se tomaran como una variable constante para el estudio de diseño de experimentos.

La arena se va a soplar dentro de la caja de corazones y es necesario que se llene uniformemente para tener alta densidad y uniformidad. La caja está llena de aire, este aire y el del soplado tienen que salir, por lo que en algunos lugares deben colocarse vientos o ventilas, para que salga el aire y que la arena llene uniformemente la caja.

La caja de corazones o placa modelo se cura primero con una pasta de silicón que sella las imperfecciones que pudieran haber quedado en el maquinado y pulido del herramental, para dejar una superficie antiadherente.

La arena se recubre con una resina del tipo fenol – formaldehído con un catalizador que es la hexametiltetramina; este catalizador se añade en una proporción del orden de un 15% respecto de la resina, la proporción depende de la velocidad de fraguado que se desee, pero si la proporción es muy alta, por ejemplo 20% se obtiene un fraguado muy rápido y una cáscara más dura, pero frágil y agrietable. Si por el

contrario la cantidad de catalizador es muy baja, 0%, la cáscara es menos resistente durante la colada, más plástica y produce deformaciones en la pieza.

La mezcla de arena, lleva además un lubricante interno que puede ser estearato de calcio o zinc en una proporción de 2 a 2.5% respecto de la resina, este contenido del lubricante puede llegar a ser hasta un 9% para el caso de corazones muy delicados.

Fases de la fabricación de un corazón cáscara o Shell.

1. Se calienta la caja de corazones y luego se le aplica una capa rociada de silicón, en solución acuosa, como agente desmoldante.
2. La arena recubierta se encuentra en el depósito inferior de la máquina, sobre ella se coloca una placa que lo comunicará con la caja de corazones, esta placa debe ser de un material aislante térmicamente y con una cara no rígida, que hace contacto con la caja, para que se adapte a la superficie de la caja y haga un buen sellado.
3. Se sube y asegura el depósito de arena a la caja de corazones.
4. Se invierte el conjunto, el depósito de arena queda encima de la caja de corazones, por un orificio se inyecta aire a presión al depósito de arena en el momento que se invierte, para forzar a la arena a que llene la cavidad de la caja de corazones, la inyección de aire es momentánea. Se mantiene la inversión algunos segundos, con el fin de que la resina se funda y se forme la cáscara, a mayor tiempo, mayor grosor de la cáscara.
5. Se vuelve el conjunto a la posición original, se bascula varias veces, para conseguir que la arena no adherida regrese al depósito de arena.
6. Se mantiene en esta posición algunos segundos o minutos, dependiendo del tamaño del corazón y del grosor de la cáscara, para que se cure completamente la cáscara.
7. Se abre la caja de corazones y se saca el corazón.
8. El desmoldante no debe aplicarse con cada corazón, sino determinar en qué momento se debe aplicar nuevamente.

### **Ventajas e inconvenientes**

Con el moldeo en Shell se pueden obtener piezas del tamaño que permita la capacidad de la máquina y del herramental disponible. Se pueden fabricar piezas de paredes delgadas, con una junta de moldeo plana, las piezas fabricadas son precisas, compactas, sin riesgo de agrietamientos, de buen acabado superficial, lisas, de contornos netos en ángulos vivos.

La arena recubierta es costosa y las resinas para recubrirla también, se puede recuperar la arena, para recubrirla nuevamente, en recuperador térmico a alta temperatura. El proceso requiere herramental preciso y frecuentemente maquinado, lo que eleva el costo.

### **3.5.2 Máquinas que se utilizan en el proceso de Shell.**

Existe una gran variedad de equipo para la preparación de la arena, así como también para la fabricación de los corazones. Algunas de las marcas conocidas que se pueden citar son:

- Shalco Systems
- Beardsley & Piper
- Roberts Sinto Corp
- Dependable Foundry Equipment Co, Inc
- George Fisher Foundry Systems, Inc
- ABB Cast Equipment

### **3.5.3 Clasificación de la máquina.**

Un numeroso tipo de máquinas han sido desarrolladas para la rápida producción de corazones. El tipo particular adecuado depende de factores tales como la cantidad de los corazones requeridos, el tamaño, lo complicado y el diseño de los corazones.

#### **1) Máquina de corazón soplado:**

Es indispensable para hacer corazones en la producción de una fundidora. La arena del corazón es empujada dentro de la caja de corazón desde una reserva de arena con un flujo de aire de alta velocidad a una presión de entre 6-8 kg/cm<sup>2</sup>. La caja de corazón tiene una gran cantidad de agujeros de ventilación localizados de manera adecuada para que la arena sea introducida, al aire es expulsado a través de las ventilas. Debido a la alta velocidad del aire, la arena pasa instantáneamente a la caja.

#### **2) Descripción de la máquina:**

La máquina que se describe es una para hacer corazones Shell de la marca Shalco Systems, modelo U-900, la máquina es construida de acero y hierro colado sobre un armazón tubular proporcionado de una fundición áspera.

El armazón es construido para herramientas de operación libres de problemas y un alineamiento exacto de la caja de corazones. El lado móvil se desliza sobre



cuatro columnas cromadas, protegidas por anillos limpiadores y son completamente lubricables.

La construcción de las columnas permite el montaje de equipo auxiliar en cualquier ángulo para el retiro de piezas sueltas en partes múltiples de las cajas de corazones.

La energía es proporcionada por un motor de dos velocidades y es transmitida por una cadena y catarina, la holgura en la cadena es trenzada por los dos agujeros de los pernos de ajuste del plato de montaje del motor previo. Un freno magnético ajustado a 20 lb-ft es accionado cuando el motor se para.

El tablero de control incluye mando manual y control automático (para continuidad y asimismo está repitiendo el ciclo). Los botones pulsadores individuales y los selectores para abrir y cerrar la caja de corazones, levantar y bajar el cargador con arena, girar y soplar; son también incluidos los interruptores para paro de ciclo y para regresar a la posición cero. Los controles son convenientemente localizados y todas las acciones son enclavadas eléctricamente para protección de la máquina.

La completa flexibilidad es disponible para acomodar diferentes cajas de corazones o moldes con controles automáticos ajustables de temperatura, temporizador de soplado y llenado como el curado y ciclos de basculado, y leva ajustable que permite el soplado automático en una sola posición. La temperatura de la caja es controlada por termostatos individuales sobre cada platina para asegurar exactitud.

Sobre la máquina los ciclos automáticos son iniciados presionando el botón de inicio y continúa la siguiente secuencia:

La caja de corazones cierra, actuando por un cilindro hidráulico. Un cilindro neumático levanta el cargador, cerrando con la caja de corazones. El armazón de rotación, soportado por dos bujes de 11" de diámetro y movido por una de las dos velocidades del motor de 1/3 Hp rota 180 grados para invertir la posición. Después se presenta un periodo inverso de rotación, la estructura de rotación regresa; los controles de la máquina permiten un movimiento basculante, aproximadamente 45 grados en cada dirección, para drenar el exceso de arena desde el interior del corazón. El control del vibrador es provisto para el drenado de la arena del interior del corazón.

Después del período basculado del ciclo, el cargador baja alejándose desde la caja de corazones y en esta posición la arena se alimenta automáticamente rellenando el nivel de arena en el cargador para el siguiente ciclo. Sobre la terminación del tiempo de curado, la caja de corazones abre. El corazón es retenido por medio de expulsión positiva en el lado móvil de la caja; cuando completamente ha retrocedido la platina, con la mitad de la caja reteniendo el corazón, pivotea descendiendo 90 grados.

Esta acción es seguida por la expulsión automática del corazón encima del muelle como parte de la estructura del transportador con ascenso para encontrarse la platina inclinada y el corazón. El transportador entonces baja y retira el corazón de la máquina, simultáneamente la máquina inicia el siguiente ciclo.

La máquina para corazones tiene una dimensión de 13' 8" de largo, 6' 1 ½" de ancho y con el cargador en posición invertida, se extiende para una altura de 8' 8" un mínimo de área de trabajo es de 8' 2" de ancho, 16' 6" de longitud y 9' de altura provista para la máquina. El sistema de alimentación automática de arena requiere un área de 4' x 4' x 9' de altura.

La máquina para su buen funcionamiento requiere de los siguientes sistemas:

- Sistema de aire
- Sistema eléctrico
- Sistema de gas
- Sistema hidráulico

### **Sistema de aire**

Se requiere un mínimo de presión de aire de 70 psi en cada máquina, en una instalación se utilizan aproximadamente 120 ft<sup>3</sup> de aire libre por minuto. Aunque hay un filtro de aire es esencial que sólo sea suministrado aire comprimido seco a la máquina.

Aparatos de consumo de aire.

1. Pistolas Conexiones incluidas en la parte posterior de la máquina.
2. Tanque de soplado. Permite regular la presión de soplado desde 0 a 150 psi, un regulador y manómetro de presión son convenientemente localizados.
3. Válvula solenoide de soplado. Controla aire piloto para abrir la válvula de soplado y cerrar válvula de escape en el cargador.
4. Válvula solenoide del cargador. Suministra aire al diafragma del cilindro elevador de la parte posterior del cargador hasta la caja de corazones. Esta válvula tiene incorporada un control de flujo ajustable para mandar el movimiento del cargador.
5. Válvula solenoide de alimentación. Suministra aire a presión a través de un regulador.

6. Válvula solenoide expulsora. Permite el paso de aire para operar los cilindros expulsores del lado móvil.

7.- Válvula solenoide del vibrador. Permite aire para la operación del vibrador.

### **Sistema eléctrico:**

La máquina y panel de control son internamente cableados de acuerdo con diagramas suministrados con cada unidad. Las conexiones hechas entre la máquina y panel de control, en cada circuito de control son designadas por un número con su respectivo cable de control justamente etiquetado. Hechas todas las conexiones al paquete terminal, la principal fuente de suministro es conectada. Los rangos de cada KW son listados en la placa de datos, el voltaje del circuito principal es usualmente 230/460V, 60 ciclos con voltaje de control de 120 V.

Para el control del tiempo de soplado, alimentación, oscilaciones, curado y alimentación de arena, los temporizadores son montados sobre el tablero de control, los máximos rangos de operación son para cada uno de los temporizadores de control como sigue:

- Soplado
  - Alimentación
  - Oscilaciones
  - Curado
  - Alimentación de arena
1. Temporizador de soplado. Controla la duración del tiempo de soplado, la válvula es abierta e inicia en la posición en la cual la leva de soplado es accionada. El movimiento del aire desde el tanque acumulador, a través del cargador y dentro de la caja de corazones es muy rápido y es consumado al instante que la válvula es abierta. Pocas veces puede ser necesario un tiempo de soplado mayor para realizar la misma acción que un tiempo de pocos segundos.
  2. Temporizador de alimentación (llenado). El control del tiempo de llenado se activa después del soplado; durante este periodo la caja de corazones es conservada llena de arena. La duración del tiempo de llenado y la temperatura de la caja determinan el espesor de pared del corazón.
  3. Contador de oscilaciones. Determina el número de veces la rotación del armazón. Pocos corazones no requieren de oscilaciones, en este caso el contador puede ser puesto en cero, regresando la máquina a posición vertical.

4. Temporizador de curado. Empieza simultáneamente con el contador de oscilaciones inmediatamente después del tiempo de llenado. El tiempo es seleccionado para producir corazones que pueden variar de acuerdo con la temperatura de la caja, tamaño del corazón y espesor.
5. Temporizador de alimentación de arena. Para control opcional de la duración del tiempo de alimentación de arena que es alimentada dentro del cargador por el número de segundos seleccionados. El tiempo y el flujo de arena empieza dentro del cargador inmediatamente después de que la máquina regresó a su posición vertical y el cargador es bajado desde la caja. Aire y válvulas unidireccionales controlan el flujo de arena.

### **Sistema de gas**

La máquina es suministrada con platinas horizontales calentadoras de gas de 30" de ancho y 20" de alto. Cada platina es equipada con siete líneas de espreas al múltiple de gas, 161 puertos son provistos y 77 espreas son arregladas para permitir una mayor eficiencia de distribución de calor promedio para la caja. Las espreas pueden ser arregladas para concentrar el calor en cualquier área. Los puertos que no se usan pueden ser sellados con tapones. Una línea completa de espreas puede ser cortada si se desea, simplemente desatornillando los tapones de latón sobre el múltiple principal de gas opuesta a la línea. Un control de temperatura es previsto para cada mitad de la caja de corazones.

### **Sistema hidráulico**

La fuerza para el recorrido del lado móvil hacia adelante y el regreso, el cerrado de la caja y el basculado del lado móvil y regreso vertical son provistos por una unidad hidráulica que incluye.

1. Un depósito con capacidad de 30 galones el cual puede ser llenado con aceite hidráulico tipo agua-glicol con rango de 150 a 225 SSU (segundo saybolt universal) a 100 grados F
2. Un motor eléctrico
3. Unidad de bomba hidráulica. Consiste de un compensador de presión tipo aspa, entregando un flujo de 15 galones/min con una presión de operación máxima de 1000 psi. Un sistema regenerativo es entubado dentro de la unidad hidráulica para el recorrido del lado móvil hacia adelante y regreso teniendo un flujo de 24 galones/min.
4. Válvula de recorrido móvil. Es de muelle centrado, operada por solenoide. Cuando desenergiza, es cerrado el recorrido en esta posición hasta que otro de los solenoides es energizado.

5. Válvula de basculado. Idéntica a la válvula de recorrido.

### 3.5.4 Esquema breve del equipo Shalco U-900

VISTA FRONTAL



Figura N°4 Máquina Shalco U-900

NÚMERO	DESCRIPCIÓN
1	Cilindros hidráulicos de basculado
2	Marco giratorio
3	Cilindro hidráulico RAM
4	Interruptores límite de invertido, oscilación y soplado
5	Botones de Inicio de ciclo y Paro de emergencia
6	Sistema de descarga de piezas
7	Caro o Soporte parte móvil / Cilindro RAM
8	Columna principal (4x)
9	Placa de distribución de quemadores
10	Guarda de protección

Tabla 1 Estructura de la máquina Shalco U-900

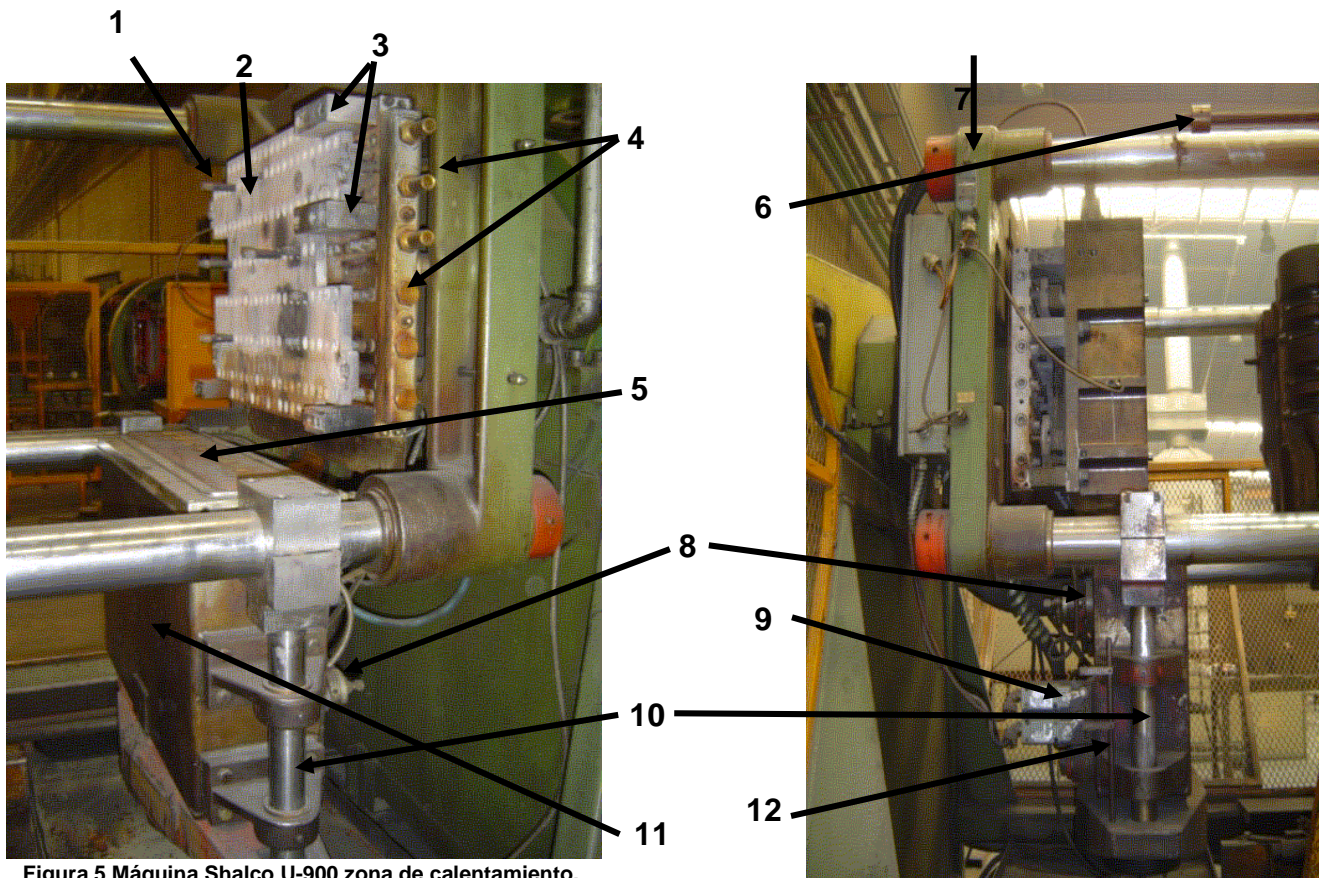


Figura 5 Máquina Shalco U-900 zona de calentamiento.

NÚMERO	DESCRIPCIÓN
1	Quemador Largo
2	Quemador Corto
3	Bloques ajustables
4	Clavijas de cobre
5	Placa de soplado
6	Leva activación de interruptor límite carrera de platina (cierre)
7	Interruptor límite de carrera de platina
8	Filtros de desahogo
9	Interruptores límite carrera del cargador
10	Columnas guía
11	Cargador
12	Tapón para drenado de arena

Tabla 2 Descripción de componentes de máquina

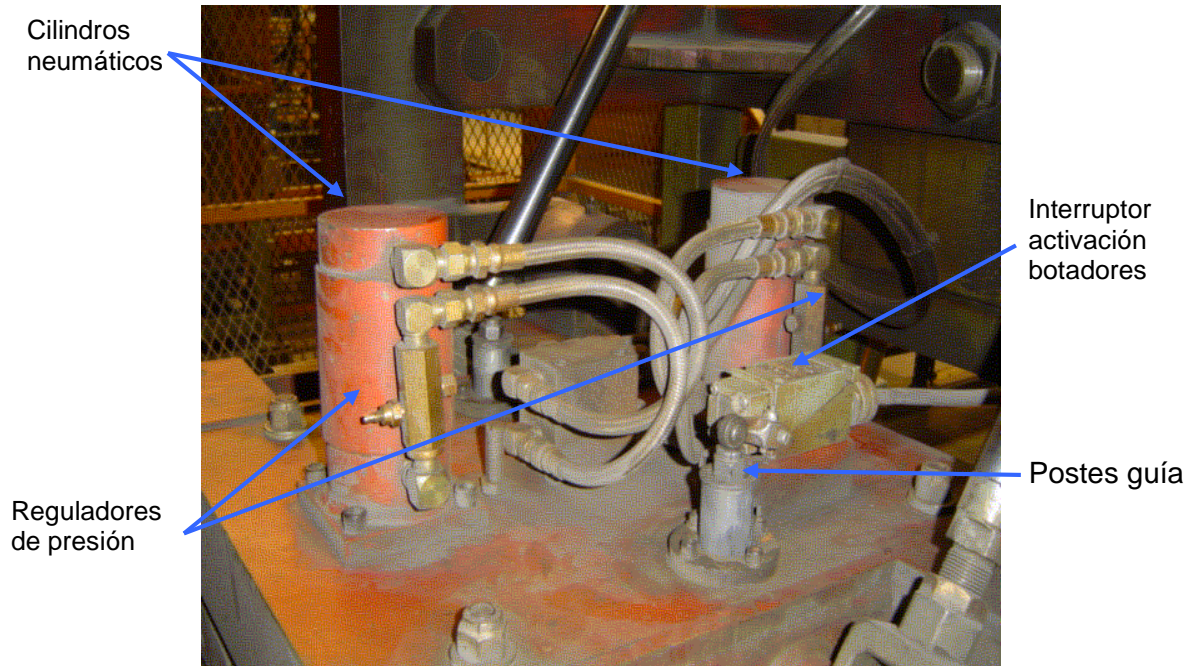


Figura 6 Cilindros neumáticos

En el lado fijo se encuentra un sistema mecánico de botadores alterno, el cual está controlado por medio de resortes y se activa en cuanto la caja empieza abrir

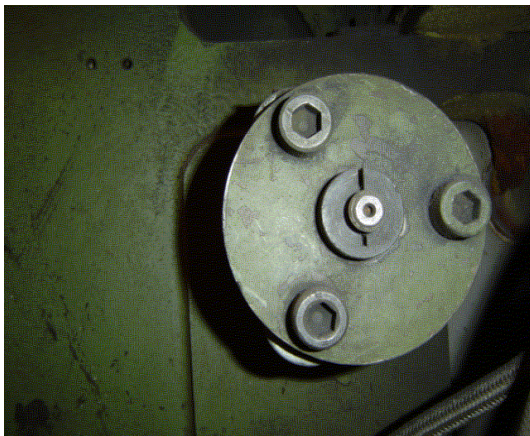
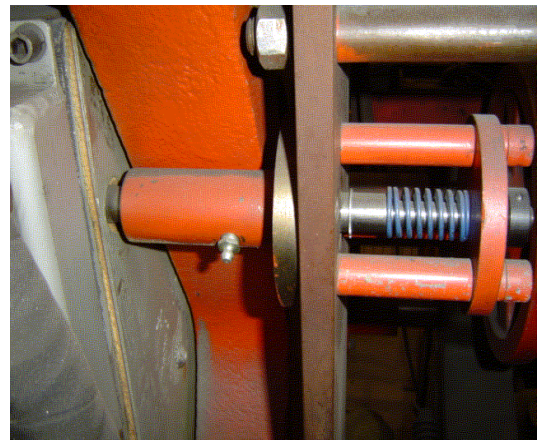


Figura 7 Sistema mecánico de botadores



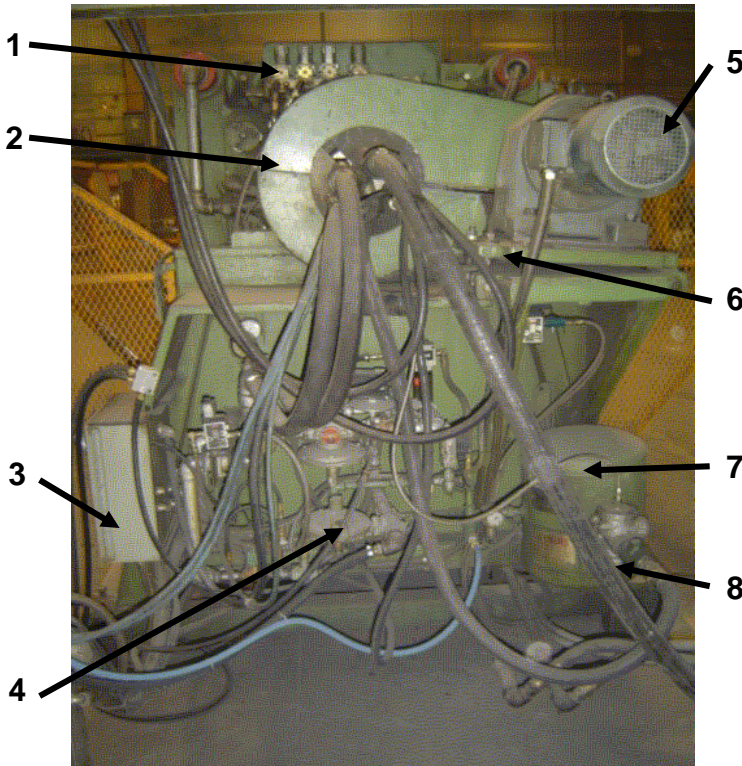


Figura 8 Vista trasera de máquina U-900

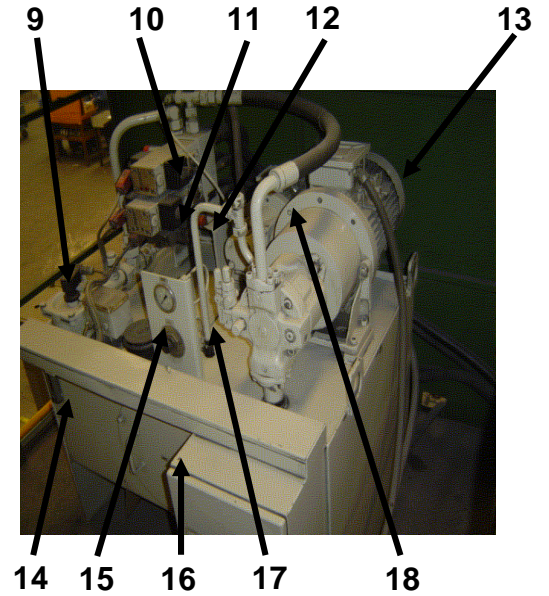


Figura 9 Unidad Hidráulica

NÚMERO	DESCRIPCIÓN
1	Múltiple y válvulas neumáticas
2	Guarda de cadena de transmisión
3	Panel de conexiones eléctricas
4	Sistema mezcla Aire – Gas
5	Moto reductor con freno magnético
6	Tornillos para ajuste de tensión de cadena
7	Tanque de soplado
8	Válvula de soplado
9	Filtro de hidráulico
10	Válvula solenoide desplazamiento del cilindro RAM
11	Válvula solenoide basculado Parte Móvil
12	Válvula solenoide elevación de Mesa de Descarga
13	Bomba y Motor eléctrico
14	Medidor de nivel
15	Filtro de ventilación
16	Depósito del fluido capacidad 250l (blancas)/ 302,8l (verdes)
17	Manómetro
18	Línea para purga de bomba

Tabla 3 Descripción de componentes vista trasera y unidad hidráulica



## Sistema aire – gas

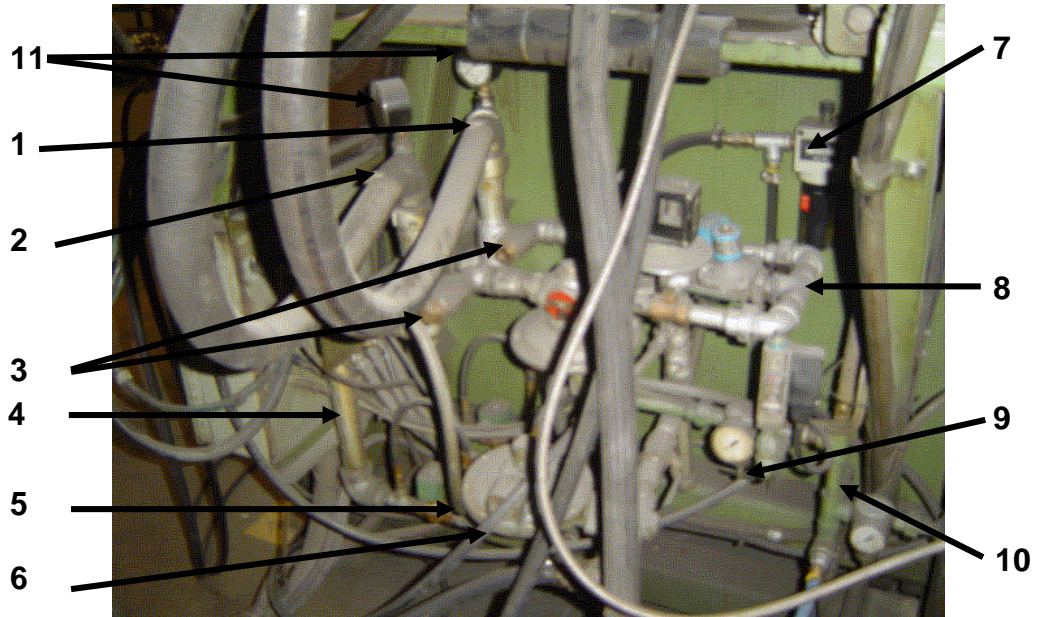


Figura 10 Sistema de aire-gas

NÚMERO	DESCRIPCIÓN
1	Salida mezcla Gas-Aire lado Móvil
2	Salida mezcla Gas-Aire lado Fijo
3	Válvulas reguladoras de gas
4	Línea de aire para mezcla Gas-Aire
5	Válvula reguladora de aire
6	Llave reguladora de aire
7	Filtro sistema neumático
8	Línea de gas para mezcla Gas-Aire
9	Regulador de aire
10	Línea principal de aire
11	Manómetros

Tabla 4 Componentes de sistema aire-gas

## **CAPÍTULO IV**

### **PROCESO DE MEJORAMIENTO CONTINUO Y TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS Y LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS (DISEÑO DE EXPERIMENTOS)**

#### **4.1 Aplicación del sistema de calidad:**

Hoy en día se realizan experimentos en todos los ramos de la ciencia, con el objeto de analizar los procesos y minimizar los costos. Los modelos de diseño de experimentos son modelos estadísticos clásicos cuyo objetivo es averiguar si determinados factores influyen en una variable de interés y, si existe influencia de algún factor, cuantificar dicha influencia.

El diseño de experimentos es:

El diseño experimental es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés. El diseño experimental prescribe una serie de pautas relativas sobre qué variables hay que manipular, de qué manera, cuántas veces hay que repetir el experimento y en qué orden, para poder establecer, con un grado de confianza predefinido, la necesidad de una presunta relación de causa-efecto.

El diseño experimental encuentra aplicaciones en la industria, la agricultura, la mercadotecnia, la medicina, la ecología, las ciencias de la conducta, etc. constituyendo una fase esencial en el desarrollo de un estudio experimental.

Un enfoque sistemático para resolver problemas y mejorar los procesos por medio de principios estadísticos y métodos de experimentación científica.

Una forma de obtener la máxima información respecto de un problema con objeto de tomar buenas decisiones. Esto último se logra con una erogación mínima de recursos.

La secuencia completa de pasos tomados de antemano para asegurar que se obtendrán los datos apropiados de modo que permitan un análisis objetivo que conduzca a deducciones válidas con respecto al problema establecido.

La metodología del diseño de experimentos estudia cómo variar las condiciones habituales de realización de un proceso empírico para aumentar la probabilidad de detectar cambios significativos en la respuesta; de esta forma se obtiene un mayor conocimiento del comportamiento del proceso de interés.

Para que la metodología de diseño de experimentos sea eficaz es fundamental revisar cuáles son los motivos de estudio.

Por ejemplo:

- Determinar las principales causas de variación en la respuesta.
- Encontrar las condiciones experimentales con las que se consigue un valor extremo en la variable de interés o respuesta.
- Comparar las respuestas en diferentes niveles de observación de variables controladas.
- Obtener un modelo estadístico – matemático que permita hacer predicciones de respuestas futuras.

La utilización de los modelos de diseño de experimentos se basa en la experimentación y en el análisis de los resultados que se obtienen en un experimento bien planeado. En muy pocas ocasiones es posible utilizar estos métodos a partir de datos disponibles o datos históricos, aunque también se puede aprender de los estudios realizados a partir de datos recogidos por observación, de forma aleatoria y no planeada. En el análisis estadístico de datos históricos se pueden cometer diferentes errores, los más comunes son los siguientes:

1. Inconsistencia de los datos: Los procesos cambian con el tiempo, se producen cambios en el personal (cambios de personas, mejoras del personal por procesos de aprendizaje, motivación).
2. Variables con fuerte correlación: Puede ocurrir que en el proceso existan dos o más variables altamente correlacionadas que pueden llevar a situaciones confusas.
3. El rango de las variables controladas es limitado: Si el rango de una de las variables importantes e influyentes en el proceso es pequeño, no se puede saber su influencia fuera de ese rango y puede quedar oculta su relación con la variable de interés o los cambios que se producen en la relación fuera del rango observado.

## **4.2 Tipos de variabilidad**

Uno de los principales objetivos de los modelos estadísticos y, en particular, de los modelos de diseño de experimentos, es controlar la variabilidad de un proceso aleatorio que puede tener diferente origen. De hecho, los resultados de cualquier experimento están sometidos a tres tipos de variabilidad cuyas características son las siguientes:

- Variabilidad sistemática y planeada: Esta variabilidad viene originada por la posible dispersión de los resultados debida a diferencias sistemáticas entre las distintas condiciones experimentales impuestas en el diseño por expreso deseo del experimentador. Es el tipo de variabilidad que se intenta identificar con el diseño estadístico.

- Variabilidad típica de la naturaleza del problema y del experimento: Es la variabilidad debida al ruido aleatorio. Este término incluye, entre otros, a la componente de variabilidad no planeada denominada error de medida. Es una variabilidad impredecible e inevitable.
- Variabilidad sistemática y no planeada: Esta variabilidad produce una variación sistemática en los resultados y es debida a causas desconocidas y no planeadas.

La experimentación forma parte natural de la mayoría de las investigaciones científicas industriales, en muchas de las cuales los resultados del proceso de interés se ven afectados por la presencia de distintos factores, cuya influencia puede estar oculta por la variabilidad del resultado muestral. Es fundamental conocer los factores que influyen realmente y estimar esta influencia. Para conseguir esto es necesario experimentar, variar las condiciones que afectan a las unidades experimentales y observar la variable respuesta. Del análisis y estudio de la información recogida se obtienen las conclusiones.

Las técnicas de diseño de experimentos se basan en estudiar simultáneamente los efectos de todos los factores de interés, son más eficaces y proporcionan mejores resultados con un menor costo.

#### **4.3 Pasos a seguir en un diseño de experimentos.**

Para tener éxito en el diseño de experimentos, es necesario que todos los involucrados en el experimento tengan una idea clara del objetivo del experimento, de los factores a ser estudiados, cómo se realizará el experimento y al menos una idea cualitativa de cómo se analizarán los datos. El procedimiento recomendado por Montgomery tiene los pasos siguientes:

1. Reconocimiento y establecimiento del problema.
2. Selección de factores y niveles.
3. Selección de la variable de respuesta.
4. Selección del diseño experimental.
5. Realización del experimento.
6. Análisis de los datos.
- 7 Conclusiones y recomendaciones.

1. Reconocimiento y establecimiento del problema: Se debe hacer una lista completa de las preguntas concretas a las que debe dar respuesta el experimento. Es importante indicar solamente cuestiones fundamentales, ya que tratar de abordar problemas colaterales puede complicar innecesariamente el experimento.

2. Selección de factores y niveles.

- Factores tratamiento: son aquellas fuentes cuyo efecto sobre la respuesta es de particular interés para el que experimenta. Los factores tratamiento pueden ser cualitativos o cuantitativos.
- Se denomina factor tratamiento a cualquier variable de interés. Los niveles de un factor tratamiento son los tipos o grados específicos del factor que se tendrán en cuenta en la realización del experimento.
- Factor obstáculo: son aquellas fuentes que no son de interés directo, pero que se contemplan en el diseño para reducir la variabilidad no planeada.

3. Selección de la variable de respuesta. Se le llaman unidades experimentales y son el material dónde evaluar la variable respuesta y al que se le aplican los distintos niveles de los factores tratamiento.

4. Selección del diseño experimental. Para elegir el diseño es necesario considerar el tamaño muestra (número de repeticiones), seleccionar un orden adecuado para los ensayos y determinar si hay implicado un bloqueo u otras restricciones de aleatorización.

5. Realización del experimento: Cuando se realice el experimento es vital monitorear el proceso para asegurar que todo se haga conforme a lo planeado. Ya que los errores en esta fase suelen anular la validez experimental.

6. Análisis de datos: Deben emplearse métodos estadísticos para analizar los datos, de modo que los resultados sean objetivos más que apreciativos.

7. Conclusiones y recomendaciones.

#### **4.4 Terminología usada en el diseño de experimentos**

Resumen de la terminología común utilizada en la teoría de los modelos de diseño de experimentos:

- Unidad experimental: son los objetos, individuos, intervalos de espacio o tiempo sobre los que se experimenta.
- Variable de interés o respuesta: es la variable que se desea estudiar y controlar su variabilidad.
- Factor: son las variables independientes que pueden influir en la variabilidad de la variable de interés.

- Factor tratamiento: es un factor del que interesa conocer su influencia en la respuesta.
- Factor bloque: es un factor en el que no se está interesado en conocer su influencia en la respuesta, pero se supone que ésta existe y se quiere controlar para disminuir la variabilidad residual.
- Niveles: cada uno de los resultados de un factor. Según sean elegidos por el experimentador o elegidos al azar de una amplia población se denominan factores de efectos fijos o factores de efectos aleatorios.
- Tratamiento: es una combinación específica de los niveles de los factores en estudio.
- Réplica: Es el número de repeticiones del experimento.
- Efecto de un factor: es el cambio en la respuesta como resultado de un cambio en el nivel del factor, se denomina *efecto principal* ya que se refiere a los factores primarios del estudio.

#### 4.5 Principios básicos del diseño de experimentos

Normalidad.- Siempre que se conduce un experimento las muestras son tomadas de poblaciones “normales”, en el análisis de los experimentos se verifica que se cumpla con este principio, de lo contrario los resultados obtenidos no serán confiables.

Replicación.- Significa la repetición de un experimento, permitiendo al experimentador la obtención de un error experimental. El error es la unidad básica de medida para determinar si las diferencias observadas en los datos son realmente diferentes estadísticamente. La replicación permite tener una estimación más precisa de los efectos.

Aleatoriedad.- Por aleatoriedad se entiende que la posición del material y el orden en el cual las corridas se realizan en los experimentos son determinadas aleatoriamente (al azar).

Bloqueo.- Es una técnica usada para incrementar la precisión de un experimento. Un bloque es una porción del material experimental el cual es más homogéneo que el material restante

## **CAPÍTULO V**

### **DISEÑO DE EXPERIMENTO APLICADO AL PROCESO SHELL**

#### **5.1 Reconocimiento y establecimiento del problema**

- a) El primer planteamiento de este trabajo fue el sustituir una arena recubierta de procedencia americana con una arena nacional.
- b) El segundo planteamiento consiste en utilizar el 100% de la arena recuperada que fabrica la empresa, (se denomina de esta manera porque pasa a través de varios procesos y al terminó de estos se puede utilizar nuevamente) Esta arena es enviada al proveedor para recubrirla con resina.
- c) El tercer planteamiento es encontrar un proveedor nacional cercano a la empresa, en la que se le enviará arena recuperada y el proveedor proporcionará las características de calidad que se requieren para la fabricación de corazones del proceso de Shell.

A continuación se describe el proceso de recuperación de arena.

##### 1) Recepción de la arena por recuperar

Se conoce como arena por recuperar a:

- La arena que fue utilizada como corazón en la producción de piezas vaciadas, su presentación puede ser como arena suelta o terrón.
- El desecho de corazones
- Mezclas de arena que no fueron transformadas en corazón.

Es muy importante en este paso del proceso tener la precaución de minimizar las fuentes de contaminación como son: tierra, partículas de aluminio, y otros (piedras, madera, plástico, etc.).

##### 2) Desmenuzado

Se realiza en tambores rotatorios (conocidos como Didion), en los cuales se lleva a cabo la fragmentación de los terrones y la separación primaria de las maderas, plástico y aluminio de tamaños mayores a 3 mm.

##### 3) Cribado

La finalidad de esta operación es separar las partículas finas de aluminio generadas en los tambores rotatorios, para reducir pH y ADV (valor de demanda ácida) en el momento de la calcinación de la arena en los hornos recuperadores.

#### 4) Recuperador térmico de arena

El objetivo del recuperador es eliminar la resina residual de la arena para ser reutilizada en la fabricación de corazones.

El indicador de la eficiencia de recuperación es el nivel de orgánicos en la arena, medido a través del análisis L.O.I (Pérdidas por Ignición).

De acuerdo con el planteamiento se procedió a enviar arena recuperada al proveedor nacional y este fabricó una serie de lotes de arena con distintas resinas fenólicas que el proveedor tiene de línea.

Las características que debe tener la arena recubierta en el laboratorio es:

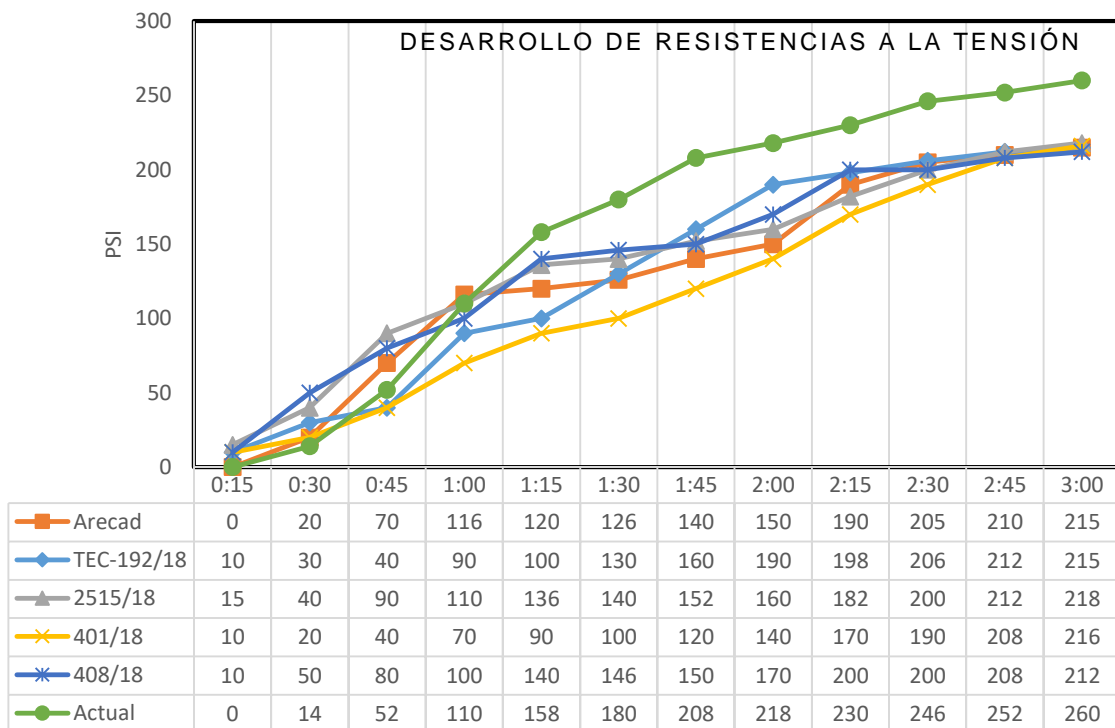
AFS (Promedio de grano)

%LOI (Perdida por ignición)

Resistencia a la tensión (Propiedades mecánicas psi)

Desarrollo de resistencias (Propiedades mecánicas a través del tiempo)

En la gráfica 1.1 se muestran las resistencias a la tensión de las distintas arenas, a través del tiempo.



Gráfica 1.1 Resistencia a la tensión



Propiedades	Arecad	TEC-192	2515	401	408	Actual
AFS	57.8	57.74	57.3	57.48	58,35	57,75
LOI	2.55	2.39	2.57	2.65	2.6	2.41

Tabla 5. Propiedades de arena recubierta de las distintas arenas

El proceso requiere de las siguientes características para la fabricación de un corazón.

- Soplado
- Alimentación
- Oscilaciones
- Tiempo de Curado
- Alimentación de arena
- Temperatura de molde

Con estas características y con los parámetros utilizados anteriormente con el proveedor americano, se iniciaron las pruebas. De las cuales, de las distintas arenas que envió el proveedor nacional ninguna dio resultados óptimos.

El establecimiento del problema es el siguiente:

Se requiere que el corazón de Shell ya fabricado tenga las siguientes características:

- Peso Ligero
- Espesores delgados
- Corazón hueco

De los distintos lotes de arena con resinas diferentes del proveedor, se observó que el catalizador (hexametiltetramina) puede variar las condiciones del corazón en el peso, espesor y homogeneidad en el interior.

Por lo que se incorporó otra característica, a la que se le llamó Peel-back o cáscara es el desprendimiento de arena semi-curada en la parte interna de un corazón hueco, generando variación de la pared del corazón, bajo peso y rompimiento del corazón en la parte donde la pared es más delgada. Algunas causas del peel back son:

En la tabla 1.3 se muestran las distintas arenas en donde se muestran los valores de peel-back o cáscara con diferentes cantidades de hexametiltetramina y/o catalizador entre un rango de 14 y 18%.

Es de notar que la arena del proveedor actual obtuvo un valor de peel-back o cáscara de 7.18%.

Propiedad	TEC-192/18	TEC-192/14	Arecad/18	Arecad/14	2515/18	2515/14	401/18	401/14	408/18	408/14	Arena normal
Peel-back	15.1	9.10	13.75	7.32	12.72	16.2	20.55	16.1	16.15	13.25	7.18

Tabla 1.3 Diferentes arenas con un rango de 14 y 18 % de catalizador

Por lo que, a partir de los valores arrojados en pruebas de laboratorio y proceso, se tomó la decisión de utilizar los tipos de resina con menor valor de peel-back o cáscara. La razón por la cual se utilizó con menor peel-back o cáscara se debió al grosor del corazón y arena sin curar dentro del corazón.

Los tipos de resina seleccionados fueron:

- TEC-192 resina tipo A
- ARECAD resina tipo B

## 5.2 Selección de factores, niveles y variable de respuesta

De acuerdo con el planteamiento y con la variable de respuesta se cree que tres factores pueden estar afectando la calidad del corazón, estos factores son: tipo de resina, temperatura de caja, peel-back o cáscara.

Si se desea analizar el efecto de estos factores, es necesario variarlos, esto es probar cada uno bajo diferentes valores. A cada uno de estos valores se les llama nivel. Se requiere de al menos dos niveles o valores distintos para cada factor. A uno de ellos arbitrariamente se le llamó nivel bajo o nivel “1”, al otro nivel alto o nivel “2”.

Factor	Descripción	Nivel 1	Nivel 2
A	Tipo de resina	Tipo A	Tipo B
B	Temperatura de caja	190° C	250° C
C	Peel-back o cáscara	7.32%	15.1 %

## 5.3 Selección del diseño experimental

Se consideró un diseño de  $2^3$ , es decir dos niveles, compuestos de 3 factores cada uno de ellos. Su implementación está dada por un solo bloque, en donde el orden de las corridas es obtenido con ayuda del programa Minitab.

El análisis de resultados, se puede efectuar de dos maneras diferentes. Una de ellas mediante una serie de gráficas, la otra mediante el análisis de varianza; se muestra primero el uso del análisis de varianza, posteriormente se muestra el uso de gráficas.

Se utiliza el Minitab y se crea el arreglo siguiente:

Tomando en cuenta dos niveles y 3 factores utilizando el diseño factorial se tendrán 8 corridas, donde se utilizan 2 réplicas, por lo que se obtendrán 16 corridas para el

estudio. La salida de este estudio será el peso y el espesor del corazón. La Tabla 1.4 muestra el arreglo del diseño.

Se muestra en el programa de Minitab el diseño factorial.

Welcome to Minitab, press F1 for help.

### Full Factorial Design

Factors: 3 Base Design: 3, 8  
 Runs: 16 Replicates: 2  
 Blocks: 1 Center pts (total): 0

A continuación se muestra el arreglo del diseño de experimentos en la tabla 1.4

	C1	C2	C3	C4	C5.T	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	tipo de resina	peel back	temperatura	espesor	peso				
1	1	1	1	1	a	7	190	4.50	5.20				
2	2	2	1	1	b	7	190	2.90	3.70				
3	3	3	1	1	a	15	190	4.80	5.60				
4	4	4	1	1	b	15	190	3.25	3.90				
5	5	5	1	1	a	7	250	4.90	5.80				
6	6	6	1	1	b	7	250	3.10	3.80				
7	7	7	1	1	a	15	250	4.30	5.15				
8	8	8	1	1	b	15	250	2.95	3.75				
9	9	9	1	1	a	7	190	4.10	4.80				
10	10	10	1	1	b	7	190	3.30	4.20				
11	11	11	1	1	a	15	190	4.40	5.10				
12	12	12	1	1	b	15	190	3.25	3.85				
13	13	13	1	1	a	7	250	4.40	5.20				
14	14	14	1	1	b	7	250	3.30	4.15				
15	15	15	1	1	a	15	250	4.10	4.75				
16	16	16	1	1	b	15	250	3.15	3.82				
17													
18													
19													
20													
21													

Tabla 1.4 Arreglo del diseño

En donde las columnas C1 y C2 son las pruebas que se van a realizar en este caso serían 8 muestras, pero se harán 2 replicas, por lo cual serán 16 muestras. En C3 y C4 se tiene el centro y el bloque en cada uno se colocó 1. Cuando se configura el experimento, Minitab también pide el número de bloques. Los bloques son simplemente agrupaciones homogéneas de mediciones que pueden utilizarse para representar la variación. El valor predeterminado es uno; lo ideal es que todo sea homogéneo.

En C5, C6 y C7 se colocan los factores que se requieren en el estudio como es el caso de tipo de resina, peel-back y/o cáscara, y temperatura, con sus dos niveles. En el caso de C8 y C9 se tienen las variables de salida de espesor y peso; estos resultados fueron arrojados del estudio.

## 5.4 Realización del experimento y análisis de datos

### Factorial Fit: espesor, peso

### Factorial Fit: espesor versus tipo de resina, peel back y/o cáscara, temperatura

Estimated Effects and Coefficients for espesor (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constante		3.7938	0.05762	65.84	0.000
tipo de resina	1.2875	0.6437	0.05762	11.17	0.000
Peel back o cascara	-0.0375	-0.0187	0.05762	-0.33	0.753
Temperatura	-0.0375	-0.0187	0.05762	-0.33	0.753
Tipo de resina*peel back o cascara	0.0375	0.0188	0.05762	0.33	0.753
Tipo de resina*temperatura	-0.0125	-0.0063	0.05762	-0.11	0.916
Peel back*temperatura	-0.2625	-0.1313	0.05762	-2.28	0.052
Tipo de resina*peel back*temperatura	0.1125	0.0563	0.05762	0.98	0.358

S = 0.230489 R-Sq = 94.26% R-Sq(adj) = 89.23%

Análisis de la varianza (Anova) determina si algo es significativo o no con base en el valor de F o efecto principal, si este efecto es menor al nivel de significancia P-Values de 0.05, (columna P), se considera que dicho factor influye en la variable de respuesta. Tomando en cuenta lo anterior se observa que los factores que presentan un valor de P-Values menor que  $\alpha=0.05$  es el tipo de resina.

En el gráfico 1.2 de Pareto, se observa que la línea roja sólo pasa a través del factor A (tipo de resina) y este tiene un efecto en el estudio.

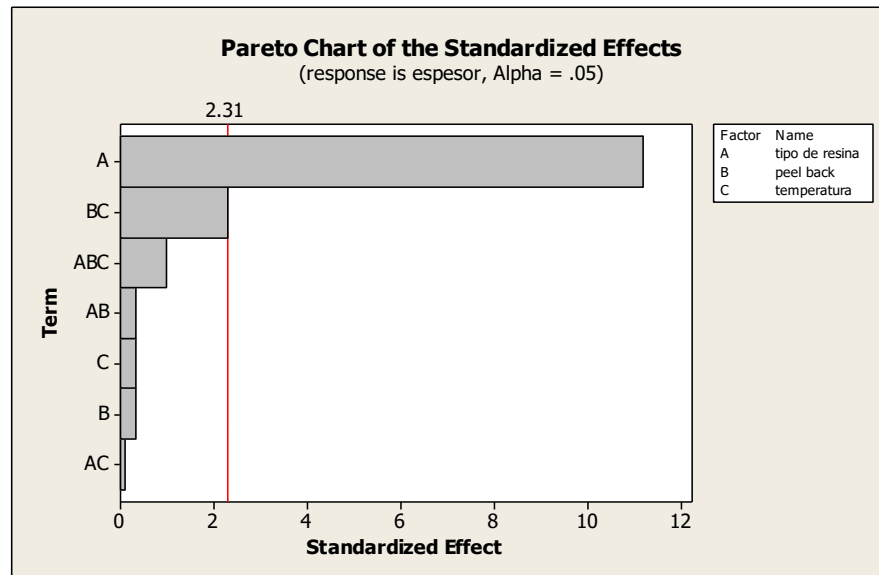


Gráfico 1.2 Pareto

El gráfico 1.3 de Efectos Principales muestra que la variable que más contribuye al efecto de espesor es el tipo de resina, no existe una relación directa entre el peel-back y/o cáscara.

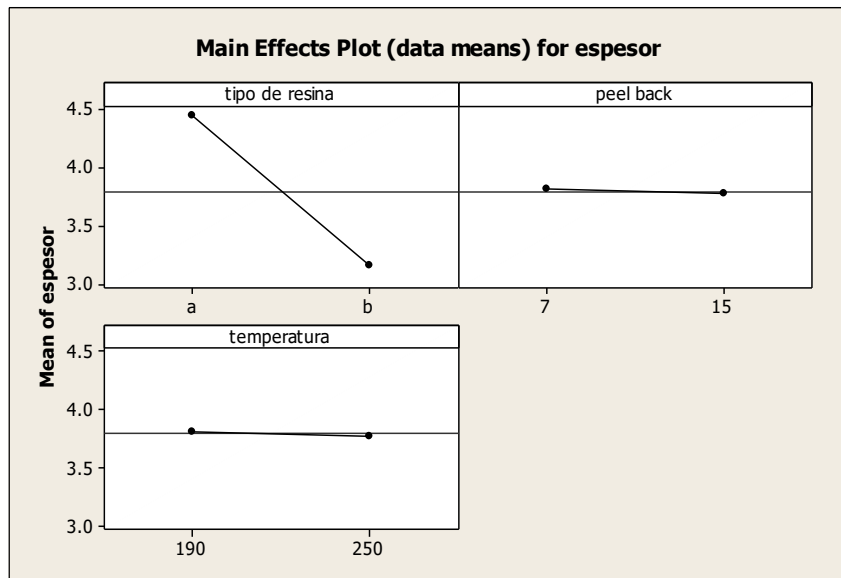


Gráfico 1.3 Interacción con los factores de entrada

El gráfico 1.4 de cubo muestra que si se requiere un espesor de 4.30 se debe trabajar con un tipo de resina tipo A, con un peel-back y/o cáscara de 7 con una temperatura de caja de 190°

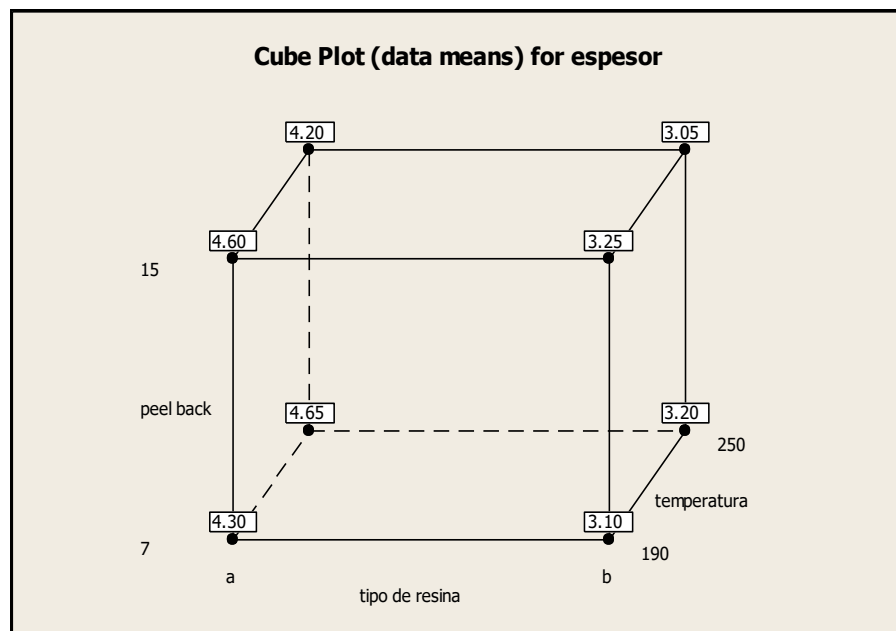


Gráfico 1.4 Cubo

El gráfico 1.5 muestra que sí hay interacción entre las variables de temperatura y peel back y/o cáscara.



Gráfico 1.5 Interacciones de espesor

### Factorial Fit: peso versus tipo de resina, peel back, temperatura

Estimated Effects and Coefficients for peso (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constante		4.5481	0.07153	63.58	0.000
tipo de resina	-1.3037	-0.6519	0.07153	-9.11	0.000
peel back	-0.1163	-0.0581	0.07153	-0.81	0.440
temperatura	0.0088	0.0044	0.07153	0.06	0.953
tipo de resina*peel back	-0.0163	-0.0081	0.07153	-0.11	0.912
tipo de resina*temperatura	-0.0413	-0.0206	0.07153	-0.29	0.780
peel back*temperatura	-0.2537	-0.1269	0.07153	-1.77	0.114
tipo de resina*peel back*temperatura	0.1962	0.0981	0.07153	1.37	0.207

S = 0.286127 R-Sq = 91.74% R-Sq(adj) = 84.51%

El efecto principal es menor al nivel de significancia 0.05, P-Values (columna P), este está sombreado en la tabla anterior.

En el gráfico 1.6 de Pareto de efecto del peso, es el factor A (tipo de resina) y este tiene un efecto en el estudio.

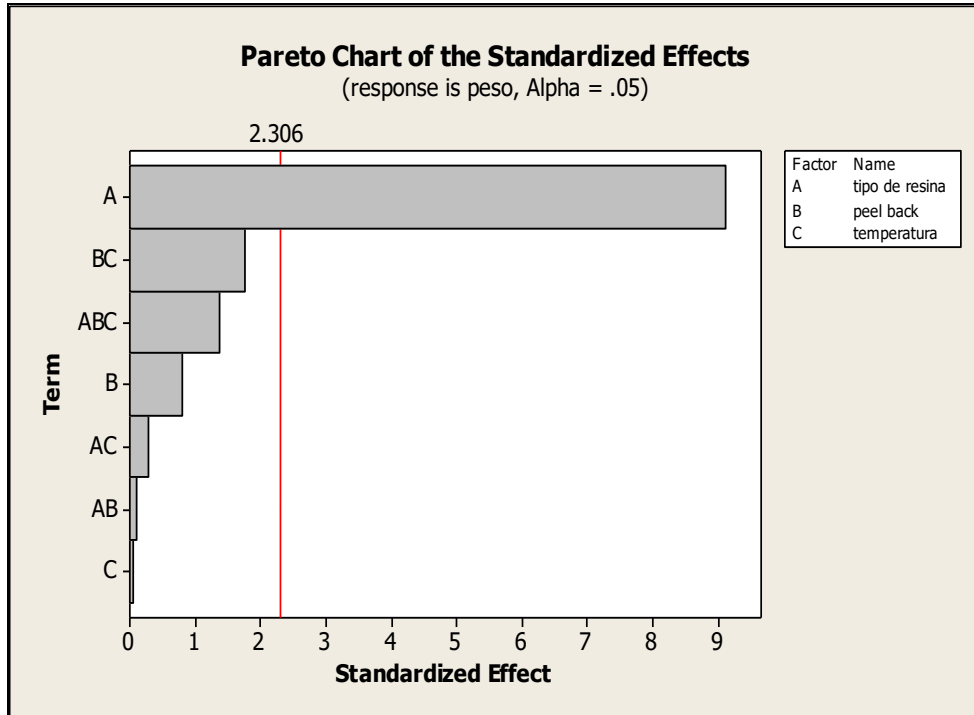


Gráfico 1.6 Pareto efecto de peso

En el gráfico 1.7 el efecto principal para el peso es el tipo de resina, en donde si se requiere un peso de 4.0 Kg se debe usar la resina tipo B. Los efectos de peel-back y/o cáscara no son significativos.

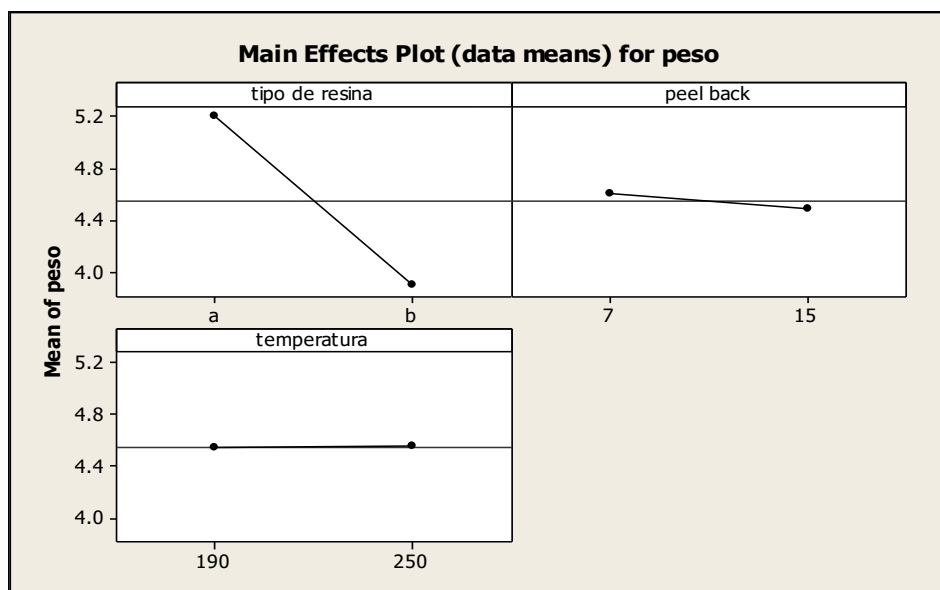


Gráfico 1.7 Efectos principales de peso

El gráfico 1.8 de cubo muestra que si requiere un peso de 3.950, se utilizará un tipo de resina B con una temperatura de 190° con un peel-back y/o cáscara de 7.

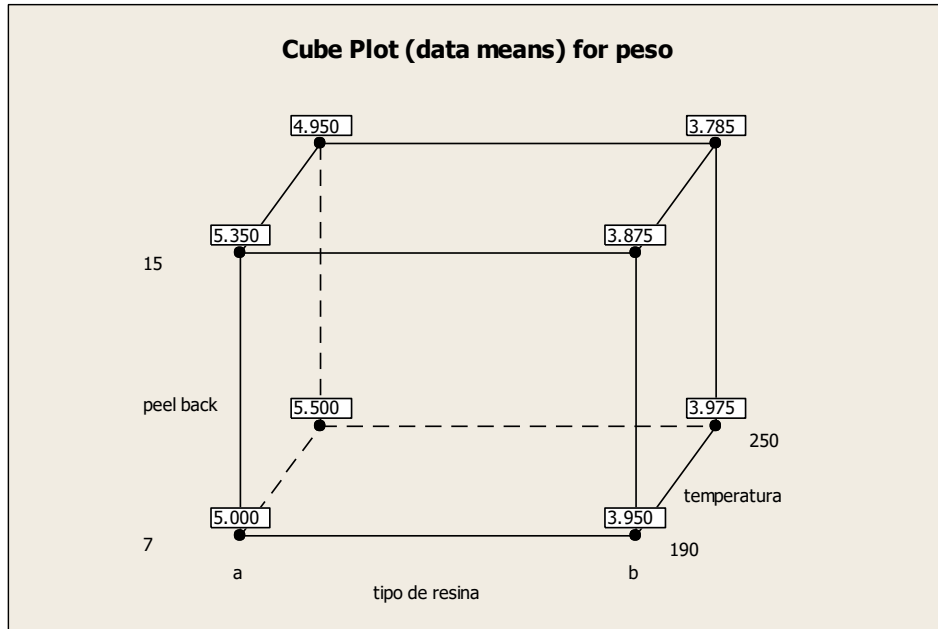


Gráfico 1.8 Cubo

En este gráfico 1.9 se representa la interacción de la variable de salida entre el peel-back y/o cáscara y la temperatura.

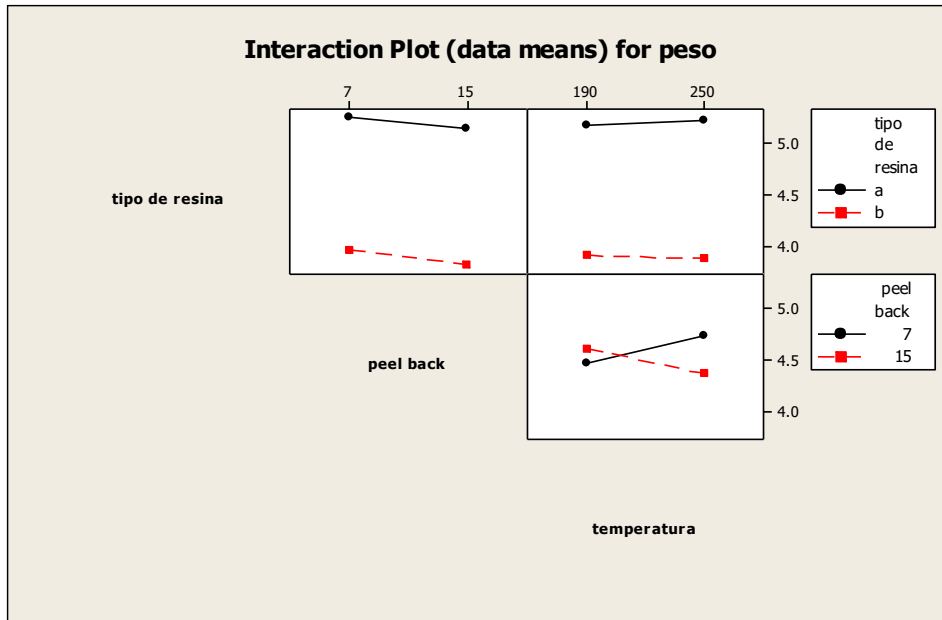


Gráfico 1.9 Efectos principales de peso



De acuerdo con los resultados obtenidos; es claro que el tipo de resina que usa el proveedor para recubrir la arena es uno de los principales efectos que provocan una deficiente calidad de corazón.

Por otra parte; uno de los factores que ayudó a resolver esta incognita fue el peel-back o cáscara. Y el tipo de resina que dio mejor resultado en las pruebas fue la tipo B (Arecad), ya que lo que se busca en la variable de salida es un espesor de 3 mm como mínimo y con un espesor del corazón no mayor a 4.5 mm a temperatura de 250° C.

En el proceso de fabricación es óptimo trabajar con temperaturas de caja a 250°C; ya que se utiliza gas para calentar el herramental y continuamente se mantiene encendido y por el momento no existen controles para mantener la caja a temperaturas de 190°C.

## CAPÍTULO VI

### COSTOS Y BENEFICIOS

#### 6.1 Comparación de proveedores de arena

Para el proceso de fabricación de los productos se requieren 369 toneladas de arena recubierta para el proceso de Shell. Como se había mencionado en el capítulo anterior, se requiere que se utilice el 100% de arena recuperada para después enviarla a recubrir con resina fenólica. En el siguiente esquema se muestra el % de utilización de arena para cada producto.

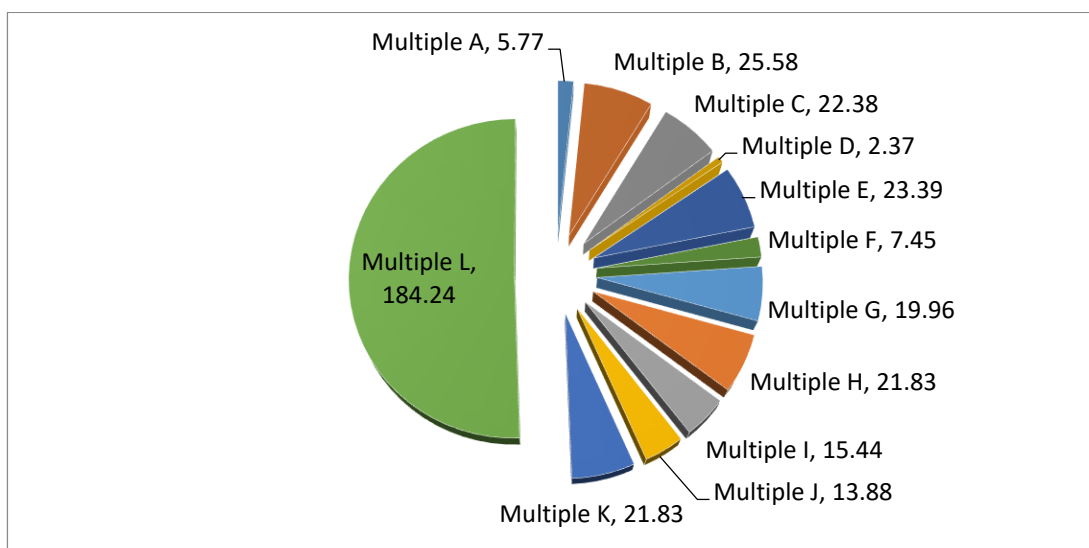


Figura 11 Esquema de % de arena a utilizar.

A continuación, en la tabla 1.4 se muestran los costos de cada una de las arenas, tanto nacional como americana.

Uno de los planteamientos de este estudio fue el de utilizar sólo arena recuperada y dejar de utilizar la arena americana.

COSTOS	Proveedor nacional (Toluca) Arena Recuperada (USD/TON)	Proveedor Nacional (Toluca) Arena Nueva (USD/TON)	Proveedor Nacional (Monterrey) Arena Recuperada (USD/TON)	Proveedor Nacional (Monterrey) Arena Nueva (USD/TON)	Proveedor Americano Arena Nueva (USD/TON)
Arena	N/A	152	181	181	N/A
Recubrimiento	215	215	252	200	N/A
Fletes	16.4	16.4	60	60	N/A
Puesto en fuga	231.4	383.4	493	441	560

Tabla 1.4 Costos de las Arenas

Por otra parte de la anterior tabla se agrega el flete de llegada para cada una de las arenas. Siendo mostrado el total del costo por tonelada de arena recubierta en la Tabla 1.5.

COSTOS	Proveedor nacional (Toluca) Arena Recuperada (USD/TON)	Proveedor Nacional (Toluca) Arena Nueva (USD/TON)	Proveedor Nacional (Monterrey) Arena Recuperada (USD/TON)	Proveedor Nacional (Monterrey) Arena Nueva (USD/TON)	Proveedor Americano Arena Nueva (USD/TON)
Flete de llegada	16.4	x	60	x	N/A
Puesto en empresa	231	383.4	493	441	N/A
Total	247.4	383.4	553	441	560

Tabla 1.5 Costos Totales de las Arenas

A continuación se plantearán los precios de tres proveedores, con el fin de obtener el mayor beneficio en costo y calidad.

### Escenario 1

Compra total de arena nueva proveedor nacional (Monterrey)

Costo Usd/Ton	Total de toneladas	Total Usd/Ton
441	369	162,729

### Escenario 2

Compra total de arena recuperada a proveedor nacional (Toluca)

Costo Usd/Ton	Total de toneladas	Total Usd/Ton
247.4	369	91,210

### Escenario 3

Compra total de arena nueva proveedor Americano

Costo Usd/Ton	Total de toneladas	Total Usd/Ton
560	369	206,640

Se muestran 3 posibilidades en donde el mejor precio es el segundo escenario; en el que se utiliza arena recuperada fabricada por la empresa y esta será recubierta (con resina fenólica con las características que requiere en el proceso) en un área cercana a la ciudad de Toluca.

## 6.2 Beneficios:

En este trabajo se resalta la importancia del diseño de experimentos, o dicho de otra manera, el proceso paso a paso de las operaciones, para así obtener un resultado satisfactorio al problema planteado.

Para el diseño de un experimento se deben tener en cuenta los efectos y las características del problema a resolver. Como se puede apreciar, un diseño debe de ser lo más sencillo posible para así poder ahorrar tiempo, inversión y personal, pero no por eso se debe de olvidar considerar los principios básicos en el diseño.

De acuerdo con el análisis del diseño se obtuvo una solución que dio beneficios a la empresa como son los casos de:

1. Uso de arena recuperada; esto ayuda al impacto ecológico
2. Costo de arena recubierta del proveedor nacional más cercano a la empresa, con un ahorro de 115,430 USD con respecto a la arena recubierta del proveedor americano.
3. Uso de proveedores nacionales.
4. El tener al proveedor de arenas cerca de la empresa, por cualquier reclamo de producto fuera de especificación o norma.
5. Se obtuvo una variable que es determinante en la fabricación de corazones como es el caso del peel-back y/o cáscara.
6. Se compró un equipo para verificar el % de peel-back y/o cáscara.
7. Se tienen más opciones de proveedores que surtan arena recubierta.

## **CAPÍTULO VII**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En los capítulos V y VI se abordó como experimento el uso de arena; con este estudio se dio a conocer la importancia que se debe tener en el tipo de resina que utiliza el fabricante para recubrir arena para la fabricación de corazones Shell. La importancia que tienen los factores de entrada y las variables de salida para optimizar los procesos y los recursos.

En el análisis costo beneficio se encontró que la mejor opción es la segunda, de la cual la empresa envía la arena recuperada al proveedor de Toluca y éste recubre la arena y la entrega libre a bordo en supersacos.

Recomendaciones:

Para la selección de la arena para un corazón dado los factores importantes a considerar son: forma, tamaño y distribución del grano de la arena. Las características más importantes que se deben de tener en cuenta de la arena son naturaleza refractaria de la arena, capacidad de resistencia química y alto grado de permeabilidad.

La utilización de los corazones fabricados por el método Shell puede ser en moldes permanentes, moldes de arena verde y en moldes Shell para la producción de vaciadas tanto ferrosas como en no ferrosas.

Las características que presentan los corazones Shell son:

Resistencia mecánica y dureza e inclusive fuerza; sin esta propiedad, el corazón puede no ser capaz de soportar su propio peso y resistir la fuerza del metal fundido.

Debe ser capaz de resistir las altas temperaturas del metal fundido.

Permeabilidad para permitir que los gases de corazón escapen fácilmente

Colapsabilidad se debe desintegrar el corazón después de la solidificación del metal, de no ser así se dificulta la práctica de remoción de arena.

Las mayores ventajas de los corazones Shell son su adaptabilidad a la mecanización, control dimensional, buena superficie de acabado, peso ligero (corazones huecos) y pueden ser almacenados indefinidamente.

Los inconvenientes que se tienen en el proceso Shell para la fabricación de corazones son que la materia prima es cara, el alto costo de las cajas de corazones y alto costo en las reparaciones de las cajas debido a las altas temperaturas de operación.

Dentro de los parámetros de trabajo la velocidad de curado está en función del tiempo y temperatura, una temperatura baja dará tiempo de ciclos más largos y una temperatura alta dará tiempos de ciclos más cortos pero existe la posibilidad de quemar la resina y formar las partes débiles. Otro parámetro de importancia es el del llenado, ya que con este parámetro se le puede dar el espesor de pared del corazón que uno desee aparte de darle suficiente fuerza para resistir la fuerza del metal fundido, pero se tiene que tener un control estricto porque de lo contrario puede dar piezas demasiado pesadas las cuales pueden llegar a no desintegrarse con facilidad después de la solidificación del metal.

El número de oscilaciones dados por el equipo son para poder drenar toda la arena que no se cura en el interior de la cavidad de la caja y es así como resulta que el corazón salga hueco, ya que el número de oscilaciones determina el tiempo de vibrado de la caja. El parámetro de soplado está implementado para impregnar de arena la cavidad y darle asimismo la forma del corazón, mucho tiempo de soplado trae como consecuencia que se formen burbujas internas de aire en la cavidad resultando áreas incompletas.

El sistema de calentamiento de las cajas de corazones debe ser diseñado para que se recupere la temperatura entre los ciclos de la operación de la máquina. Otro aspecto importante a considerar en el calentamiento de la caja es la homogeneidad del curado del corazón, así aunque la arena, tiempo de curado y temperatura de la caja sean los correctos, si no hay una buena distribución de calentadores en la caja se crearán zonas quemadas y zonas crudas en el corazón, lo cual disminuye notoriamente su resistencia.

Para los datos que se recolectaron el análisis con Minitab indica que la configuración óptima del experimento es el tipo de resina con la cual se está fabricando el corazón.

Los resultados mostrados en el experimento han reflejado beneficios, sin embargo aún no son definitivos ya que se requieren experimentos comprobatorios. Por otra parte se mencionan algunas recomendaciones con base en las situaciones presentadas durante la realización del experimento:

- Lograr la especificación de peel-back y/o cáscara
- Control de temperatura de caja y/o herramental tanto lado móvil como fijo
- Mantener patrones originales y poder comparar con los nuevos lotes que van llegando a la planta.
- Enviar periódicamente muestras de arena ya recubierta a un laboratorio calificado como la UNAM, ININ y SICA para determinar la termogravimetría de la resina; este estudio se realiza para determinar la cantidad de sólidos de la resina.
- Hacer estudios como el de distorsión en caliente; esta prueba está diseñada para evaluar la expansión y la termoplaticidad de los corazones a alta temperatura.

El analizar, verificar y comparar la arena recubierta a partir del diseño de experimentos con los nuevos lotes de producción de arena, será lo más importante. Porque de este diseño se define claramente cuál es el rango que debe tener la arena para obtener un trabajo óptimo en la fabricación de corazones.

## BIBLIOGRAFIA

- Shalco Systems (s/f). Manual de Operaciones Operating Handbook. Autor Cincinnati, Ohio, EEUU.
- MONTGOMERY, D. C.: (2005). Diseño y análisis de experimentos Autor. John Wiley 2a. Editorial Limusa S.A de C.V México D.F
- HICKS, C. R., y TURNER, K.V.: (1999). Fundamental Concepts in the Design of Experiments. 5a. Ed., Oxford University Press.
- PEÑA, D.: (2002) .Regresión y Diseño de Experimentos .Editorial Alianza Madrid España.
- American Foundrymen's Society, Inc (1982) Práctica de Fundición del proceso. Shell Process Foundry Practice 2ª Edición,. Autor Philadelphia, Pennsylvania. EEUU.
- American Foundrymen's Society, INC (1984) Tecnología de vaciado en Aluminio Aluminum Casting Technology 2ª Edición, Philadelphia, Pennsylvania. EEUU.
- Ramírez C. José L y Trujano E. Jaime (s/f). Fabricación de corazones en Shell Sociedad Mexicana de Fundidores A. C., México D.F. México
- Amstead, H; Ostwald; Begeman, L (1982) Procesos de Manufactura, Versión SI Editorial CECSA.
- Foundry Sand Handbook. AFS (Lemit) – Fundicion para Ingenieros. Taylor. (UNLP).
- Jain, P, L. (1972). Principios de la Tecnología de la Fundición. Principies of Foundry Technology 2ª Edición, Tata Mc Graw Hill – Publishing Company Limited. Cincinnati, Ohio, EEUU.
- Fordath (s/f). Manual Técnico. Garza García, Nuevo León, México.
- Ricardo Villafaña Figueroa; 2010 Conceptos básicos sobre calidad total, inn-edu.com
- Lindsay W., Evans J., 1995, Administración y Control de la Calidad, Grupo Editorial Iberoamérica, México.