



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE QUÍMICA**

---

**ESTIMACIÓN DE COSTOS DE INVERSIÓN A NIVEL INGENIERÍA  
CONCEPTUAL PARA SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA  
UTILIZADOS EN PROCESOS DE REFINACIÓN DE PETRÓLEO**

**T E S I S  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERA QUÍMICA**

**P R E S E N T A  
MARÍA DE LOS ÁNGELES TORRES TORRES**

MÉXICO, D.F.

2016





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **JURADO ASIGNADO:**

<b>PRESIDENTE:</b>	<b>Profesor:</b>	<b>ISAIAS ALEJANDRO ANAYA DURAND</b>
<b>VOCAL:</b>	<b>Profesor:</b>	<b>JOSÉ ANTONIO ORTÍZ RAMÍREZ</b>
<b>SECRETARIO:</b>	<b>Profesor:</b>	<b>ALFONSO DURÁN MORENO</b>
<b>1er. SUPLENTE:</b>	<b>Profesor:</b>	<b>FEDERICO CARLOS HERNÁNDEZ CHAVARRÍA</b>
<b>2° SUPLENTE:</b>	<b>Profesor:</b>	<b>ALEJANDRO ZANELLI TREJO</b>

## **SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

Unidad de Proyectos y de Investigación en Ingeniería Ambiental.

UNAM. Facultad de Química.

Torre de Ingeniería, 3er piso, ala sur.

04510 Ciudad Universitaria, México, D.F.

ASESOR DEL TEMA

---

**DR. ALFONSO DURÁN MORENO**

SUPERVISOR TÉCNICO

---

**ING. DAVID FRAGOSO OSORIO**

SUSTENTANTE

---

**MARÍA DE LOS ÁNGELES TORRES TORRES**

*“Nuestro miedo más profundo no es que seamos inadecuados. Nuestro miedo más profundo es que somos poderosos sin límite. Es nuestra luz, no la oscuridad lo que más nos asusta”.*

Nelson Mandela

## **RESUMEN**

Debido a la importancia de la estimación de los costos de inversión en todo proyecto se han buscado diversas técnicas y herramientas para su estimación, como son datos históricos, factores de costo, curvas y factores de capacidad, lo anterior con la finalidad de tener una primera aproximación del costo total de inversión del proyecto y contar con un criterio en el momento de tomar decisiones.

En este trabajo se desarrolló una herramienta que permite realizar estimados de costos de inversión a nivel de orden de magnitud, dicha herramienta hace uso de curvas de costo capacidad, un sistema factorial para determinar costos de inversión, así como bases de datos. Se ha puesto énfasis en las aplicaciones para sistemas de tratamiento de agua de primer uso en los procesos de refinación del petróleo, específicamente acondicionamiento de agua para alimentación a calderas y generación de vapor. La herramienta se generó usando el simulador Aspen Capital Cost Estimator y a través del análisis de datos de costo proporcionados por proveedores de equipo y tecnologías.

# ÍNDICE

RESUMEN.....	i
ÍNDICE.....	ii
SIGLAS Y ACRÓNIMOS .....	vii
NOMENCLATURA.....	ix
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN PARA EQUIPOS DE PROCESO.....	x
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PROBLEMÁTICA.....	3
1.2 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3 ALCANCES .....	5
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES.....	6
2.1 PROCESO DE REFINACIÓN DEL PETRÓLEO .....	7
2.2 PANORAMA GENERAL DE USO DE AGUA EN REFINERÍAS .....	11
2.2.1 Fuentes naturales de suministro .....	11
2.2.2 Usos del Agua en Refinerías.....	14
2.2.3 Efluentes.....	17
2.3 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA.....	21
2.3.1 Agua de primer uso.....	21
2.3.2 Agua residual.....	22
2.4 TRAMIENTO DE AGUA DE PRIMER USO: COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN.....	24
2.4.1 Coagulación.....	24
2.4.2 Floculación.....	26
2.4.3 Sedimentación.....	27
2.5 DESMINERALIZACIÓN DE AGUA PARA ALIMENTACIÓN A CALDERAS.....	28
2.5.1 Intercambio iónico.....	29
2.5.2 Ósmosis inversa.....	33
2.5.3 Electrodesionización.....	36
2.5.4 Tratamiento de condensados .....	38
CAPÍTULO 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN.....	41
3.1 INGENIERÍA DE PROYECTO.....	43
3.1.1 Ciclo de vida de un proyecto.....	45
3.1.2 Gestión de proyectos Front-End Loading (FEL) .....	46

3.2. INGENIERÍA DE COSTOS .....	49
3.2.1 Tipos de costos en proyectos de inversión .....	50
3.2.2 Clasificación de los estimados de Inversión Fija.....	53
3.3 ESTIMACIÓN DE COSTOS A NIVEL INGENIERÍA CONCEPTUAL.....	60
3.3.1 Estimado de orden de magnitud.....	60
3.3.2 Índices de costo .....	64
3.3.3 Estimados de estudio (clase 4).....	73
3.3.4 Estimados preliminares (clase 3) .....	78
3.4 PRECIOS UNITARIOS.....	84
3.5 CÓDIGO DE CUENTAS.....	86
3.6 ESTIMACIÓN DE COSTOS COMPUTARIZADO .....	86
3.6.1 Aspen Capital Cost Estimator (CCE) .....	90
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA .....	98
4.1 METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DE CURVAS Y FACTORES DE COSTOS DIRECTOS DE INVERSIÓN.....	100
4.2 EJEMPLO DE ESTIMADO DE COSTOS .....	104
CAPÍTULO 5. RESULTADOS.....	113
5.1 BOMBA CENTRÍFUGA API 610.....	114
5.2 TANQUE DE ALMACENAMIENTO TECHO TIPO CÓNICO.....	117
5.3 TANQUE DE ALMACENAMIENTO TECHO TIPO FLOTANTE .....	118
5.4 TANQUE DE ALMACENAMIENTO BAJAS CAPACIDADES.....	119
5.5 RECIPIENTE A PRESIÓN .....	120
5.6 RECIPIENTE AGITADO.....	121
5.7 BOMBA CENTRÍFUGA API 610.....	122
5.8 BOMBA CENTRÍFUGA ANSI .....	123
5.9 BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO: DIAFRAGMA .....	124
5.10 CLARIFICADOR .....	125
5.11 FILTRO DE PLACAS.....	126
CAPÍTULO 6. CASO DE APLICACIÓN: SISTEMAS DE DESMINERALIZACIÓN DE AGUA.....	130
6.1. Diseño 1: Intercambio iónico.....	133
6.2. Diseño 2: Sistema de ósmosis inversa con una unidad pulidora de intercambio iónico .....	135
6.3 Diseño 3: Sistema de doble paso de ósmosis inversa con electrodesionización. ..	139

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES .....	142
RECOMENDACIONES.....	146
ANEXOS.....	147
ANEXO A .....	147
ANEXO B .....	153
ANEXO C .....	156
ANEXO D.....	159
REFERENCIAS.....	164

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Principales procesos de refinación del petróleo. ....	9
Tabla 2.	Características del agua de primer uso según la fuente natural de suministro .....	12
Tabla 3.	Ejemplo de composición de agua según su fuente natural en México .....	12
Tabla 4.	Fuentes que generan agua residual en refinerías .....	23
Tabla 5.	Límites de contaminantes en agua de alimentación a calderas.....	28
Tabla 6.	Etapas del intercambio iónico .....	32
Tabla 7.	Clasificación de los estimados de costo. ....	56
Tabla 8.	Características de las clases de estimado. ....	57
Tabla 9.	Factores de Lang.....	74
Tabla 10.	Factores de Hand.....	76
Tabla 11.	Factores de instalación de Wroth.....	77
Tabla 12.	Factores de Chilton .....	80
Tabla 13.	Método de Peters y Timmerhaus.....	81
Tabla 14.	Método de Guthrie .....	83
Tabla 15.	Costo de bombas centrífugas estimados en diferentes programas .....	89
Tabla 16.	Equipo de proceso estudiados en este trabajo .....	99
Tabla 17.	Costos estimados por Aspen CCE para un tanque de almacenamiento de 1000m <sup>3</sup>	106
Tabla 18.	Índices de costo CEPCI para la actualización de costos para un tanque de almacenamiento A515 1000 m <sup>3</sup> .....	107
Tabla 19.	Costos actualizados (EUA) para un tanque de almacenamiento A515 1000 m <sup>3</sup> .....	107
Tabla 20.	Costos directos en México para un tanque de almacenamiento A515 1000 m <sup>3</sup> . ...	108
Tabla 21.	Tiempo de instalación de los materiales auxiliares para un tanque de almacenamiento A515 1000 m <sup>3</sup> mediante una cuadrilla especializada (HH) en México. ....	109



Tabla 22.	Costo de instalación de equipo y materiales auxiliares en México para un tanque de almacenamiento A515 1000 m <sup>3</sup> .....	110
Tabla 23.	Factores de costo en México para un tanque de almacenamiento A515 1000 m <sup>3</sup> . .....	111
Tabla 24.	Factores de costo para sistemas de tratamiento de agua de calidad para alimentación a calderas. ....	128
Tabla 25.	Factores de Loh para procesos sólido- líquido.....	129
Tabla 26.	Calidad del agua a tratar por los sistemas del caso de aplicación.....	132
Tabla 27.	Equipo principal para un sistema de desmineralización por intercambio iónico....	134
Tabla 28.	Estimado de costos directos para una unidad de intercambio iónico de 600 m <sup>3</sup> /h	135
Tabla 29.	Equipo principal para un sistema de desmineralización por ósmosis inversa con intercambio iónico. ....	136
Tabla 30.	Estimado de costos directos para una unidad de ósmosis inversa con intercambio iónico para una capacidad de 600m <sup>3</sup> /h .....	138
Tabla 31.	Equipo principal de un sistema de doble paso de ósmosis inversa con electrodesionización .....	140
Tabla 32.	Costo de un sistema de doble paso de ósmosis inversa con electrodesionización para una capacidad de 600 m <sup>3</sup> /h.....	141
Tabla 33.	Factores de costos directos para sistemas de tratamiento de agua. ....	144

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ejemplo de procesos típicos en una refinería .....	8
Figura 2.	Distribución porcentual de uso del agua en el SNR.....	17
Figura 3.	Ejemplo de balance general y uso del agua en una refinería.....	20
Figura 4.	Esquema de un clarificador .....	25
Figura 5.	Floculación .....	26
Figura 6.	Clarificador convencional.....	27
Figura 7.	Esquema ilustrativo del intercambio iónico y regeneración de la resina .....	30
Figura 8.	Sistema de desmineralización mediante intercambio iónico .....	31
Figura 9.	Planta de desmineralización por intercambio iónico .....	33
Figura 10.	Ósmosis y ósmosis inversa.....	34
Figura 11.	Sistema de ósmosis inversa.....	35
Figura 12.	Migración de los iones en el concentrado y en el diluido.....	37
Figura 13.	Equipos modulares CEDI .....	37
Figura 14.	Suavizadores para tratamiento de condensados. ....	39

Figura 15.	Filtro de capa floculante .....	40
Figura 16.	Triple restricción en un proyecto .....	42
Figura 17.	Ciclo de vida de un proyecto .....	46
Figura 18.	Etapas del proceso FEL.....	47
Figura 19.	Influencia y costo en las fases de un proyecto.....	49
Figura 20.	Inversión total de capital .....	52
Figura 21.	Inversión fija de capital .....	52
Figura 22.	Grado de precisión y clases de estimados en función del avance del proyecto .....	58
Figura 23.	Documentos de ingeniería para las diferentes clases de estimados.....	59
Figura 24.	Curva de costos de un sistema de tratamiento mediante osmosis inversa.....	61
Figura 25.	Estructura de los índices de costo CEPCI .....	67
Figura 26.	Índices CEPCI .....	68
Figura 27.	Índices de costo Marshall & Swift .....	69
Figura 28.	Índices de costo <i>Engineering News Record</i> .....	70
Figura 29.	Índices de Nelson-Farrar .....	71
Figura 30.	Método de Lang.....	75
Figura 31.	Método de Chilton.....	79
Figura 32.	Funciones elementales de los precios unitarios.....	85
Figura 33.	Estimado de costo para bombas centrífugas en diferentes programas computacionales.....	88
Figura 34.	Entradas y salidas en la evaluación de un proyecto en Aspen CCE.....	91
Figura 35.	Niveles en los datos de entrada en Aspen CCE .....	92
Figura 36.	Elementos de instalación y componentes de un proyecto. ....	94
Figura 37.	Ejemplo de reporte presentado por Aspen CCE.....	96
Figura 38.	Resultados presentado por Aspen CCE en hoja de cálculo en Excel.....	97
Figura 39.	Ejemplo de DTI proporcionado por Aspen CCE.....	97
Figura 40.	Diagrama metodológico.....	103
Figura 41.	Ingreso de datos al simulador Aspen CCE.....	105
Figura 42.	Resumen de costos directos estimados por Aspen CCE para un tanque de almacenamiento A515 1000 m <sup>3</sup> . ....	106
Figura 43.	Diseño 1: Sistema de desmineralización por intercambio iónico.....	133
Figura 44.	Diseño 2: Ósmosis inversa con intercambio iónico. ....	136
Figura 45.	Diseño 3: Sistema de doble paso de ósmosis inversa con electrodesionización....	139

## SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AACE	American Association of Cost Engineering (Asociación Americana para el Desarrollo de la Ingeniería de Costos)
ANSI	American National Standards Institute (Instituto Americano de Estándares Internacionales)
ASPE	American Society of Professional Estimators (Sociedad Americana de Estimadores Profesionales)
Aspen PEA	Aspen Process Economics Analyzer (Aspen Analizador de Proceso Económico)
Aspen CCE	Aspen Capital Cost Estimator (Aspen Estimador de Costos de Capital)
API	American Petroleum Institute (Instituto Americano del Petróleo)
BLS	Bureau of Labor Statistics (Oficina de Estadísticas de Trabajo, Estados Unidos)
MB	Banco Mundial
Canadevi	Cámara Nacional de la Industria de Desarrollo y Promoción de la Vivienda
CCEP	Capital Cost Estimation Program (Programa para la Estimación de Costos de Capital)
CEPCI	Chemical Engineering Plant Cost Index (Índices de costo Chemical Engineering, EUA)
CMIC	Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción
DFP	Detailed Factorial Program (Programa Factorial Detallado)
DTI	Diagrama de Tubería e Instrumentación
ENR	Engineering News Record (Revista estadounidense que proporciona índices de costos para la industria de la construcción)
FEL	Front End Loading (Definición Inicial de un Proyecto)
FMI	Fondo Monetario Internacional

FOB	Free On Board (transporte por barco. El vendedor cumple con su obligación de entrega cuando la mercancía ha sobrepasado la borda del buque en el puerto de embarque convenido).
IMP	Instituto Mexicano de Petróleo
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
IPA	Investment Program Association (Asociación de Programas de Inversión, EUA)
IPC	Índice de Precios al Consumidor
IPP	Índice de Precios al Productor
INDEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos, Argentina
M&S	Índice Marshall & Swift
NFP	Norwegian Project Management Association (Asociación Noruega de Administración de Proyectos)
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OIT	Organización Internacional del Trabajo
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PMBOK	Project Management Body of Knowledge (Guía de los Fundamentos de Administración de Proyectos)
PTAR	Plantas de Tratamiento de Agua Residual
SNR	Sistema Nacional de Refinación
STPS	Secretaría de Trabajo y Previsión Social
UDA	Unidades de Desmineralización de Agua
VAPCCI	Índices Vatavuk para costo de control de la contaminación del aire

## NOMENCLATURA

CT	Capital de Trabajo
CTI	Costo Total de Instalación
$Ci_2$	Costo actualizado con índices de costo
$C_1$	Costo de referencia
$C_2$	Costo estimado de una nueva planta o equipo
EM	Equipo Mayor
$f_{MC}$	Factor de material de construcción
$f_R$	Factor de regionalización
$f_{IMP}$	Factor de Importación
$f_{MEX/USA}$	Factor de regionalización entre México y Estados Unidos
HH	Horas Hombre
$I_1$	Índice de costo de referencia
$I_2$	Índice de costo actual
IFC	Inversión Fija de Capital
ITC	Inversión Total de Capital
MA	Material Auxiliar
MC	Material de Construcción
MO	Mano de Obra
$S_2$	Capacidad de la nueva planta o equipo
$S_1$	Capacidad de la planta de referencia
SMN	Salario Mínimo Nacional
TDM	Costo Total del Material

## MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN PARA EQUIPOS DE PROCESO

A515	Acero al carbón altas presiones C-Si
A516	Acero al carbón mediana a baja presión C-Si
A8	Acero inoxidable grado 316
CS	Acero al carbón
FRP	Poliéster reforzado con fibra de vidrio
GSLCS	Acero al carbón revestido de vidrio
CI	Hierro fundido
S5	Para bombas voluta e impulsor de CS
S6	Para bombas voluta de CS, impulsor de Cr
SS304	Acero inoxidable
SS316	Acero inoxidable "grado marino"

Fuente: Aspen Tech,2013

## Introducción

Sin lugar a dudas, uno de los principales problemas que enfrentan tanto países de primer mundo como los países en vías de desarrollo, está asociado al manejo adecuado de sus recursos energéticos, pues si bien, investigaciones recientes apuntan a fuentes alternas de energía (Ramírez, 2011), éstas no han sido desarrolladas lo suficiente como para satisfacer la enorme y creciente demanda de productos y combustibles derivados del petróleo, el principal recurso energético con que se cuenta actualmente.



## 1. INTRODUCCIÓN

---

El petróleo, tal como se extrae del yacimiento, no tiene aplicación práctica alguna; por lo tanto, es necesario separarlo en diferentes fracciones que sí son de utilidad. Estos procesos se realizan en las refinerías, las cuales son instalaciones industriales donde el petróleo crudo se somete a diversos procesos físicos y transformaciones químicas para obtener productos de mayor valor agregado (Caicedo, 2007).

Debido al enorme tamaño de las refinerías, su construcción y operación tiene un gran impacto económico y ambiental en la región donde se instalan, ya que son grandes consumidores de energía y de recursos naturales tales como el agua.

En las refinerías se requiere agua con diferentes calidades; es decir, diferentes grados de pureza, la cual está en función del uso para el cual es destinada. El proceso que demanda mayor cantidad de agua con la mayor calidad es la generación de vapor (Sepúlveda, 2014). Entre mayor es la calidad requerida, el proceso de acondicionamiento es más costoso.

Este trabajo se enfoca principalmente a la estimación de costos para sistemas de tratamiento de agua de primer uso en refinerías, ya que el agua no puede ser utilizada directamente como se toma de la naturaleza debido a las especificaciones de los procesos que hacen uso de ella.





## 1. INTRODUCCIÓN

---

Desde el punto de vista de la Ingeniería de Proyectos, el primer estimado de costos que se realiza tiene como finalidad determinar la rentabilidad del proyecto, posteriormente durante el desarrollo del mismo, los estimados se van detallando cada vez más para actividades más específicas como son asignación y control de presupuesto.

En este trabajo se hicieron estimados de costo para equipos y sistemas de tratamiento de agua con la finalidad de generar una herramienta que permita tener información disponible y actualizada. Dicha herramienta es útil en la estimación de costos directos para el desarrollo de ingenierías conceptuales en proyectos y el mejoramiento de las etapas de tratamiento de agua en refinerías en nuestro país.

### 1.1 PROBLEMÁTICA

En todo tipo de proyecto de inversión, la estimación de los costos involucrados es fundamental para determinar su viabilidad económica, su aprobación, asignación de presupuesto y como criterio en la selección de la tecnología a utilizar.



## 1. INTRODUCCIÓN

---

Para realizar los primeros estimados generalmente se recurre a datos históricos de proyectos similares. Para sistemas de tratamiento de agua se cuenta con muy poca información actualizada, razón por la cual es necesario incrementar y actualizar las bases de datos tomando en cuenta los avances tecnológicos en el tiempo.

### 1.2 OBJETIVO GENERAL

Generar una herramienta útil para la estimación de costos de inversión a nivel ingeniería conceptual formada por factores y curvas de costo de equipo, así como de bases de datos para la estimación de costos de sistemas de tratamiento de agua a partir del uso de software especializado. Dicha herramienta permitirá un proceso ágil y rápido para la estimación de costos de inversión en el desarrollo de alternativas de selección de tecnología para el tratamiento del agua que se suministra en las refinerías de nuestro país.



### 1.3 ALCANCES

- Realizar una revisión bibliográfica de los principales métodos de estimación de costos de inversión, así como de la tecnología para la cual se harán los estimados en este trabajo.
- Crear una hoja de cálculo que permita realizar estimados de costos a nivel conceptual para equipos y sistemas de tratamiento de agua.
- Generar información de curvas de costo y factores de inversión para los principales equipos utilizados en sistemas de tratamiento de agua de primer uso en refinerías.

## Antecedentes

El objetivo de las refinerías es obtener, a partir del petróleo, productos de mayor valor agregado que satisfagan las necesidades de la sociedad. Dicha transformación se logra mediante una secuencia de cambios físicos y químicos que convierten la materia prima en productos con características totalmente diferentes. Para que ocurran estas transformaciones se necesita forzosamente grandes cantidades de energía e importantes volúmenes de agua.

Este capítulo se enfoca al análisis del uso del agua en las refinerías y a la descripción de los principales sistemas de tratamiento de agua de primer uso.



### 2.1 PROCESO DE REFINACIÓN DEL PETRÓLEO

Los procesos de refinación, de manera general, son aquéllos que permiten transformar el petróleo crudo en diferentes productos, que van desde los gases ligeros hasta las fracciones más pesadas. Los cambios físicos y químicos que tienen lugar son principalmente los siguientes (Torres, 2002):

**Fraccionamiento:** Es la separación de una mezcla de hidrocarburos líquidos en diversos grupos específicos.

**Desintegración:** Rompe hidrocarburos grandes en compuestos más pequeños y de mayor utilidad, puede ser térmica o catalítica.

**Rearreglo:** Se reordena la estructura química de los hidrocarburos.

**Combinación:** Consiste en hacer reaccionar dos o más hidrocarburos o no hidrocarburos para obtener otros productos.

**Tratamiento:** Convierte materiales contaminantes a una forma tal que eviten problemas ambientales.

En la figura 1 se muestra un ejemplo de los procesos típicos en una refinería y éstos se resumen en la tabla 1.

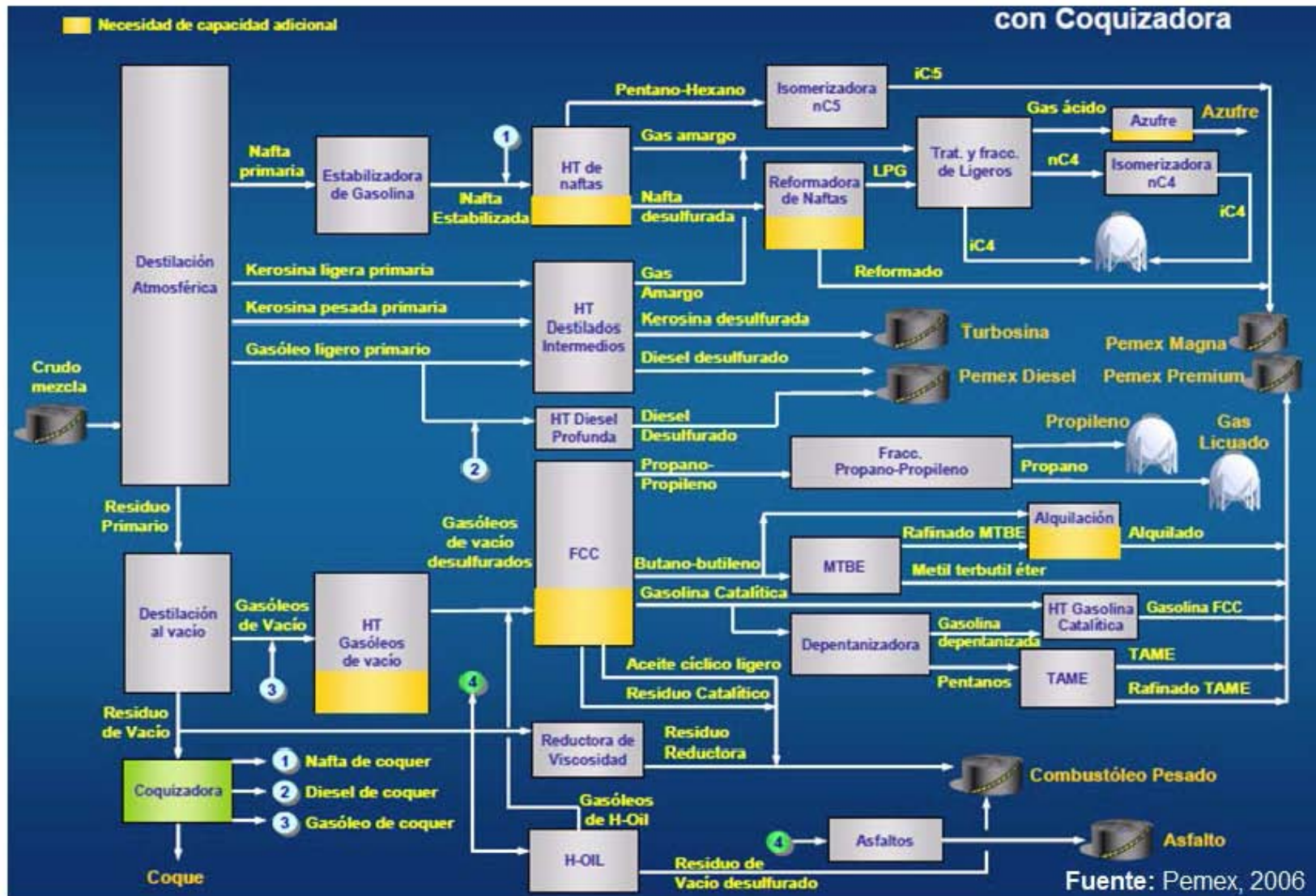


Figura 1. Ejemplo de procesos típicos en una refinería

Tabla 1. Principales procesos de refinación del petróleo.

PROCESO	ACCIÓN	MÉTODO	FINALIDAD	ALIMENTACIÓN	PRODUCTOS
Desalinización	Eliminación de agua y sólidos presentes en el crudo	Eléctrico y químico	Elimina sales e impurezas	Petróleo crudo	Petróleo crudo desalinizado
Destilación atmosférica	Separación de hidrocarburos en grupos específicos	Térmico	Separar fracciones	Petróleo crudo desalinizado	Gas, gasóleo, destilado, residuo
Destilación al vacío	Separación del producto de la destilación atmosférica	Térmico	Separar a presión reducida	Residuo destilación primaria	Gasóleo, materia prima para lubricantes, residuo
Hidrotratamiento	Eliminación de contaminantes como nitrógeno, azufre y metales	Catalítico	Eliminar impurezas	Hidrocarburos ligeros de destilación primaria y gasóleo alto en azufre	Carga de craqueo, destilado, lubricante
Reformación	Reorganización molecular o deshidrogenación	Térmico o catalítico	Mejorar índice de octano	Hidrocarburos ligeros hidrotratados de destilación primaria	Gasolina de alto octano, hidrógeno, GLP y gases ligeros
Isomerización	Reorganización de moléculas de hidrocarburos	Catalítico	Mejorar índice de octano	Butano, pentano, hexano	Isobutano, pentano y hexano
Desintegración catalítica	Ruptura de hidrocarburos	Catalítico	Mejorar índice de octano	Gasóleo, destilado de coque	Gasolina, materia prima petroquímica
Alquilación	Combinación de pequeñas moléculas	Catalítico	Mejorar índice de octano	Isobutano de torre/olefina de craqueo	Isooctano (alquilato)
Coquización	Craqueo térmico	Térmico	Convertir y mejorar residuos de vacío	Residuo, aceite pesado, alquitrán	Nafta, gasóleo, coque
Polimerización	Combinación de pequeñas moléculas	Catalítico	Producir gasolina de alto octano y gas LP	Olefinas de craqueo	Nafta de alto índice de octano, Petroquímicos

PROCESO	ACCIÓN	MÉTODO	FINALIDAD	ALIMENTACIÓN	PRODUCTOS
Viscorreducción	Craqueo térmico suave	Térmico	Producir gasóleo y gasolina y minimizar la adición de diluyentes	Residuo de atmosférico y de vacío	Destilado, alquitrán
Tratamiento de agua amarga	Separación y/o extracción de sulfuros en el agua	Químico	Eliminación de H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> y fenoles	Efluentes de destilación combinada, FCC, coquización retardada, hidrotratamientos	Agua desflemada
Generación de vapor	Generación de electricidad y fuerza motriz	Térmico	Calentamiento y producción de electricidad.	Agua y combustibles	Vapor

Fuente: Elaboración propia a partir de: Kraus, 1998; Torres, 2002; Caicedo, 2007; UNAM, 2007; Sepúlveda, 2014





### 2.2 PANORAMA GENERAL DE USO DE AGUA EN REFINERÍAS

Para llevar a cabo sus procesos, las refinerías necesitan grandes cantidades de agua. El volumen total requerido es variable para cada refinería y depende principalmente de los procesos con los que se cuenta.

En el año 2014, el 14 % del consumo total de agua por Pemex era agua de reúso, mientras que en el 2013 era el 16 % y en el 2012 el 20% (Pemex, 2014). Estos números indican la importancia de contar con sistemas de tratamiento adecuados para disminuir el consumo de agua fresca y aumentar el uso de agua tratada en los procesos de refinación.

#### 2.2.1 Fuentes naturales de suministro

El agua de primer uso en las refinerías es suministrada de diferentes fuentes naturales dependiendo principalmente de la ubicación geográfica de cada refinería. En general, se puede clasificar en dos fuentes principales: agua superficial (ríos, lagos) y agua subterránea (mantos acuíferos).

Según la fuente de suministro, el agua presenta diversas características, el tipo de tratamiento depende de estas características, así como de la calidad requerida.



## 2. ANTECEDENTES

En la tabla 2 se presentan las características comunes del agua de primer uso según la fuente de suministro y en la tabla 3 la composición de sólidos disueltos para agua de diferentes fuentes naturales en México.

Tabla 2. Características típicas del agua de primer uso según la fuente natural de suministro

Fuente Natural	Características
Lagos	Sólidos suspendidos, sólidos disueltos (metales)
Ríos	Sólidos suspendidos, sólidos disueltos (metales)
Agua subterránea (pozo)	Sólidos suspendidos, sólidos disueltos (metales), compuestos orgánicos disueltos
Agua de mar	Sólidos suspendidos, sólidos disueltos (metales, cloruros)

Fuente: IPIECA, 2010

Tabla 3. Ejemplo de composición de agua según su fuente natural en México

Constituyente (mg/L)	Agua de mar	Agua superficial	Agua subterránea
Sodio	10,710	6	30
Magnesio	1,377	4	7
Calcio	408	15	50
Potasio	387	2	3
Cloruros	19,380	8	20
Sulfatos	2,754	4	30
Bicarbonatos	145	58	200
Sólidos disueltos totales	<b>35,190</b>	<b>120</b>	<b>350</b>

Fuente: Sepúlveda, 2014



## 2. ANTECEDENTES

---

Además del agua superficial, subterránea y de mar, en las refinerías también se tiene suministro de otras fuentes como son: agua residual tratada, agua en el crudo y agua de lluvia.

**Agua residual tratada.** El agua no contaminada con hidrocarburos, con el tratamiento adecuado, puede ser reutilizada en las refinerías principalmente como reposición en torres de enfriamiento.

**Agua en el crudo.** El crudo que ingresa a la refinería contiene agua, aproximadamente de 0.1 a 2 % en volumen (IPIECA, 2010) que proviene del proceso de extracción y de acumulaciones durante su transporte. Esta agua es removida de los tanques de almacenamiento o en el proceso de desalación del crudo y generalmente se envía a un sistema de tratamiento de agua residual.

**Agua de lluvia.** Con el almacenamiento adecuado y tratamiento (en caso de requerirlo), el agua de lluvia puede ser utilizada para lavado de equipo o para el sistema contraincendio.



### 2.2.2 Usos del Agua en Refinerías

Los principales usos del agua en refinerías son para enfriamiento, generación de vapor, para procesos, sistema contraincendio, agua potable y para servicios generales.

#### a) Agua de enfriamiento

Para enfriar corrientes de proceso las refinerías utilizan equipos de intercambio de calor, ya sea que utilicen agua o aire. La mayor parte del agua que se suministra a una refinería se emplea como reposición a torres de enfriamiento, esta agua se conoce como "Make-up" y requiere un tratamiento previo que disminuya los minerales disueltos para evitar problemas de incrustaciones, corrosión y formación de algas.

#### b) Agua para generación de vapor.

La generación de vapor es uno de los procesos que demandan mayor cantidad y calidad de agua; el grado de pureza depende del tipo de vapor a producir, entre mayor sea la presión, mayor es la pureza requerida debido a que el potencial de depósito de impurezas y corrosión en calderas y turbinas de vapor es alto. Las principales impurezas que se tienen son el calcio, magnesio, sílice, cloruros, oxígeno y hierro.



### **c) Agua para proceso.**

El agua de proceso es aquella que está en contacto con hidrocarburos. Las refinerías utilizan agua para diversas operaciones específicas entre las que se encuentran: arrastre con vapor en columnas de destilación; como medio para reducir la presión parcial de hidrocarburos en el craqueo catalítico y térmico; en algunas unidades para lavado y absorber compuestos corrosivos o sales que puedan producir atascamientos (Sepúlveda, 2014).

### **d) Sistema contraincendio.**

Los requerimientos de agua contraincendio en las refinerías son intermitentes, aunque pueden constituir grandes volúmenes de agua en casos de emergencia. Por lo general, las refinerías utilizan el agua de lluvia no contaminada sin tratamiento previo para tal fin (IPIECA, 2010). En algunas refinerías cerca de áreas costeras se utiliza agua de mar, como es el caso de la refinería en Salina Cruz, Oaxaca.

El sistema contraincendio de las refinerías cuenta con conexión al suministro de agua de primer uso para usarse en caso de emergencia.



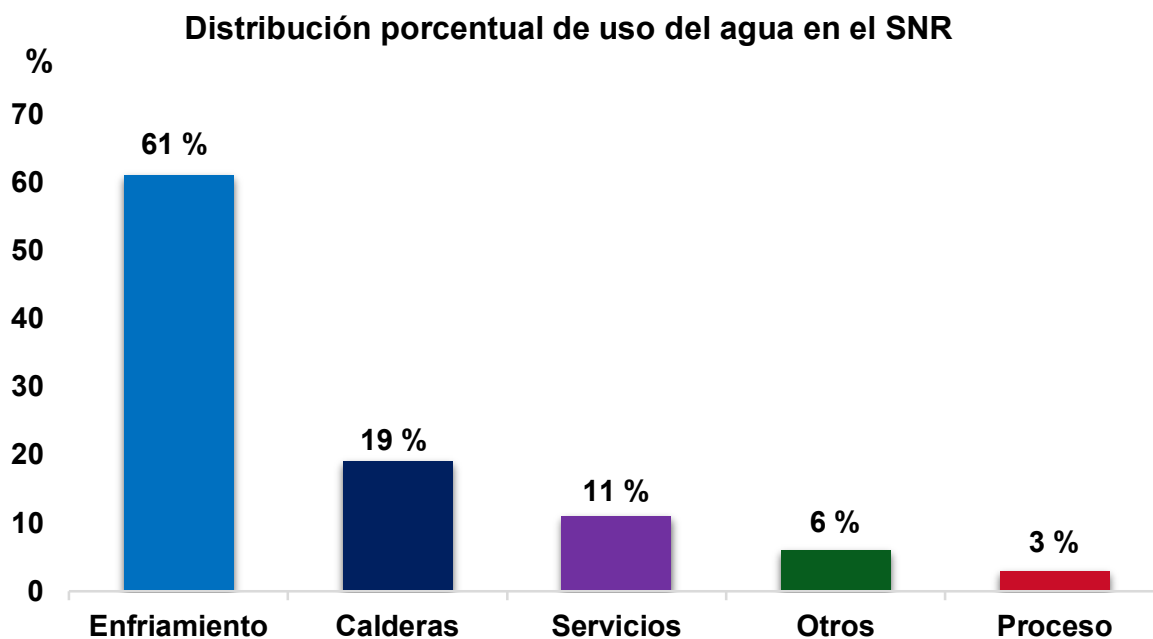
### **e) Agua potable.**

El agua para consumo humano puede ser suministrada por el municipio o de mantos acuíferos. En algunos lugares el agua que proviene del proceso de suavización se utiliza como agua potable, la cual debe ser clorada para eliminar microorganismos. Esta agua también se requiere en algunas operaciones químicas especiales; por ejemplo como diluyente para la preparación de soluciones químicas específicas (IPIECA, 2010).

### **f) Agua para servicios generales.**

El agua para servicios generales se utiliza para operaciones de lavado principalmente, la cual debe estar libre de sedimentos y no requiere algún otro tipo de tratamiento.

En la figura 2 se muestra la distribución porcentual de los principales usos del agua en el Sistema Nacional de Refinación (SNR). La mayor cantidad de agua se utiliza para torres de enfriamiento, las cuales no requieren agua de mucha calidad. El segundo lugar lo ocupa el agua para generación de vapor, la cual se requiere que sea de alta pureza, libre de sales disueltas para evitar incrustaciones en calderas.



Fuente: Durán, 2009

Figura 2. Distribución porcentual de uso del agua en el SNR

### 2.2.3 Efluentes

Los diferentes efluentes de agua en las refinerías reciben el tratamiento adecuado para ser reusados o para su descarga. Los efluentes corresponden no sólo a agua residual, sino que también incluye aquellas pérdidas por evaporación en torres de enfriamiento, fugas de vapor y condensados, así como el agua que pudieran tener los productos.



### **a) Agua residual.**

Las refinерías generan importantes volúmenes de agua residual, la cual generalmente es enviada a Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR). Las purgas de torres de enfriamiento y de sistemas de pre tratamiento de agua cruda pueden o no recibir tratamiento antes de ser descargadas según su calidad.

El agua que no estuvo en contacto directo con hidrocarburos o que contiene una mínima cantidad de contaminantes puede ser reutilizada con el adecuado tratamiento.

### **b) Evaporación en torres de enfriamiento y arrastre**

Las torres de enfriamiento utilizan aire atmosférico para enfriar el agua de proceso. Al entrar en contacto el agua caliente con el aire, se produce un intercambio de materia y energía generando pérdidas de agua hacia la atmósfera, además, el agua es arrastrada hacia la atmósfera por el aire que pasa a través de la torre.

### **c) Fugas de vapor y condensados**

El vapor de baja presión que se produce en las refinerías es venteado hacia la atmósfera cuando éste está en exceso.





### **d) Agua en los productos.**

Existen pequeñas cantidades de agua en algunos de los productos, estas cantidades son reguladas por normas de calidad de los productos.

El uso general del agua en una refinería se presenta en la figura 3. Los tratamientos que recibe el agua son diferentes de una refinería a otra dependiendo de la fuente natural de suministro y de la calidad necesaria para el uso que se le dará.

El agua para generación de vapor es la que requiere una mayor calidad. Los sólidos suspendidos se eliminan (en caso de tenerlos) en sistemas de clarificación, mientras que los sólidos disueltos se eliminan en Unidades Desmineralizadoras de Agua (UDA). Los sistemas desaireadores se utilizan para la eliminación de oxígeno y evitar problemas de oxidación a equipos y tuberías. Los condensados de vapor reciben un tratamiento similar a la desmineralización en equipos pulidores.

El agua que no requiere una mayor calidad es aquella que se utiliza para repuesto a torres de enfriamiento; para el sistema contraincendio y para servicios generales.

Los efluentes provenientes de condensados contaminados, purgas de torres de enfriamiento, rechazos de sistemas de tratamiento de condensados y toda el agua residual es enviada a las PTAR para su descarga o bien para ser reutilizada en la refinería.

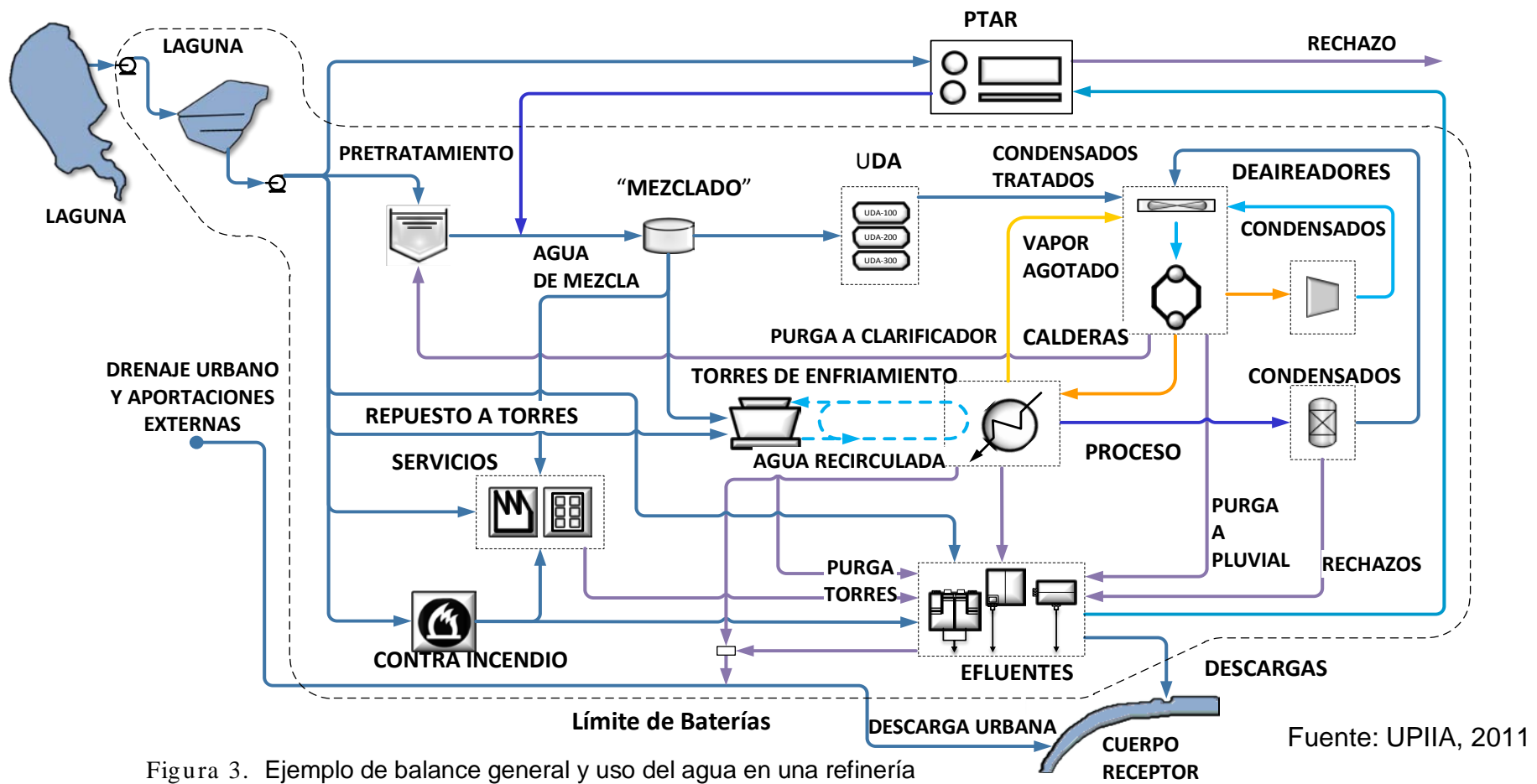


Figura 3. Ejemplo de balance general y uso del agua en una refinería



### 2.3 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA

Existen diferentes tipos de sistemas de tratamiento para agua de primer uso y residual. La elección del mejor sistema dependerá de los contaminantes presentes, la calidad requerida, así como de los costos de inversión, operación y mantenimiento.

#### 2.3.1 Agua de primer uso

Cuando el agua de primer uso contiene sólidos suspendidos y disueltos se utilizan sistemas de pre tratamiento para eliminar estos contaminantes. Para sólidos de gran tamaño generalmente se utiliza un sistema de desbaste o cribado, mientras que para la materia en suspensión se emplean sistemas de sedimentación.

El agua que se utiliza para la generación de vapor, además de estar libre de sólidos suspendidos y disueltos, requiere una mayor calidad, libre de metales, sílice, cloruros y hierro, por lo que debe recibir un tratamiento adecuado.



### 2.3.2 Agua residual

El agua residual que se produce en las refinerías, dependiendo de los contaminantes que contenga, puede ser tratada dentro de las mismas o enviada a PTAR, donde se adecúa para poder ser descargada a los cuerpos receptores, o bien, si las características lo permiten, es reusada como agua de repuesto a torres de enfriamiento o enviada UDA para ser utilizada en calderas. En la tabla 4 se muestra las principales fuentes que producen agua residual en las refinerías.



## 2. ANTECEDENTES

Tabla 4. Fuentes que generan agua residual en refinerías

Tipo de agua residual	Fuente	Contaminantes	Proviene de
Agua de Proceso	Desalinizado	Sales inorgánicas (NaCl, MgCl <sub>2</sub> , CaCl <sub>2</sub> )	Desalinización de crudo
	Agua amarga	H <sub>2</sub> S y NH <sub>3</sub> Fenoles CO <sub>2</sub> HCN RSH	Columnas de destilación FCC Coquización retardada Unidades de lavado
	Agua congénita	DQO Hidrocarburos Sólidos suspendidos Sulfuros	Tanques de crudo y gasolina
	Sosas gastadas	H <sub>2</sub> S Fenoles HCN CO <sub>2</sub>	Plantas fraccionadoras, tratadoras de hidrocarburos, catalíticas, isomerizadoras y de alquilación
Agua de enfriamiento	Purgas de torres de enfriamiento	DQO Hidrocarburos Sólidos suspendidos y sólidos disueltos (CaCO <sub>3</sub> , MgCO <sub>3</sub> , sílice, hierro, aluminio, azufre)	Absorción de contaminantes presentes en el aire
Purgas de condensados	Calderas Sistemas de generación de vapor	Minerales disueltos: Hierro Cobre Sílice CaCO <sub>3</sub>	Purgas Calderas Sistemas de generación de vapor

Fuente: Elaboración propia con datos de IPIECA, 2010



### 2.4 TRAMIENTO DE AGUA DE PRIMER USO: COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

La clarificación es el método utilizado para remover materia suspendida mediante la adición de sustancias químicas. La fuente natural de donde proviene el agua a tratar es principalmente de ríos y lagos.

La clarificación convencional consta de tres etapas; en la primera se lleva a cabo la coagulación, donde se desestabiliza la carga de las partículas que forman la suspensión. La segunda etapa consiste en la formación de flóculos (agregados moleculares) y en la tercera etapa se logra su sedimentación.

#### 2.4.1 Coagulación

Las partículas que se encuentran suspendidas en el agua están cargadas negativamente, esto provoca que se repelen unas a otras estabilizando la suspensión. La función de los coagulantes es desestabilizar la carga logrando que las partículas ya no se repelan y se aproximen entre sí para lograr su sedimentación. Los principales coagulantes son sales de aluminio y hierro, los cuales proporcionan carga positiva en forma de cationes metálicos.



## 2. ANTECEDENTES

Los cationes metálicos con el hidróxido del agua forman hidróxidos metálicos, los cuales son insolubles en agua. Los hidróxidos así como las partículas desestabilizadas sedimentan en agregados llamados flóculos.

En un sistema convencional, la coagulación se lleva a cabo en la cámara de mezclado rápido, como se muestra en la figura 4. Se requiere un mezclado rápido debido a que el coagulante y el agua deben estar bien mezclados para permitir a la materia suspendida y al coagulante estar ampliamente en contacto. Si el mezclado no se hace rápido, parte de la materia suspendida no estará en contacto con el coagulante, la carga superficial no será desestabilizada y la floculación no ocurrirá.

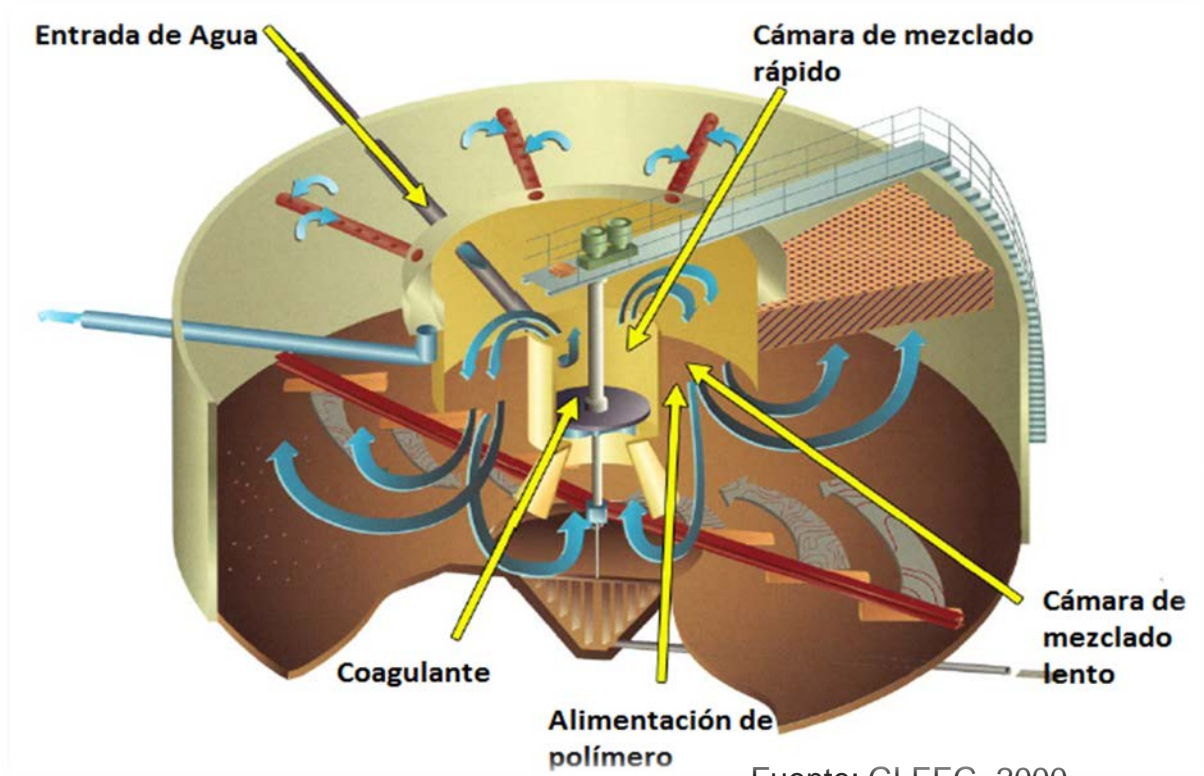


Figura 4. Esquema de un clarificador

Fuente: GLEEG, 2000



### 2.4.2 Floculación

La siguiente etapa del proceso de clarificación después de la coagulación es la floculación, donde los pequeños flóculos formados en la coagulación crecen aún más para formar aglomerados. Para facilitar la floculación se agrega un polímero (figura 5). Conforme el aglomerado aumenta de tamaño se convierte más denso y se hace más fácil su sedimentación.

La floculación se realiza en la cámara de agitación lenta. Un mezclado muy rápido puede provocar la ruptura de los flóculos.

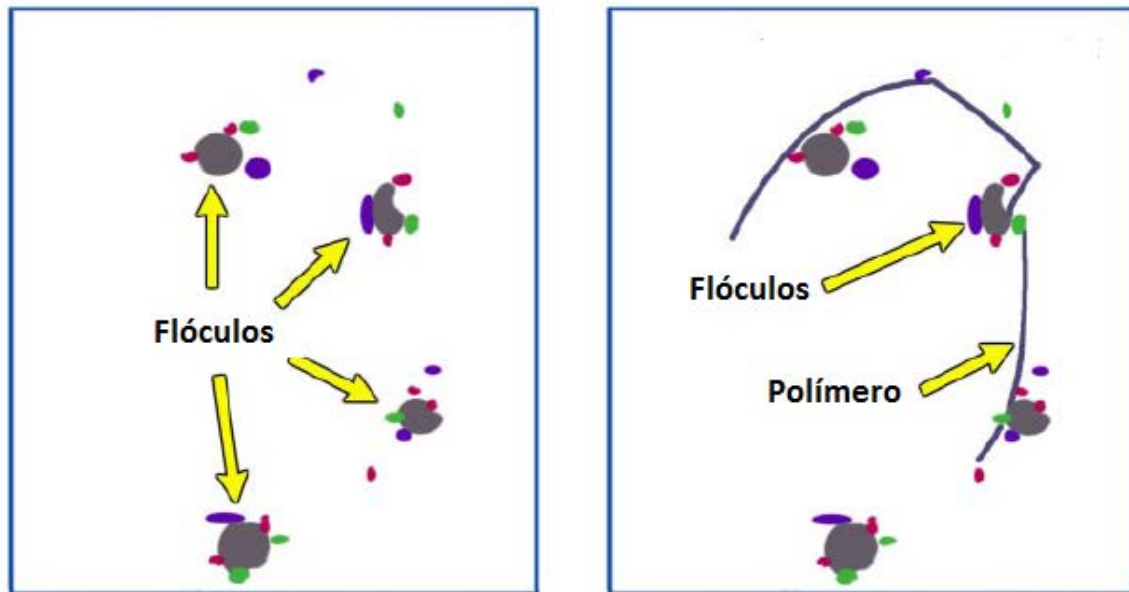


Figura 5. Floculación

Fuente: GLEEG, 2000





### 2.4.3 Sedimentación

La etapa final de la clarificación es la sedimentación, en esta etapa los flóculos aglomerados sedimentan, se separan y transportan a la cámara de concentración de lodos para ser enviados posteriormente a disposición. El agua clarificada es enviada para su uso o tratamiento adicional. En la siguiente foto (figura 6) se ejemplifica un clarificador convencional.



Fuente: (Qandil, 2012)

Figura 6. Clarificador convencional



### 2.5 DESMINERALIZACIÓN DE AGUA PARA ALIMENTACIÓN A CALDERAS

La generación de vapor es uno de los principales servicios que se requiere en muchos tipos de industrias, como lo son la farmacéutica, la alimentaria y la eléctrica.

En la refinación de petróleo se utiliza vapor como fuente motriz para plantas de proceso, generación de electricidad y calentamiento de crudo (Durán, 2009). Los equipos generadores de vapor requieren agua de alimentación de alta calidad, con un bajo contenido de magnesio, calcio y sílice para evitar problemas de incrustación y corrosión, por lo que el agua de alimentación a calderas necesita un tratamiento adecuado que permita reducir la dureza a los límites permisibles.

En la tabla 5 se muestra los límites de concentración de contaminantes en el agua para alimentación a calderas.

Tabla 5. Límites de contaminantes en agua de alimentación a calderas

Presión en domo vapor (kg/cm <sup>2</sup> )	Hierro (mg/L)	Cobre (mg/L)	Dureza total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Sílice SiO <sub>2</sub> (mg/L)	Alcalinidad total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Conductividad (µmho/cm)
0-20	0.100	0.050	0.300	150	350	3500
21-30	0.050	0.025	0.300	90	300	300
31-42	0.030	0.020	0.200	40	250	2500
43-52	0.025	0.020	0.200	30	200	2000
53-63	0.020	0.015	0.100	20	150	1500
64-70	0.020	0.015	0.050	8	100	1000
71-105	0.010	0.010	ND	2	ND	150
106-140	0.010	0.010	ND	1	ND	100

Fuente: Ortíz, 2014



En el Sistema Nacional de Refinación el proceso de acondicionamiento de agua para calderas se realiza en UDA mediante la tecnología de intercambio iónico (Durán, 2009). El desarrollo de tecnologías para hacer el proceso de desmineralización más barato y limpio ha llevado a la aparición de nuevos sistemas como son la ósmosis inversa y la electrodesionización (Sanz, 2011).

### **2.5.1 Intercambio iónico**

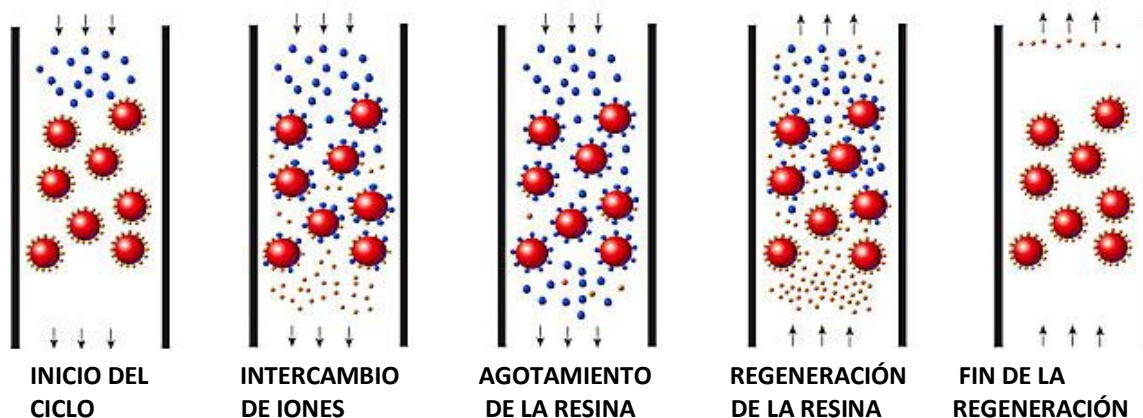
El intercambio iónico es una operación de separación basada en la transferencia de uno o más iones a un sólido por intercambio o desplazamiento de iones de la misma carga que se encuentran unidos a grupos funcionales superficiales por fuerzas electrostáticas. Los sólidos pueden ser de tipo polimérico, los más habituales son las resinas sintéticas (Ortiz, 2014).

La resina es un polímero cargado con iones que poseen la propiedad de poder intercambiarse por otros. Cuando el agua atraviesa la resina, se lleva a cabo un intercambio de iones, de tal forma que los iones del agua quedan en la resina y los de la resina en el agua. Este proceso se realiza hasta que la mayor parte de los iones se han intercambiado. Cuando la resina ya no es capaz de retener por completo los iones del agua y se empieza a producir fugas de dureza se considera que la resina está agotada y es necesaria su regeneración.



## 2. ANTECEDENTES

En el proceso de regeneración simplemente se invierte la reacción, esto se consigue haciendo circular salmuera o ácido a través de la resina. En ese momento se invierte el intercambio y la resina se vuelve a cargar con sus iones originales cediendo los intercambiados con el agua. En la figura 7 se ejemplifica el proceso de intercambio iónico y regeneración de la resina.



Fuente: Aquatracta, 2015

Figura 7. Esquema ilustrativo del intercambio iónico y regeneración de la resina

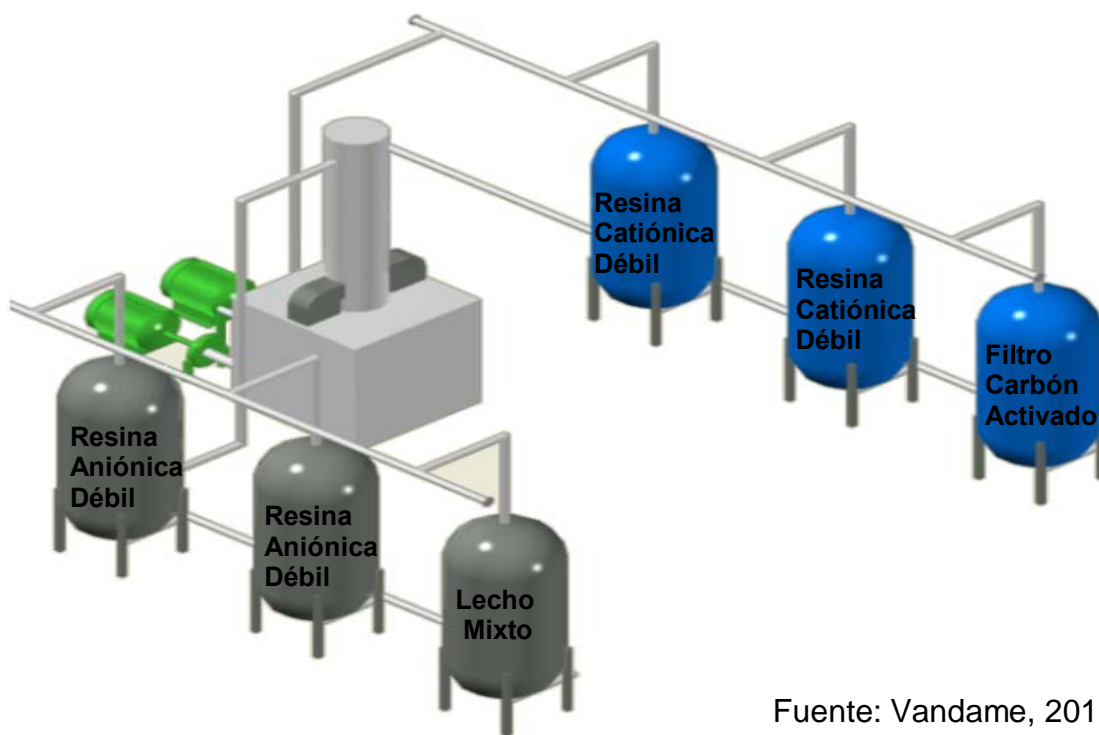
Las resinas de intercambio iónico se clasifican principalmente en:

- Resinas intercambiadoras de aniones (resinas aniónicas)
- Resinas intercambiadoras de cationes (resinas catiónicas)



## 2. ANTECEDENTES

Las resinas tanto aniónicas como catiónicas pueden ser fuertes si intercambian todos los aniones/cationes o débiles si sólo intercambian algunos de ellos. Los intercambiadores catiónicos y aniónicos comúnmente se encuentran en una serie de columnas separadas, donde el agua pasa primero por una columna y después a través de la otra, convirtiéndose en un proceso de dos pasos. Los dos intercambiadores también pueden estar mezclados en columnas de cama mixta. En la figura 8 se presenta un ejemplo de sistema de intercambio iónico.



Fuente: Vandame, 2010

Figura 8. Sistema de desmineralización mediante intercambio iónico



## 2. ANTECEDENTES

En la tabla 6 se muestran las etapas del proceso de desmineralización mediante intercambio iónico y se presenta una foto de una planta de desmineralización de este tipo (figura 9).

Tabla 6. Etapas del intercambio iónico

ETAPAS	OPERACIÓN
Unidad catiónica ácido débil	Se lleva a cabo Intercambio de iones de calcio y magnesio.
Unidad catiónica ácido fuerte	Intercambio de iones de sodio, potasio, calcio y magnesio.
Unidad desgasificadora	Remoción de CO <sub>2</sub> del agua procedente de las unidades catiónicas (agua descationizada).
Unidad aniónica base débil	Neutraliza ácidos minerales
Unidad aniónica base fuerte	Elimina aniones y ácidos débilmente ionizados como el silícico y carbónico.

Fuente: Durán, 2009



Fuente: Bayer, 2000

Figura 9. Planta de desmineralización por intercambio iónico

### 2.5.2 Ósmosis inversa

La ósmosis inversa es una modificación del proceso natural de ósmosis, que se lleva a cabo cuando dos soluciones con distinta concentración se ponen en contacto y tiene lugar el fenómeno de difusión: las concentraciones de las soluciones tienden a igualarse a través de una membrana.





## 2. ANTECEDENTES

Si se ponen en contacto dos soluciones con diferente concentración a través de una membrana semipermeable y se aplica una presión suficiente a la solución concentrada es posible invertir el proceso de ósmosis, de manera que el agua pase de la solución más concentrada a la más diluida. Este proceso, conocido como ósmosis inversa, requiere de la aplicación de una presión suficiente para contrarrestar la presión osmótica e invertir el proceso de ósmosis que se daría de forma natural (Ortiz, 2014). En la figura 10 se esquematiza el proceso.

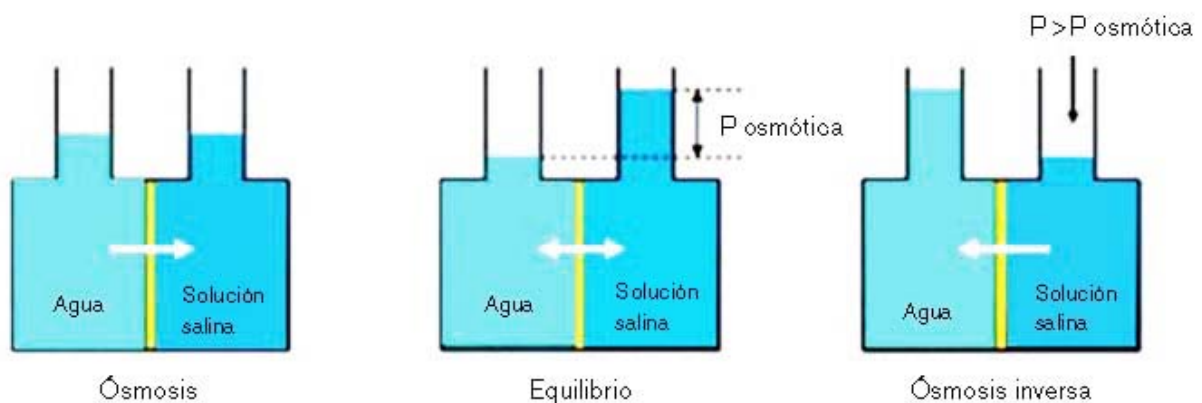


Figura 10. Ósmosis y ósmosis inversa

Fuente: Técnica Industrial, 2015





## 2. ANTECEDENTES

A nivel industrial, el agua se desmineraliza al ser inyectada a altas presiones sobre un conjunto de membranas semipermeables. Aumentando convenientemente la presión en el lado del agua salada se puede hacer pasar el agua al compartimiento menos salino, dejando atrás las sales. En la figura 11 se muestra un sistema industrial de ósmosis inversa.



Fuente: Electrogeno, 2012

Figura 11. Sistema de ósmosis inversa



### 2.5.3 Electrodesionización

La electrodesionización en continuo (CEDI) es un proceso que emplea una combinación de membranas de intercambio iónico, resinas de intercambio iónico y un campo eléctrico de corriente continua para desionizar el agua. En este proceso intervienen una pequeña cantidad de resinas de intercambio iónico, membranas semipermeables aniónicas y catiónicas alternadas y una corriente eléctrica continua entre dos electrodos (cátodo y ánodo).

El agua procedente habitualmente de un sistema de ósmosis inversa atraviesa el módulo donde debido al potencial eléctrico aplicado a los electrodos se provoca la migración de los iones, produciéndose la desionización y desviándose así los iones al compartimiento del concentrado.

El paso de los cationes y aniones está limitado por las membranas catiónicas y aniónicas, de esta forma el agua es desionizada en las celdas del diluido o producto y se concentran los iones en las celdas del concentrado. Las concentraciones de iones en el agua son bajas en la parte inferior del compartimiento del diluido o producto, por lo que el agua es ionizada en las zonas de alto voltaje y los protones e iones hidroxilo que se forman regeneran las resinas catiónicas y aniónicas, respectivamente, haciendo que las resinas regeneradas *in situ* puedan continuar desionizando el agua. En la figura 12 se esquematiza este proceso.



## 2. ANTECEDENTES

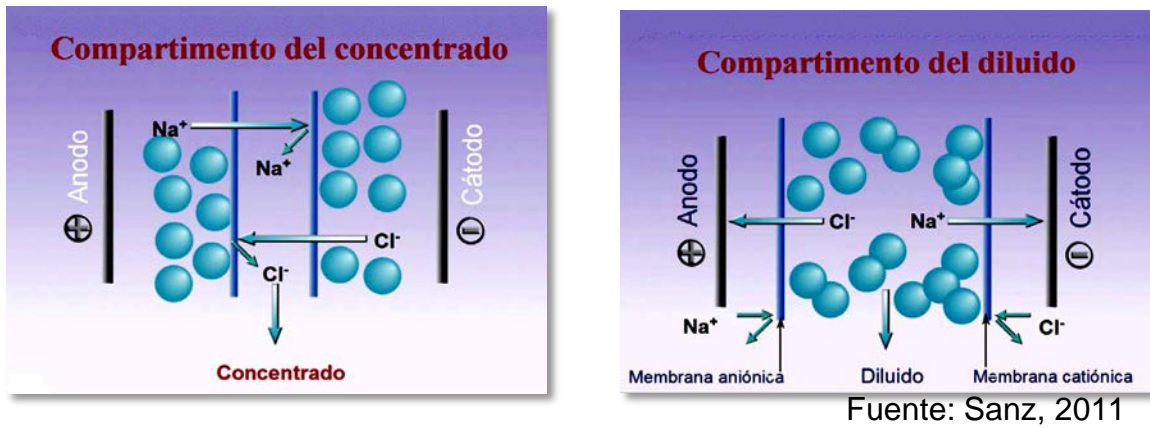


Figura 12. Migración de los iones en el concentrado y en el diluido

En la siguiente foto (figura 13) se presenta equipos modulares de electrodesionización en continuo para la producción de agua desionizada para calderas de alta presión.



Figura 13. Equipos modulares CEDI



### 2.5.4 Tratamiento de condensados

Los condensados contienen contaminantes tales como hidrocarburos, trazas de metales y productos derivados de la corrosión. Los condensados que estuvieron en contacto directo con hidrocarburos y que arrastraron parte de los mismos se les llama condensados aceitosos. Los condensados que no estuvieron en contacto con hidrocarburo se les conoce como condensados limpios.

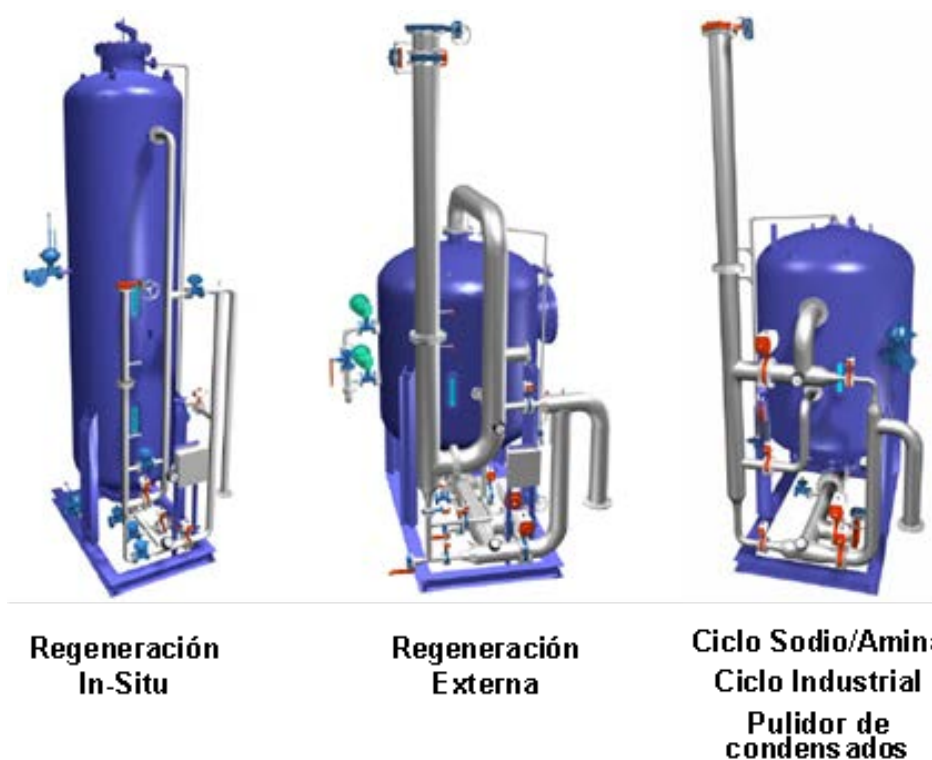
Los condensados limpios y aceitosos requieren un tratamiento para ser reutilizados en el suministro a calderas. El condensado limpio es tratado en equipos de intercambio iónico, conocidos como pulidores, mientras que el condensado aceitoso debe ser tratado previamente en filtros para remover grasa y aceite.

#### **Condensado limpio**

Un pulidor (suavizador) es una unidad de intercambio iónico con resina catiónica fuerte basada en el ciclo del sodio. Actualmente existen tres tipos de ellos: de regeneración *In-Situ*, de regeneración externa y los de ciclo industrial. Estos pulidores se muestran en la figura 14.



## 2. ANTECEDENTES



Fuente: Durán, 2009

Figura 14. Suavizadores para tratamiento de condensados.

### **Condensado aceitoso**

El condensado aceitoso antes de ser ingresado a los equipos suavizadores debe ser tratado previamente en filtros para remover grasas y aceites. Los principales filtros que se utilizan son:



## 2. ANTECEDENTES

- Filtros de cáscara de nuez
- Filtros de capa floculante
- Filtros de cartucho
- Filtros multimedia

El filtro convencional es un tanque cilíndrico vertical de acero, que contiene una cama de partículas finas. Este material está sentado sobre otro de la misma clase, cuyo tamaño de partícula es mayor. En la figura 15 se presenta un ejemplo de filtro de capa floculante. Estos filtros poseen una cama de grava, arena y antracita.

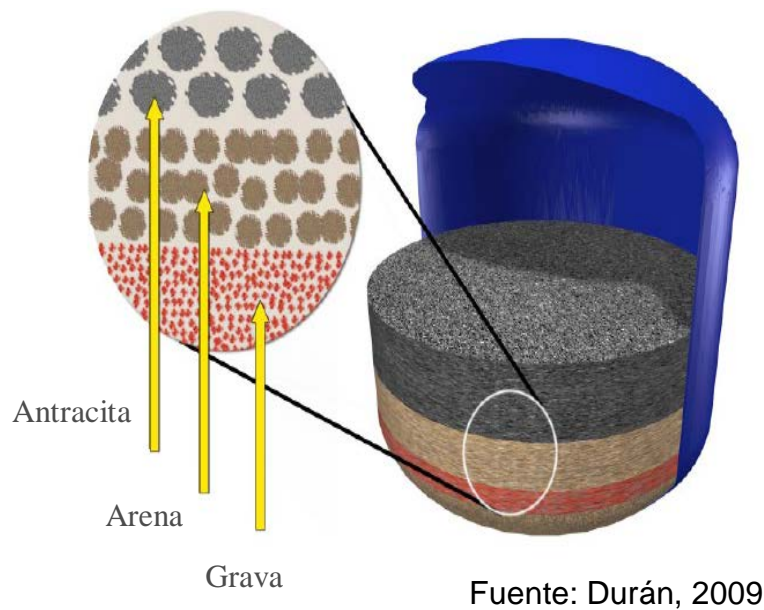


Figura 15. Filtro de capa floculante



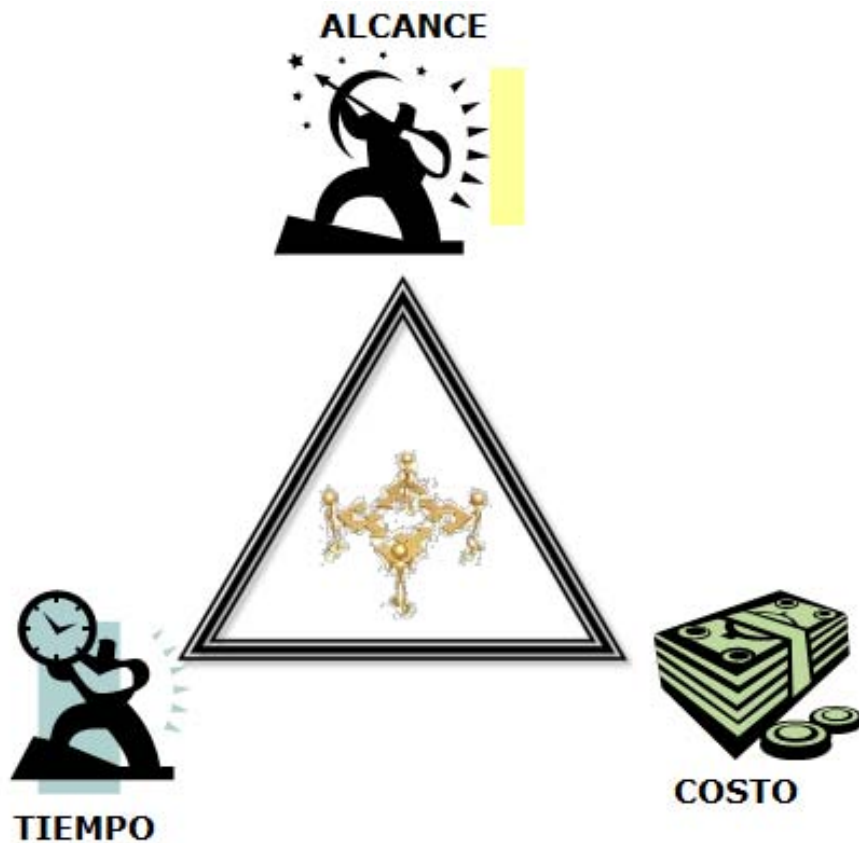
## **Estimación de Costos en Proyectos de Inversión**

Un proyecto es un proceso que consiste en un conjunto de actividades coordinadas, controladas e interrelacionadas, llevadas a cabo con el fin de crear un producto o servicio, bajo restricciones de alcance, costo y tiempo. La Norma Nacional Americana ANSI/PMI (PMBOK guide) define un proyecto como un esfuerzo temporal llevado a cabo para crear un producto, resultado o servicio único (PMBOK, 2004).



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

Un proyecto puede definirse entonces como un conjunto de actividades encaminadas al desarrollo de una idea con fines comerciales, de fabricación, distribución y venta de productos y/o servicios (Casillas, 2014), cuyas actividades están restringidas por el alcance del proyecto, costo y tiempo de ejecución (figura 16).



Fuente: Fragoso y Guerra, 2014

Figura 16. Triple restricción en un proyecto





### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

---

#### 3.1 INGENIERÍA DE PROYECTO

La ingeniería de proyecto es el conjunto de actividades interrelacionadas con el fin de lograr la realización de un proyecto, dentro de ciertas características establecidas (Anaya, 2014). En la ingeniería de proyectos industriales existen diferentes fases, las cuales tienen una función definida a lo largo del ciclo de vida del proyecto:

- Ingeniería conceptual
- Ingeniería básica
- Ingeniería básica extendida
- Ingeniería de detalle
- Procura y logística
- Construcción
- Comisionamiento y arranque.

La primera fase corresponde a la ingeniería conceptual, en la cual se determina la justificación técnica y económica del proyecto; se realiza un análisis de aspectos fundamentales, tales como estudio de mercado, selección previa de la tecnología y definición de los principales aspectos del proceso.



### **3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN**

---

Posterior a la fase conceptual se inicia con la ingeniería básica, la cual consiste en los diseños de arreglos generales, se definen los requerimientos de construcción y programas de trabajo, así como estimados de horas-hombre y costos.

La ingeniería básica extendida corresponde a la definición de la totalidad de los equipos de proceso y de servicios auxiliares, realizando los análisis correspondientes, tales como balances de materia y energía.

En la ingeniería de detalle se incluye los planos finales para construcción, preparados con base en los diagramas de arreglos generales terminados durante la fase de ingeniería básica. Las especificaciones de detalle se realizan para la compra de equipos y para definir totalmente los requerimientos de construcción (Pemex, 2013).

Las fases subsecuentes son la procura y compra de equipo y materiales para concretar el proyecto con la construcción, arranque y pruebas (Anaya, 2014).



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

---

#### 3.1.1 Ciclo de vida de un proyecto

Para facilitar la gestión de proyectos, las organizaciones los dividen en fases, las cuales conectan el inicio del proyecto con su fin. El conjunto de estas fases se le conoce como ciclo de vida del proyecto (PMBOK, 2004) y son determinadas por la naturaleza misma del proyecto y las necesidades de gestión y control.

La descripción del ciclo de vida de un proyecto puede ser muy general o muy detallada, la estructura general proporciona un marco de referencia común para comparar proyectos, incluso si son de naturaleza diferente. En la figura 17 se muestra un esquema general del ciclo de vida de un proyecto.

Sin importar la complejidad y tamaño de los proyectos, la mayoría de ellos comparten determinadas características en su ciclo de vida (MPBOK, 2004):

- En términos generales, las fases son secuenciales y normalmente están definidas por alguna forma de transferencia de información.
- El nivel de costo y de personal es bajo al principio, alcanza su nivel máximo en las fases intermedias y cae rápidamente cuando el proyecto se aproxima a su conclusión.
- Los riesgos e incertidumbre son mayores al inicio del proyecto y disminuyen durante su desarrollo.



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

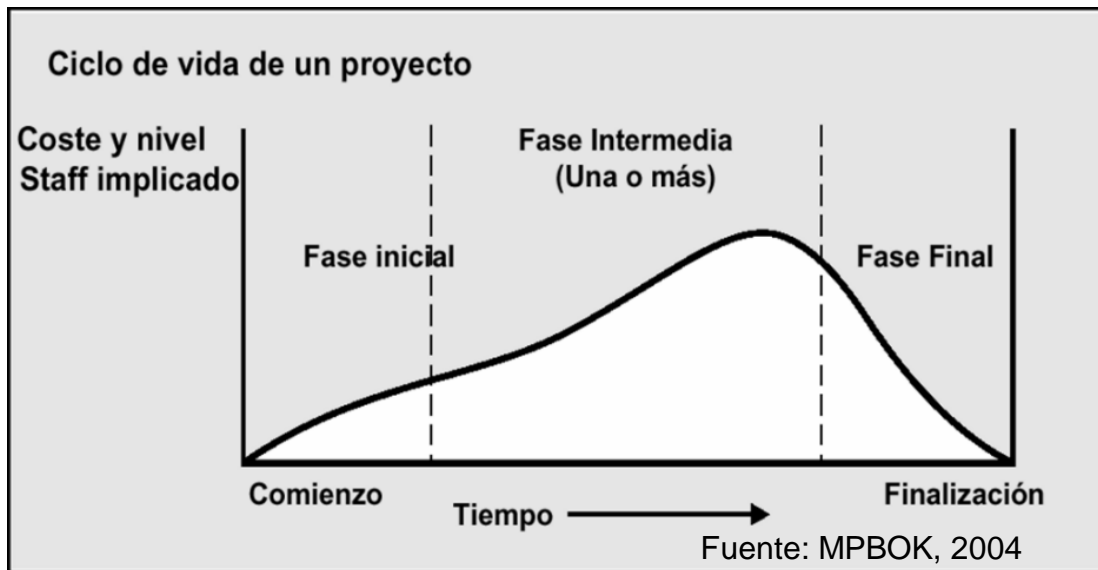


Figura 17. Ciclo de vida de un proyecto

#### 3.1.2 Gestión de proyectos Front-End Loading (FEL)

Front End Loading o FEL es una práctica comúnmente usada para mejorar los resultados de los proyectos de inversión en términos de costo, programa, operatividad y cumplimiento de sus objetivos de negocio (Flores, 2006).

Aunque no existe una traducción en español para el término, se propone su traducción como Definición Inicial de un Proyecto (Flores, 2006). Existen diferentes definiciones del término Front End Loading dependiendo de la compañía que lo use. La Asociación de Programas de inversión (Investment Program Association, IPA) lo define como "Una herramienta para los negocios que provee un mecanismo para



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

ayudar a las compañías a seleccionar y jerarquizar diferentes oportunidades de proyecto a través de un proceso sistemático, riguroso y analítico” (IPA, 2015).

El término fue introducido por primera vez por la compañía DuPont en 1987 y desde entonces ha sido utilizado en la industria química, de petróleo y gas.

En cada etapa del proceso FEL se elaboran diferentes documentos de diseño de ingeniería, su finalización generalmente coincide con la autorización del presupuesto para construcción. La figura 18 muestra las fases del proceso FEL.

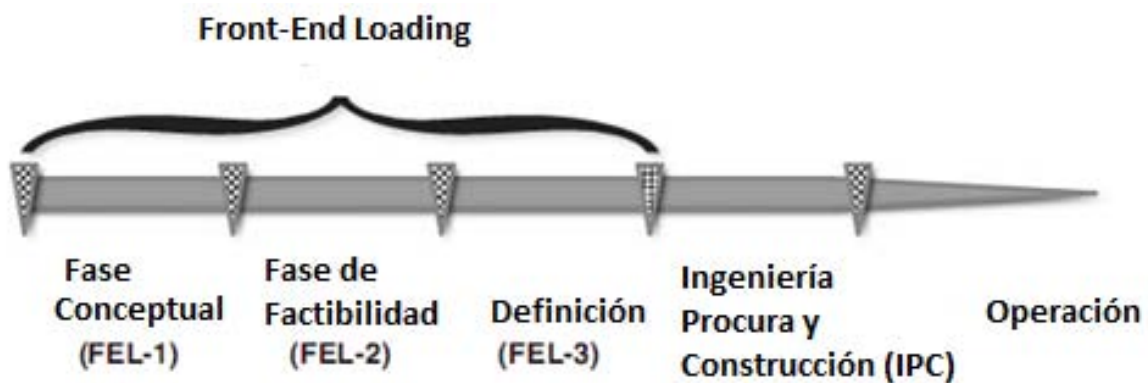


Figura 18. Etapas del proceso FEL

Fuente: Perry, 2008



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

---

La administración FEL tiene como objetivos:

- Desarrollar proyectos bien definidos y económicamente rentables.
- Definir aspectos técnicos y financieros.
- Minimizar cambios durante las etapas siguientes (procura y construcción).
- Reducir costos, tiempo y riesgos durante la ejecución del proyecto.
- Asegurar la rentabilidad técnica, financiera y operativa.

Los cambios que se realizan durante el desarrollo de un proyecto afectarán a éste dependiendo de la fase en la cual se realizan dichos cambios. Un cambio dentro de las primeras etapas tiene una fuerte influencia en la totalidad del proyecto, el costo de implementarlo es bajo y se puede considerar como una modificación al alcance, si se realiza en una fase muy temprana. Por el contrario, una modificación en las últimas etapas afectará significativamente la rentabilidad de la inversión y tiene un costo muy elevado (Perry, 2008). Este comportamiento se observa en la figura 19



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

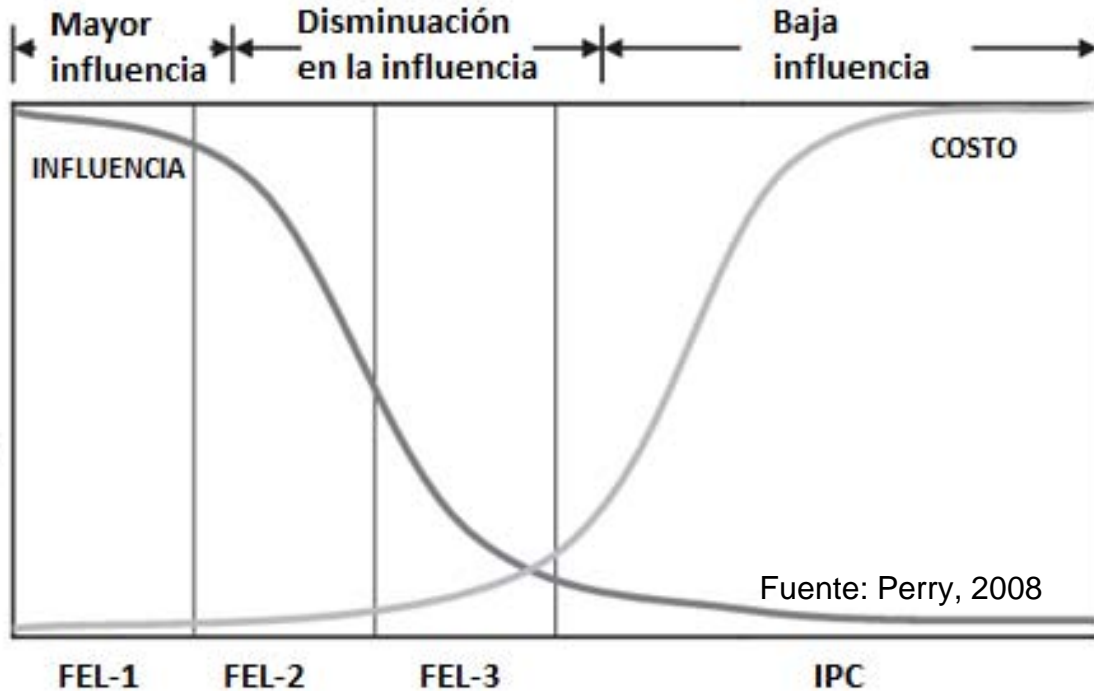


Figura 19. Influencia y costo en las fases de un proyecto

### 3.2. INGENIERÍA DE COSTOS

La estimación de costos es el arte y ciencia que involucra el desarrollo de una aproximación de costos de los recursos necesarios para llevar a cabo las actividades de un proyecto, se basa en la aplicación de principios y técnicas científicas, así como del uso de relaciones empíricas y metódicas.



### **3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN**

---

La Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería de Costos (American Association of Cost Engineering, AACE) define la estimación de costos como “un proceso de pronóstico utilizado para cuantificar el costo y precio de los recursos necesarios definidos por el alcance de un proyecto o inversión” (AACE, 2007) que se realiza principalmente para la elaboración de presupuestos, toma de decisiones, planificación y control de proyectos.

La estimación de costos se desarrolla continuamente dentro del ciclo de vida de todo proyecto. Un estimado adecuado es elemento clave para la evaluación entre diferentes alternativas, toma de decisiones y determinación la rentabilidad de la inversión (Pemex, 2013).

#### **3.2.1 Tipos de costos en proyectos de inversión**

Los proyectos de plantas industriales son concebidos para satisfacer una necesidad mediante la generación de un bien o servicio; para desarrollarlo es necesario contar con recursos que cubran el costo de inversión, así como los costos relacionados con la operación y mantenimiento.





### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

---

El capital necesario para la compra de las instalaciones de la planta es la Inversión Fija de Capital (IFC); el capital necesario para la operación es el Capital de Trabajo (CT). La suma de la Inversión Fija de Capital y el Capital de Trabajo es la Inversión Total de Capital (ITC). La inversión Fija de Capital puede ser subdividida en costos directos e indirectos (Peters y Timmerhaus, 1991).

**Costos directos.** Representan el capital necesario para la instalación del equipo de proceso y materiales auxiliares que son necesarios para su funcionamiento, como son tubería, instrumentos, aislamiento, cimientos, estructuras, trabajo eléctrico, pintura, entre otros.

**Costos indirectos.** Son aquellos que no están relacionados directamente con la operación del proceso. Estos componentes incluyen administración, transporte, envíos e instalaciones; trabajos de ingeniería, supervisión, construcción, honorarios de contratistas y contingencias, entre otros. Las estructuras de la Inversión Total de Capital e Inversión Fija de Capital se presentan en las figuras 20 y 21, respectivamente.



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

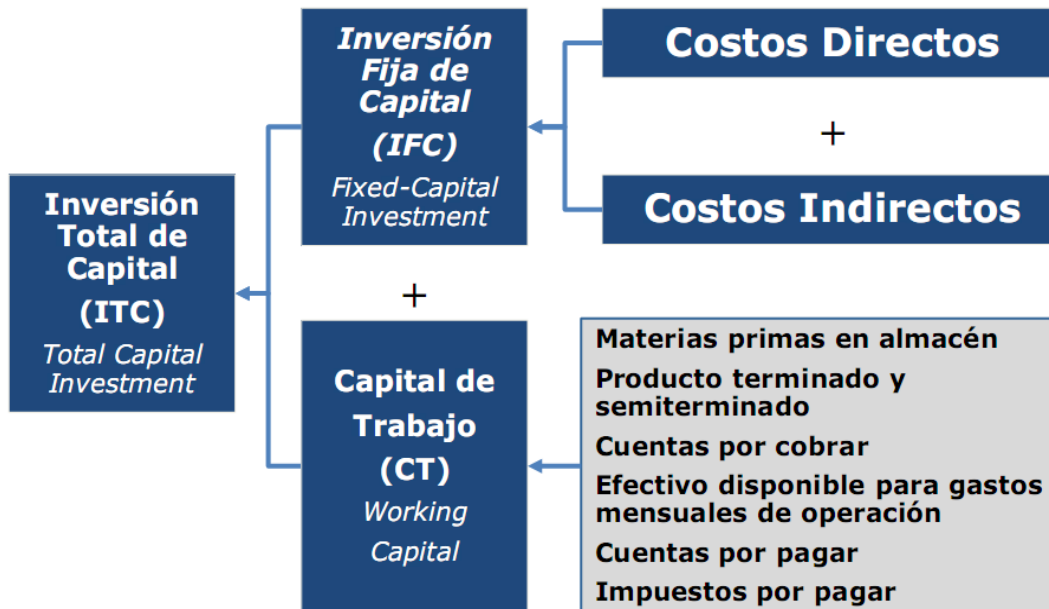


Figura 20. Inversión total de capital

Fuente: Fragoso y Guerra, 2014

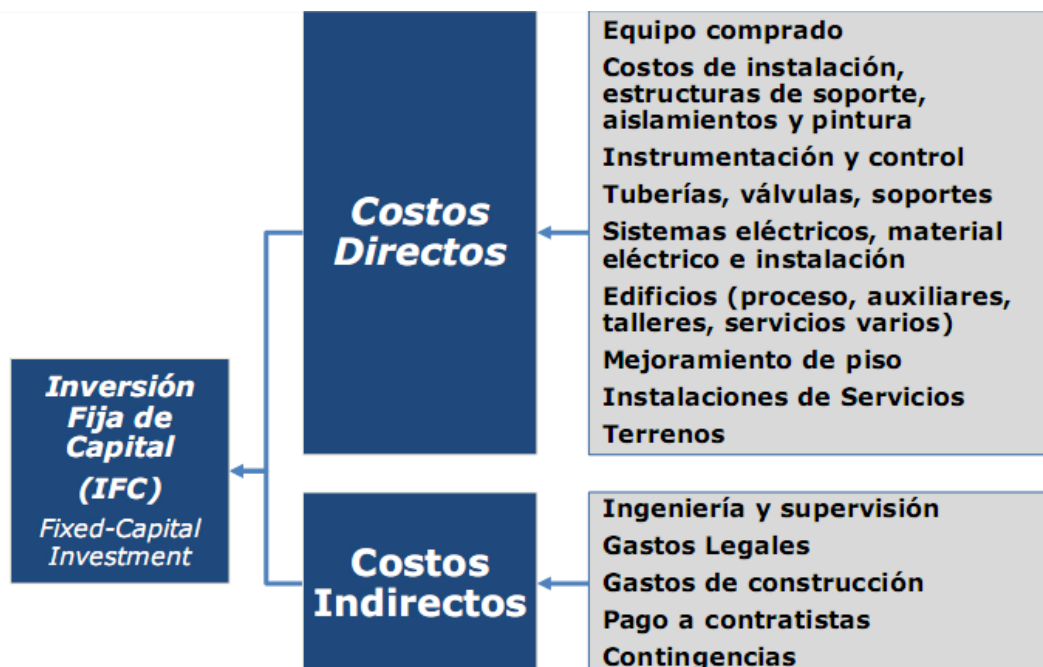


Figura 21. Inversión fija de capital

Fuente: Fragoso y Guerra, 2014



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

---

#### 3.2.2 Clasificación de los estimados de Inversión Fija

Los estimados de costos se clasifican de acuerdo a su precisión, la cual está en función de la cantidad y calidad de información disponible en relación al proyecto, el avance de la ingeniería y el propósito del estimado (Pemex, 2013). A continuación se presenta la clasificación de acuerdo con la AACE (AACE, 2011).

##### **Estimado de clase 5**

El estimado de clase 5 se desarrolla cuando se dispone de muy poca información acerca del proyecto, se cuenta con datos como tipo de planta, localización y capacidad. El intervalo de precisión es bastante amplio y dependiendo del propósito del estimado su requerimiento de tiempo y esfuerzo puede ser mínimo.

El estimado de clase 5 establece una base para las siguientes actividades en la fase inicial del proyecto

- Evaluación de la viabilidad
- Evaluación de esquemas alternativos
- Estudios de mercado
- Evaluación de las necesidades de recursos y presupuestos



### **3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN**

---

#### **Estimado de clase 4**

El estimado de clase 4, al igual que el de clase 5, se desarrolla cuando aún se tiene poca información acerca del proyecto, se realiza principalmente para las siguientes actividades:

- Aprobación preliminar de presupuesto
- Confirmación de la factibilidad técnico-económica
- Análisis de esquemas alternativos para la evaluación, selección y adquisición de tecnologías

Para este estimado se cuenta con información como: capacidad de la planta, diagramas de flujo de proceso y lista preliminar de equipo principal.

#### **Estimado de clase 3**

Los estimados de clase 3 generalmente se realizan como una base para autorización presupuestaria y financiamiento del proyecto. El desarrollo de la ingeniería para este estimado se encuentra entre un 10 y 40% de avance.

En esta etapa del proyecto se cuenta con diagramas de flujo de proceso, diagramas de flujo de servicios, diagramas de tubería e instrumentación, plano de localización general, lista de equipo de proceso y servicios.



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

---

#### **Estimado de clase 2**

Un estimado de clase 2 se prepara para tener un control del proyecto en términos de costo y desarrollo, a menudo se utiliza para la estimación de la oferta en contratos.


Los estimados de clase 2 requieren información como: diagramas de flujo de proceso, diagramas de flujo de servicios, diagramas de tubería e instrumentación, balances de materia y energía, plano de localización general final, dibujos de diseño final, lista completa de equipo de proceso y servicio, diagramas eléctricos e isométricos, cotizaciones con proveedores, entre otros.

#### **Estimado de clase 1**

Más que un estimado, el estimado de clase 1 es la comprobación de estimados anteriores mediante cotizaciones. Sirve como base para controlar los costos y trabajos del proyecto, se realiza cuando la ingeniería se ha desarrollado casi por completo (65% - 100%).

El estimado de clase 1 se desarrolla a gran detalle, mediante métodos deterministas de alto grado de definición. Generalmente se realiza mediante precios unitarios basados en cantidades reales de diseño. El grado de precisión está entre 5 y 10%. En la tabla 7 se hace una comparación de clasificaciones de estimados por diferentes organizaciones. En la tabla 8 se resumen las características de las clases según la AACE.

Tabla 7. Clasificación de los estimados de costo.



Clasificación Estándar AACE	Estándar ANSI Z94.0	Asociación de ingenieros de costo (UK)	Asociación Noruega de Administración de Proyectos (NFP)	Sociedad Americana de Estimadores Profesionales (ASPE)	Aspen TECH	PEMEX	K.T. Yeo, The Cost Engineer, 1989 [2]	P. Behrenbruck Journal of Petroleum Technology, 1993 [4]
Clase 5 -20% a -50% / +30% a +100%	Estimado de Orden de Magnitud -30%/+50%	Orden de Magnitud Clase IV -30%/+30%	Estimado para Concesión	Nivel 1	Estimado de Orden de Magnitud -30%/+50%	Clase V -30%/+50%	Clase V Orden de Magnitud	Orden de Magnitud
			Estimado de Exploración					
			Estimado de Viabilidad					
Clase 4 -15% a -30% / +20% a +50%	Presupuesto Estimado -15%/+30%	Estimado de Estudio Clase III -20%/+20%	Estimado para Autorización	Nivel 2	Estimado Preliminar -25%/+35%	Clase IV -20%/+35%	Clase IV Factor de Estimación	Estimado de Estudio
Clase 3 -10% a -20% / +10% a +30%			Presupuesto Estimado Clase II -10%/+10%					
Clase 2 -5% a -15% / +5% a +20%	Estimado Definitivo -5%/+15%	Estimado Definitivo Clase I -5%/+5%	Estimado de Control Ordinario	Nivel 4	Estimado de Control -10%/+10%	Clase II -10%/+15%	Clase II Estimado Definitivo	Presupuesto estimado
Clase 1 -3% a -10% / +3% a +15%				Nivel 5				

Fuente: AACE, 2005; Pemex, 2013.



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

Tabla 8. Características de las clases de estimado.

TIPO DE ESTIMADO	CARACTERÍSTICA PRIMARIA	CARACTERÍSTICA SECUNDARIA		
	GRADO DE DEFINICIÓN DEL PROYECTO (% de avance)	PROPÓSITO DEL ESTIMADO	MÉTODO DE ESTIMACIÓN	PRECISIÓN (*)
Clase 5	0% a 2%	Planeación estudios iniciales de viabilidad, análisis de alternativas	Modelos de orden de magnitud basado en proyectos similares, índices y curvas costo/capacidad, modelos paramétricos (Lang)	L: -20% A -50% H: +30% A +100%
Clase 4	1 % a 15 %	Planeación estratégica detallada, estudios de factibilidad, aprobación preliminar de presupuesto	Modelos que utilizan índices o curvas para costear equipos principales y modelos paramétricos (Hand)	L: -15% a -30% H: +20% a +50%
Clase 3	10% a 40 %	Autorización de Presupuesto	Costos unitarios semidetallados por línea de producción, uso de índices para componentes menores (Guthrie)	L: -10% a -20% H: +10% a +30%
Clase 2	50 % a 70 %	Control de presupuesto detallado	Costos unitarios conocidos y detallados basados en el diseño de la ingeniería	L: -5% a -15% H: +5% a +20%
Clase 1	50 % a 100%	Control de presupuesto detallado y definitivo, revisión de estimaciones vs terminación	Costos unitarios detallados y estimados por contratistas (cotizaciones), basados en la terminación de planos y especificaciones	L: -3% a -10% H: +3% a +15%

Fuente: AACE, 2011



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

Un estimado de la misma clase puede proporcionar diferente precisión para proyectos diferentes; por ejemplo, hay casos en los que un estimado de clase 4 para un proyecto en particular puede ser igual de preciso como un estimado de clase 3 para un proyecto diferente (figura 22). En la figura 23 se muestra un ejemplo de los datos y entregables requeridos en cada clase de estimado de acuerdo al avance para un proyecto.

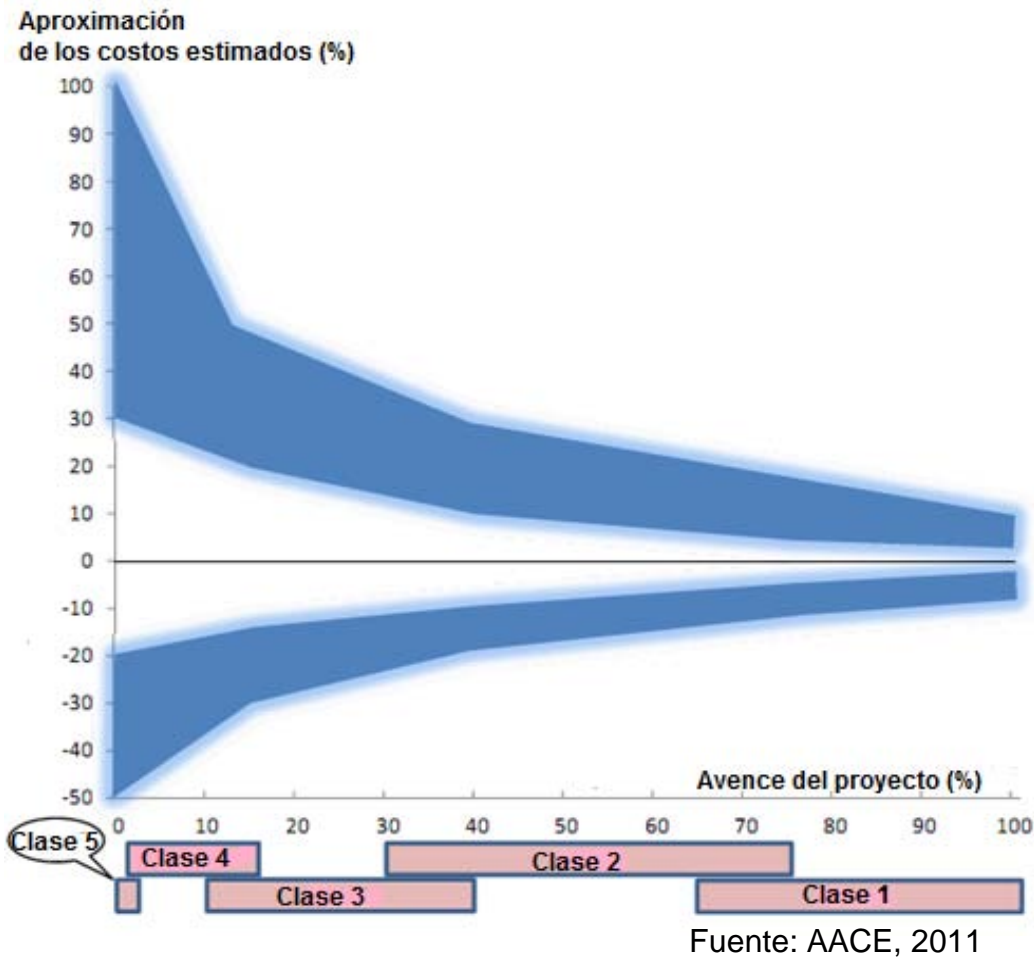


Figura 22. Grado de precisión y clases de estimados en función del avance del proyecto





### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

Tipo de Estimado	Detallado (Clase 1)					
	Definitivo (Clase 2)					
	Preliminar (Clase 3)					
	De Estudio (Clase 4)					
	Orden de Magnitud (Clase 5)					
<b>Sitio</b>	Localización		X	X	X	X
	Descripción general		X	X	X	X
	Inspección			X	X	X
	Informe geotécnico			X	X	X
	Planos del sitio y alrededores				X	X
	Instalaciones desarrolladas					X
<b>Especificación del Proceso</b>	Bocetos:					
	Preliminar		X	X		
	Detallado				X	X
<b>Equipo</b>	Tamaño aproximado y construcción		X	X		
	Especificaciones de ingeniería				X	X
	Hojas de datos				X	X
	Arreglos generales			X	X	
	Arreglos finales					X
<b>Edificios y estructuras</b>	Tamaño aproximado y construcción		X	X		
	Bocetos de cimentación			X	X	
	Arquitectura y construcción			X	X	X
	Diseño estructural preliminar			X	X	
	Arreglos generales y elevaciones				X	X
	Dibujos detallados					X
<b>Servicios</b>	Cantidades aproximadas		X			
	Balance de energía preliminar			X		
	Diagrama de flujo preliminar			X	X	
	Balance de energía detallado				X	X
	Diagrama de flujo detallado					X
	Dibujos detallados					X
<b>Tubería y aislamiento</b>	Diagrama preliminar		X	X		
	Diagrama detallado					X
	Diseño de tubería				X	X
	Especificaciones aproximadas de aislamiento			X		
	Aplicaciones de aislamiento				X	X
	Detalles de aislamiento					X
<b>Instrumentación</b>	Lista preliminar			X		
	Lista de ingeniería				X	X
	Dibujos detallados					X
<b>Eléctrico</b>	Lista aproximada de motores y sus tamaños		X	X		
	Lista de ingeniería y tamaños				X	X
	Número de subestaciones y tamaño			X	X	X
	Especificaciones preliminares			X	X	
	Especificaciones de distribución					X
	Lista preliminar de controles e interlocks				X	
	Diagramas de ingeniería				X	X
	Dibujos detallados					X
<b>Alcance del proyecto</b>	Producto, localización, servicios, edificios, procesos, almacenamiento y manejo.		X	X	X	X

Figura 23. Documentos de ingeniería para las diferentes clases de estimados (Perry, 2008)



### **3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN**

---

#### **3.3 ESTIMACIÓN DE COSTOS A NIVEL INGENIERÍA CONCEPTUAL**

La estimación conceptual tiene como finalidad dar una primera aproximación de los costos de inversión de los proyectos, se realiza durante la etapa de factibilidad y se basa principalmente en el uso de datos históricos y factores de costo (AAE, 2011). El primer estimado es esencialmente un proceso intuitivo, el cual pretende conocer el futuro económico del proyecto, aun cuando no todos los parámetros y condiciones son definidos.

Para realizar los primeros estimados de costos en proyectos de inversión, las organizaciones cuentan sus propios métodos y datos históricos. El grado de aproximación a los costos reales dependerá principalmente de la información disponible, así como el propósito del estimado.

##### **3.3.1 Estimado de orden de magnitud**

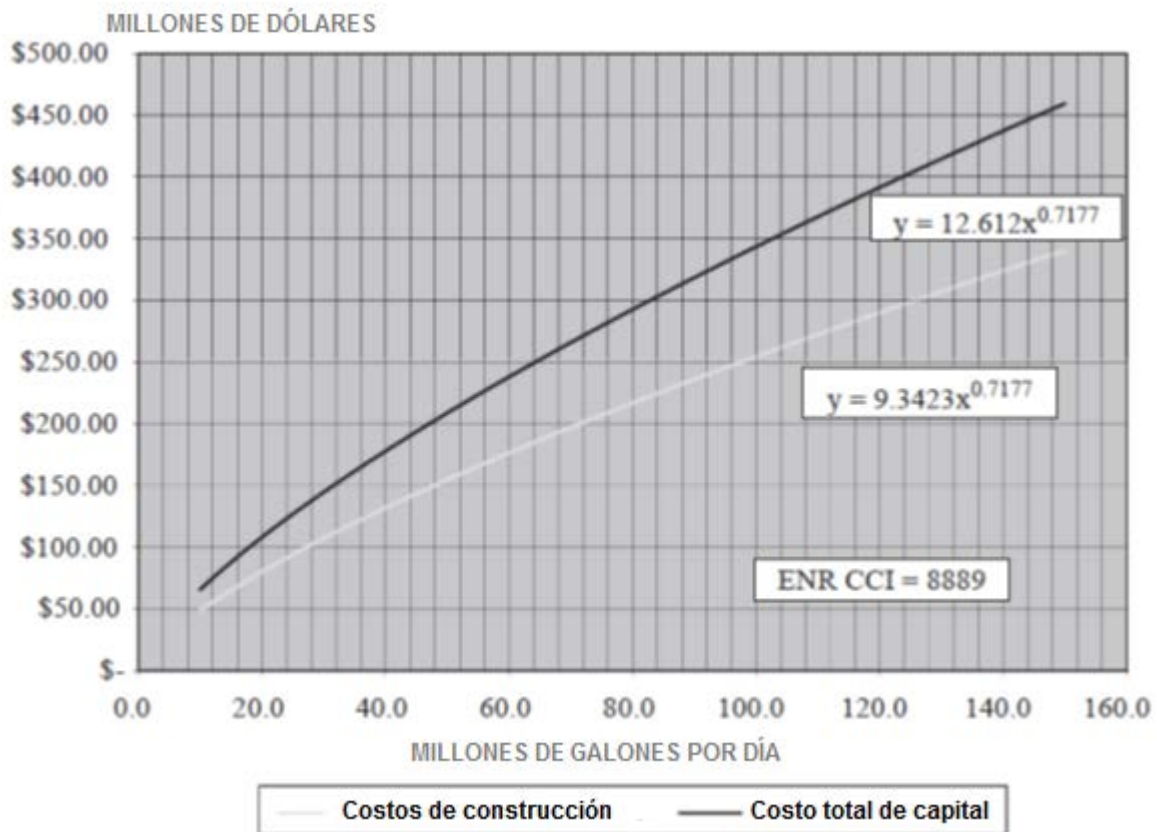
Como su nombre lo indica, el estimado de orden de magnitud sirve para tener una primera idea del costo de inversión de cualquier proyecto, corresponde a estimados de clase 5. A continuación se presentan los métodos mediante curvas de costo capacidad y el método de relación de capacidades o regla de los seis décimos.



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

#### a) Curvas de costo capacidad

Las curvas de costo capacidad son diagramas que describen un promedio de costos de plantas o equipos en función de su capacidad considerando datos de costos previos (McGivney y Kawamura, 2008). Esta información es útil debido a que provee una aproximación rápida. En la figura 24 se presenta como ejemplo una curva de costo para un sistema de tratamiento de ósmosis inversa.



Fuente: McGivney y Kawamura, 2008

Figura 24. Curva de costos de un sistema de tratamiento mediante osmosis inversa



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

---

#### b) Método de relación de capacidades o regla de los seis décimos

El método de relación de capacidades es un método rápido que se utiliza para estimar costos de plantas o equipos con base en costos conocidos para unidades del mismo tipo pero de capacidades diferentes (AAE, 2011).

Si el costo de una unidad es conocido a cierta capacidad, el costo de una unidad similar de X veces la capacidad de la primera es aproximadamente  $X^n$  el costo de la unidad inicial, donde X es la relación de capacidades entre una unidad nueva y la de referencia (Peters & Timmerhaus , 2003). Lo anterior se muestra en la siguiente ecuación.

$$C_2 = C_1 \left( \frac{S_2}{S_1} \right)^n \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde

- $C_2$  Costo de la nueva planta
- $C_1$  Costo de la planta de referencia
- $S_2$  Capacidad de la nueva planta
- $S_1$  Capacidad de la planta de referencia
- n Factor de relación entre ambas plantas



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

---

#### Determinación del valor del exponente n

El exponente n puede tomar valores que van de 0.2 a 1.2 (Peters & Timmerhaus, 2003; Perry, 2008; AACE, 2011). Generalmente se utiliza un valor de 0.6, ya que se observa que duplicando la capacidad de una planta, el costo se incrementan aproximadamente 50%; y triplicándola, 100% (Perry, 2008). En el anexo B se presentan valores de n para diferentes plantas de proceso y equipos. El exponente n también puede ser calculado a partir de dos puntos mediante la ecuación 2 (AACE, 2011).

$$n = \frac{\ln(C_2/C_1)}{\ln(S_2/S_1)} \quad \text{Ecuación 2}$$

El método de relación de capacidades puede ser utilizado cuando se tiene una relación de capacidades no mayor a 10 y las plantas que se estén comparando deben ser similares en tecnología, con una diferencia máxima de 5 años (Chemical Engineering, 2002); además, se debe considerar costos adicionales y el efecto inflacionario aplicando los índices de costo adecuados (AACE, 2011).



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

---

#### 3.3.2 Índices de costo

Los índices económicos son una medida estadística creada para exponer los cambios de una variable económica o un grupo de variables relacionadas en un tiempo determinado. Su importancia radica en su capacidad de explicar el comportamiento de diferentes aspectos económicos y sociales en una economía, son de utilidad para identificar tendencias en muchos aspectos socioeconómicos.

Los índices de costo miden las variaciones, a través del tiempo, de los precios de una canasta básica de bienes y servicios que se consumen en los hogares o en diferentes sectores económicos, así como de los bienes y servicios que se producen (INEGI, 2014). Se emplean para actualizar costos de una fecha a otra cuando los precios han cambiado su valor debido a factores relacionados principalmente con la inflación. Los índices también reflejan cambios en tecnología y productividad.

Debido a que la mayoría de los datos de costos son referenciados a una fecha en específico, y sabiendo que los precios cambian de una fecha a otra por efectos inflacionarios, algunos métodos de estimación de costos deben ser actualizados mediante el uso de índices, los cuales en este caso, muestran la relación que existe en los costos de un mismo bien pero en fechas diferentes. Si el costo de un bien es conocido para una fecha en específico y se desea conocer el costo actual equivalente, éste se obtiene multiplicando el costo conocido por la relación de índices como se muestra en la ecuación 3.



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

---

$$C_{i2} = C_1 \frac{I_2}{I_1} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde

$C_{i2}$  Costo actual

$C_1$  Costo de referencia

$I_2$  Índice actual

$I_1$  Índice de referencia.

#### ➤ Índice de Precios al Consumidor (IPC).

El Índice de Precios al Consumidor mide la variación promedio de los precios de un conjunto de bienes y servicios que representan el consumo de los hogares en un período específico. En otras palabras, es un indicador cuya finalidad es estimar la evolución de los precios de los bienes y servicios que consumen las familias.

En México el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) se publica quincenalmente por el INEGI. Este índice incluye información desde el año 1950.



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

---

#### ➤ Índice de Precios al Productor (IPP).

El índice de precios productor (IPP) es un conjunto de indicadores de precios que tiene por objeto medir la variación promedio de los precios a los que el productor vende su producción.

El análisis del comportamiento de los precios resulta de gran interés para el análisis económico y la toma de decisiones de los sectores público, privado y social, por lo que el principal uso del IPP se orienta a medir el comportamiento de los precios en la esfera de la producción y su impacto como indicador de la inflación de costos (INEGI, 2013).

Para la elaboración del IPP se utilizan las mejores prácticas internacionales, y para ello se ha tomado como guía el Manual Internacional de Precios Productor elaborado por la Organización Internacional del Trabajo (OIT), el Fondo Monetario Internacional (FMI), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo económico (OCDE) y el Banco Mundial (BM).

En México se publican índices por organismos oficiales y privados, como lo son la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) y la Cámara Nacional de la Industria de Desarrollo y Promoción de la Vivienda (Canadevi), las cuales publican mensualmente índices de costo para diferentes materiales de construcción y diversos tipos de obra.

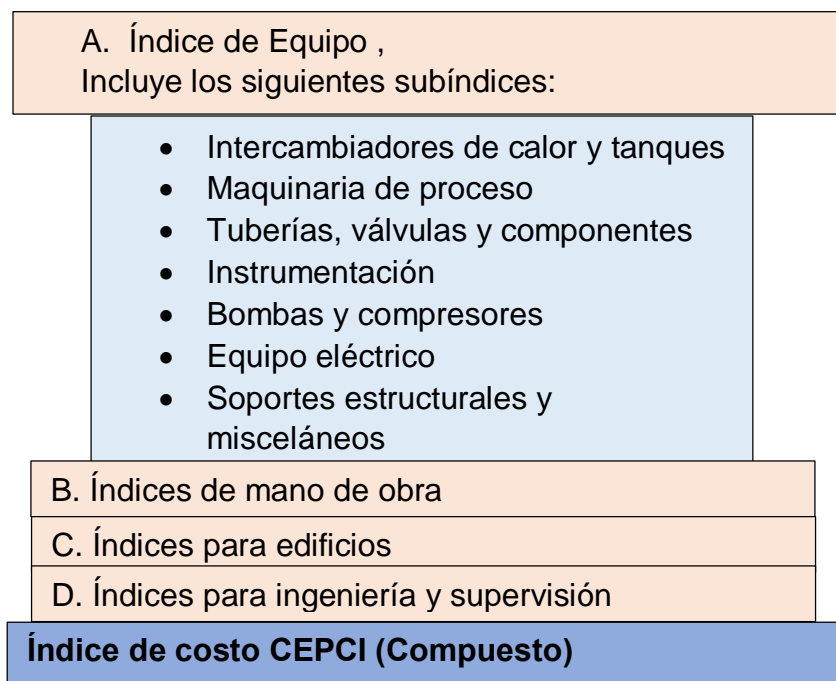




### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

#### ➤ Índices de Costo de Plantas Químicas (CEPCI)

Los índices Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI) se establecieron desde 1960, utilizan como base el período 1957-1959 con un valor de 100 (Couper, 2003). Son exclusivos para la construcción de plantas químicas, se estructuran de cuatro índices principales: equipo, mano de obra, edificios e ingeniería y supervisión. Los índices de equipo a su vez se dividen en 7 subíndices, como se muestra en la figura 25.



Fuente: Chemical Engineering, 2002

Figura 25. Estructura de los índices de costo CEPCI



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

Cada uno de los índices de la figura 25 a su vez se compone de otros elementos, los cuales corresponden a los Índices de Precios al Productor reportados por la Oficina de Estadísticas de Trabajo de Estados Unidos (Bureau of Labor Statistics, BLS). Una ponderación de los índices anteriores forman el índice general o índice compuesto. Los índices CEPCI se publican mensualmente en la revista Chemical Engineering. Para cada año el índice general se obtienen de un promedio de los 12 índices mensuales. En la figura 26 se presenta un ejemplo de los índices CEPCI.

<b>CHEMICAL ENGINEERING PLANT COST INDEX (CEPCI)</b>			
(1957-59 = 100)	Aug. '15 Prelim.	Jul. '15 Final	Aug. '14 Final
CE Index _____	553.4	556.3	578.7
Equipment _____	664.9	669.7	703.7
Heat exchangers & tanks _____	592.2	597.9	648.7
Process machinery _____	657.5	658.5	668.0
Pipe, valves & fittings _____	822.3	829.1	877.1
Process instruments _____	391.1	394.7	413.9
Pumps & compressors _____	956.5	956.5	939.3
Electrical equipment _____	509.8	512.5	516.3
Structural supports & misc _____	731.3	737.7	773.7
Construction labor _____	323.4	321.6	320.4
Buildings _____	540.7	541.8	545.3
Engineering & supervision _____	318.7	318.5	320.3

Figura 26. Índices CEPCI

Fuente: Chemical Engineering, 2015:  
<http://accessintelligence.imirus.com/Mpowered/book/vche15/i111/p78>



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

#### ➤ Índices Marshall y Swift (M&S)

Los índices Marshall y Swift son un conjunto de índices de ocho tipos de industrias: cementera, química, productos de arcilla, vidrio, pintura, papel, petróleo y caucho; además, incluye la industria de energía eléctrica, minería, refrigeración y energía a partir de vapor (Couper, 2003).

Estos índices toman en cuenta el costo de la maquinaria y equipo principal, costos de instalación, accesorios, herramientas, mobiliario de oficina y equipo menor (Peters & Timmerhaus, 2003). Se basan en un valor de 100 para el año base (1926) y actualmente se encuentran en la página web Marshal y Swift. En la figura 27 se presenta un ejemplo de estos índices.

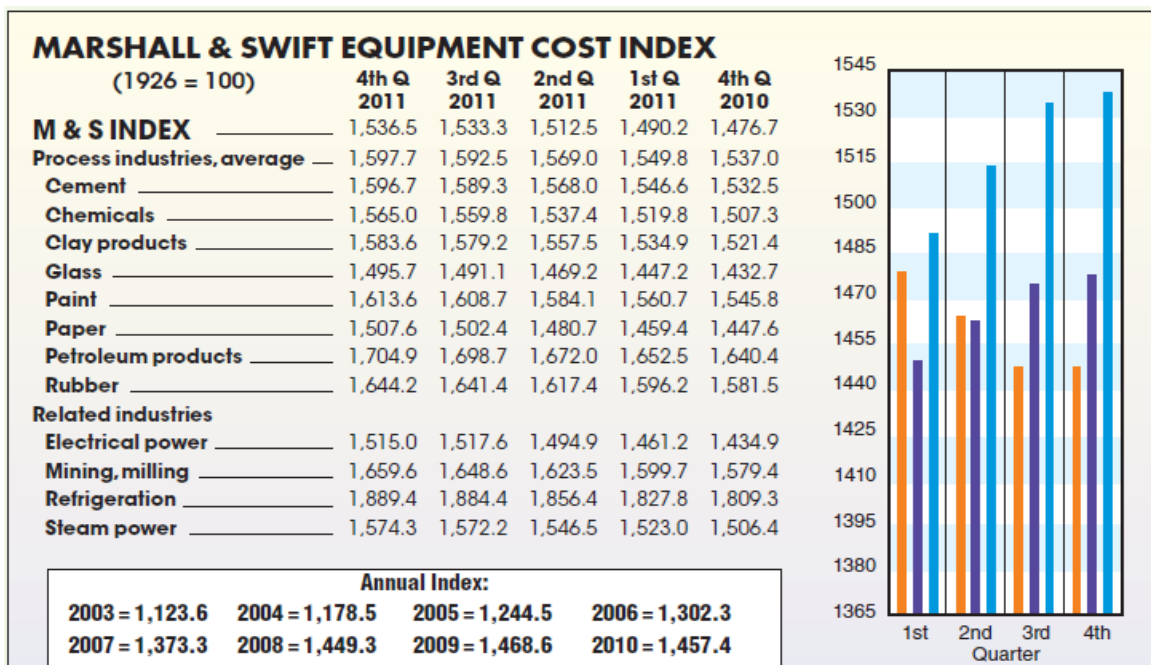


Figura 27. Índices de costo Marshall & Swift

Fuente: Chemical Engineering, 2012: <http://accessintelligence.imirus.com/Mpowered/book/vche16/i3/p94>



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

#### ➤ Índices de costo Engineering News Record (ENR)

Los índices ENR son uno de los índices más antiguos que actualmente se publican, establecidos desde, 1913 se utilizan en la industria de la construcción y se publican cada semana en la revista Engineering News Record (figura 28).

#### Construction Costs

	1913 = 100	INDEX VALUE	MONTH	YEAR	
CONSTRUCTION COST	<b>+2.1%</b> Jul 2015	<b>CONSTRUCTION</b>	10037.4	0.0%	<b>+2.1%</b>
		<b>COMMON LABOR</b>	21463.03	0.0%	<b>+2.2%</b>
		<b>WAGE \$/HR.</b>	40.78	0.0%	<b>+2.9%</b>

Fuente: Engineering News Record :  
<http://enr.construction.com/economics/>

Figura 28. Índices de costo *Engineering News Record*

#### ➤ Índices de Nelson-Farrar (NF)

Los índices de Nelson Farrar fueron originalmente conocidos como índices de Nelson para la construcción de refinerías, su año base es 1946 y 1956 con un valor de 100 (Couper, 2003); se utilizan en la industria del petróleo y petroquímica. Se



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

publican mensualmente en la revista Oil and Gas y se estructuran de los componentes mostrados en la figura 29.

<b>NELSON-FARRAR COST INDEXES<sup>1</sup></b>								
<b>Refinery construction (1946 basis)</b>								
<i>Explained in OGJ, Dec. 30, 1985, p. 145.</i>								
	1962	1980	2011	2012	2013	May 2013	Apr. 2014	May. 2014
<i>Pumps, compressors, etc.</i>	222.5	777.3	2,108.7	2,170.6	2,221.1	2,227.3	2,267.0	2,272.7
<i>Electrical machinery</i>	189.5	394.7	513.7	514.8	516.7	517.3	515.5	515.0
<i>Internal-comb. engines</i>	183.4	512.6	1,036.0	1,047.0	1,046.8	1,045.1	1,050.8	1,050.8
<i>Instruments</i>	214.8	587.3	1,469.9	1,477.0	1,509.9	1,504.0	1,532.2	1,528.6
<i>Heat exchangers</i>	183.6	618.7	1,153.6	1,220.9	1,293.3	1,305.0	1,305.0	1,305.0
<i>Misc. equip. average</i>	198.8	578.1	1,256.4	1,286.1	1,317.5	1,319.8	1,334.1	1,334.4
<i>Materials component</i>	205.9	629.2	1,610.5	1,579.7	1,538.7	1,527.1	1,583.4	1,574.9
<i>Labor component</i>	258.8	951.9	2,985.6	3,055.6	3,123.4	3,112.4	3,196.9	3,206.3
<i>Refinery (inflation) index</i>	237.6	822.8	2,435.6	2,465.2	2,489.5	2,478.3	2,551.5	2,553.7
<b>Refinery operating (1956 basis)</b>								
<i>Explained in OGJ, Dec. 30, 1985, p. 145.</i>								
	1962	1980	2011	2012	2013	May 2013	Apr. 2014	May 2014
<i>Fuel cost</i>	100.9	810.5	1,204.4	968.1	1,123.7	1,219.4	1,285.2	1,314.0
<i>Labor cost</i>	93.9	200.5	277.4	287.9	308.3	306.7	312.0	307.2
<i>Wages</i>	123.9	439.9	1,304.3	1,407.5	1,506.4	1,495.1	1,538.9	1,520.9
<i>Productivity</i>	131.8	226.3	470.8	489.4	489.1	487.5	493.2	495.1
<i>Invest., maint., etc.</i>	121.7	324.8	885.7	896.5	905.3	901.2	938.0	938.9
<i>Chemical costs</i>	96.7	229.2	537.4	517.2	502.6	503.0	477.7	468.5
<i>Operating indexes<sup>2</sup></i>								
<i>Refinery</i>	103.7	312.7	651.9	637.5	661.8	668.1	690.0	690.2
<i>Process units</i>	103.6	457.5	814.7	739.0	802.6	834.2	871.7	880.6

Figura 29. Índices de Nelson-Farrar

Fuente: (*Oil & Gas Journal*, 2015):

<http://www.ogj.com/articles/print/volume-112/issue-9/processing/nelson-farrar-monthly-cost-indexes.html>



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

---

➤ **Índices Vatavuk para costo de control de la contaminación del aire (VAPCCI)**

Los índices Vatavuk son aplicables para equipos de control de contaminación del aire (Couper, 2003), tienen como base el año 1994 con un valor de 100, se publican por la BLS y en una variedad de fuentes privadas, se utilizan para actualizar costos de equipo como:

Absorbedores de carbono	Colectores mecánicos
Incineradores catalíticos	Sistemas de refrigeración
Precipitadores electrostáticos	Oxidante térmico regenerativo
Filtros de tela	Incineradores térmicos
Absorbedores de gas	Depuradores húmedos

➤ **Índices de plantas de tratamiento de residuos. EPA**

Se utilizan para actualizar costos de tratamiento primario y secundario de residuos. El periodo base es 1957–1959 con un valor de 100, se encuentran en la revista Water Pollution Control Foundation (Couper, 2003).



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

---

#### ➤ **OFJ–Morgan índice de Tubería**

Estos índices son exclusivos para tubería, se publican cada dos meses en la revista *Oil and Gas (Couper, 2003)*.

#### ➤ **Bureau of Labor Statistics (BLS, EUA)**

La Oficina de Estadísticas de Trabajo de Estados Unidos publica mensualmente, a través de su página de internet, índices de costo e información de material y mano de obra para diferentes industrias, los más comunes y utilizados son los índices de Precios al Productor (Couper, 2003).

#### **3.3.3 Estimados de estudio (clase 4)**

La información requerida para realizar un estimado de estudio incluye principalmente el alcance del proyecto, balance de materia y energía preliminar; hojas de datos y dimensiones preliminares de equipo, así como las primeras determinaciones de servicios, edificios y estructuras, por mencionar algunas de ellas. Estos estimados corresponden a los de clase 4 y 5. A continuación se presentan el método de Lang, el método de Hand y el método de Wroth (Couper, 2003; Perry, 2008).



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

---

#### ➤ Método de Lang

El método de Lang (Lang, 1947) es uno de los métodos más conocidos, consiste en un conjunto de factores para estimar el costo de inversión fija e inversión total de una planta química a partir del costo de equipo en función del tipo de planta: de sólidos, fluidos, o sólidos y fluidos. Estos factores se obtuvieron del costos promedio para 14 plantas de proceso de diferentes tamaños y tipos (Couper, 2003) e incluyen el costo del equipo y elementos para su instalación, aunque no incluyen el factor de contingencia. Los índices de Lang se presentan en la tabla 9 y en la figura 30 se esquematiza el método.

Tabla 9. Factores de Lang

TIPO DE PLANTA	FACTOR
Proceso sólido	3.10
Proceso sólido-fluido	3.63
Proceso fluido	4.47

Fuente: Couper, 2003



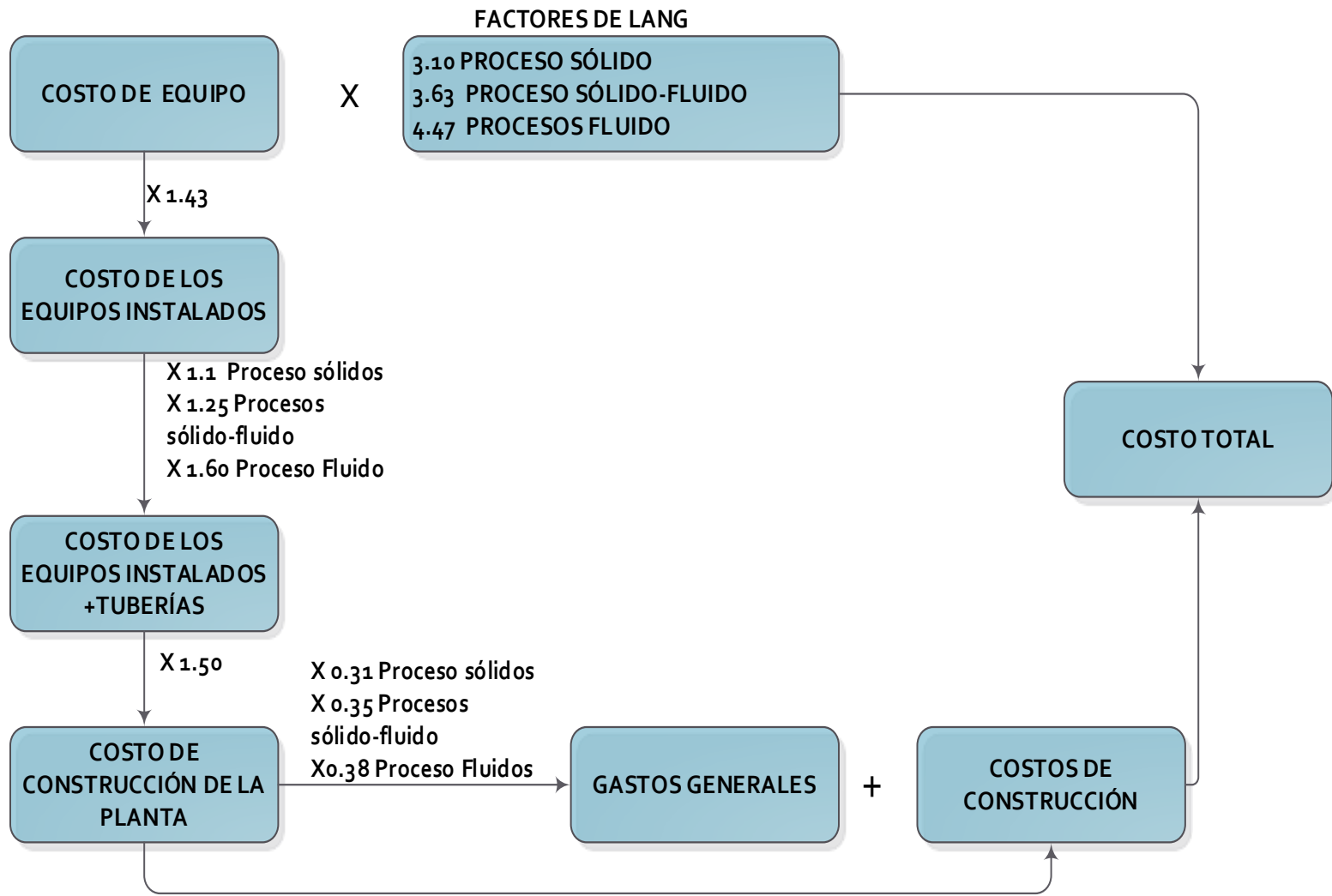


Figura 30. Método de Lang

Fuente: Elaboración propia a partir de UTC, 2013



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

#### ➤ Método de Hand

Hand (Hand, 1958) propuso un conjunto de factores de instalación para equipos, los cuales se determinaron a través del análisis de varias plantas del mismo tipo.

En la tabla 10 se presentan los factores de Hand.

Tabla 10. Factores de Hand

EQUIPO	FACTOR
Columnas fraccionadoras	4.0
Recipientes a presión	4.0
Intercambiadores de calor	3.5
Calentadores a fuego directo	2.0
Bombas	4.0
Compresores	2.5
Instrumentos	4.0
Equipos diversos	2.5

Fuente: Couper, 2003., Perry, 2008

#### ➤ Método de Wroth

Los factores de Wroth (Wroth, 1960), similares a los de Lang y Hand, son una lista más detallada de factores de instalación para equipos de proceso. Para obtener el costo de instalación, el costo de cada equipo se multiplica por el factor de Wroth (Perry, 2008). La suma de los costos de los equipos instalados es el Capital de Inversión Fija. En la tabla 11 se presentan los factores de Wroth.



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

Tabla 11. Factores de instalación de Wroth

<b>EQUIPO</b>	<b>FACTOR</b>
Mezcladores	2.0
Sopladores y ventiladores	2.5
Compresores:	
Centrífugo (motor)	2.0
Centrífugo ( vapor)	2.0
Reciprocante (vapor y gas)	2.3
Reciprocante (motor)	2.3
Eyectores	2.5
Hornos	2.0
Intercambiadores de calor	4.8
Instrumentos	4.1
Motores eléctricos	3.5
Bombas	
Centrífugas (motor)	7.0
Centrífugas (vapor)	6.5
Desplazamiento positivo	5.0
Refrigeración	2.5
Tanques:	
Proceso	4.1
Almacenamiento	3.5
Fabricados en campo	2.0
Torres (columnas)	4.0

Fuente: Perry, 2008



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

---

#### 3.3.4 Estimados preliminares (clase 3)

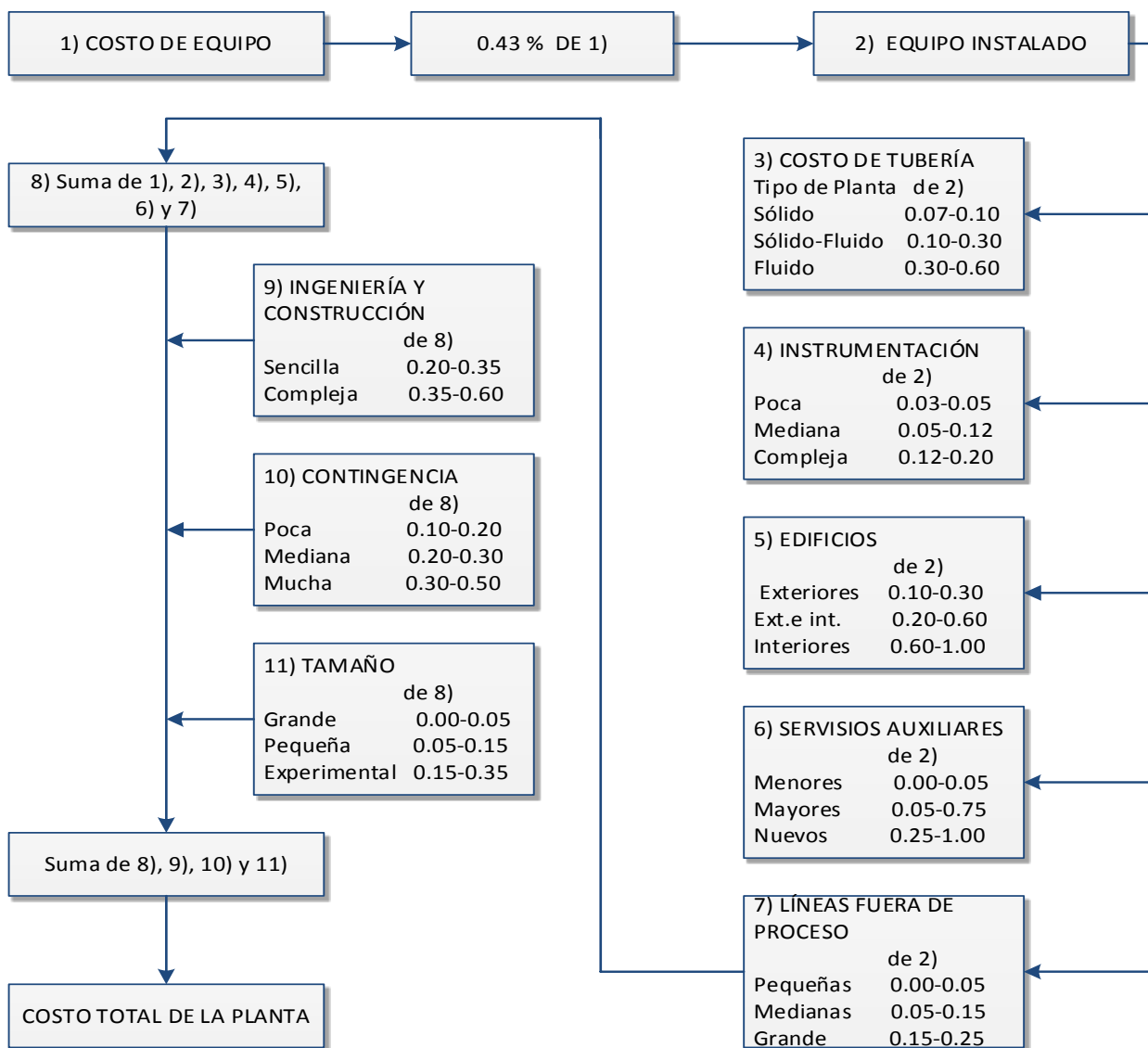
Los estimados preliminares o para autorización de presupuesto proporcionan estimados de mayor calidad que los estimados de estudio con una aproximación de -25% a +30%. A continuación se presentan el método de Chilton, el método de Peters y Timmerhaus y el método de Guthrie.

##### ➤ **Método de Chilton**

El método de Chilton (Chilton, 1960) es un método factorial detallado para obtener la Inversión Fija a partir del costo del equipo (Couper, 2003). Este método puede ser muy preciso si se tiene una cuidadosa selección de los factores a utilizar (tabla 12). En la figura 31 se resume el método de Chilton.



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN



Fuente: Elaboración propia a partir de UTC, 2013

Figura 31. Método de Chilton



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

Tabla 12. Factores de Chilton

No.	CONCEPTO	FACTOR	% DEL No.
1	Costo de equipo	1	1
2	Equipo instalado	1.43	1
3	Tubería		
	Tipo de planta:		
	Sólidos	0.07-0.10	2
	Sólidos-fluidos	0.10-0.30	2
	Fluidos	0.30-0.60	2
4	Instrumentación		
	Poca	0.03-0.05	2
	Mediana	0.05-0.12	2
	Compleja	0.12-0.20	2
5	Edificios y preparación del terreno		
	Unidades exteriores	0.10-0.30	2
	Unidades exteriores-interiores	0.20-0.60	2
	Unidades interiores	0.60-1.00	2
6	Servicios auxiliares		
	Menores	0.00-0.05	2
	Mayores	0.05-0.75	2
	Nuevos	0.25-1.00	2
7	Líneas fuera de proceso		
	Corta	0.00-0.05	2
	Intermedia	0.05-0.15	2
	Larga	0.15-0.25	2
8	<b>Costo físico total</b>		<b>∑ conceptos 2-7</b>
9	Ingeniería y construcción		
	Simple	0.20-0.35	8
	Compleja	0.35-0.60	8
10	Contingencia		
	Proceso fijo	0.10-0.20	8
	Sujeto a cambio	0.20-0.30	8
	Proceso tentativo	0.30-0.50	8
11	Factor de tamaño		
	Grande	0.00-0.05	8
	Pequeña	0.05-0.15	8
	Experimental	0.15-0.35	8
12	<b>Costo total de inversión fija</b>		<b>∑ conceptos 8-11</b>

Fuente: Couper, 2003



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

#### ➤ Método de Peters y Timmerhaus

El método de Peters y Timmerhaus es una combinación de los métodos de Lang y Chilton, ya que aplica los 12 factores de Chilton y divide los procesos en sólidos, sólidos-fluidos y fluidos. En la tabla 13 se presenta los factores de Peters y Timmerhaus (Peters y Timmerhaus, 2003).

Tabla 13. Método de Peters y Timmerhaus

COSTOS DIRECTOS	PROCESOS SÓLIDOS	PROCESOS SÓLIDOS-FLUIDOS	PROCESOS FLUIDOS
1.Costo de equipo	100	100	100
2.Instalación de equipo	45	39	47
3.Instrumentación (instalado)	18	26	36
4.Tubería (instalada)	16	31	68
5.Eléctrico (instalado)	10	10	11
6.Edificos (incluye servicios)	25	29	18
7.Desarrollo de sitio	15	12	10
8.Servicios	40	55	70
9.Terreno (si se requiere comprarlo)	6	6	6
<b>10.Costo directo total</b>	<b>269</b>	<b>302</b>	<b>360</b>
<b>Costos indirectos</b>			
11.Ingeniería y supervisión	33	32	33
Gastos de construcción	39	34	41
12.Permisos	4	4	4
14.Pago a contratistas( 5% del costo directo e indirecto)	17	19	22
15.Contingencia	35	37	44
<b>Total indirectos</b>	<b>128</b>	<b>126</b>	<b>144</b>
16 Costo total de inversión fija y terreno	287	413	483
Inversión fija	397	428	504
Capital de trabajo	70	75	89
<b>Inversión total</b>	<b>467</b>	<b>503</b>	<b>593</b>

Fuente: Peters y Timmerhaus, 2003



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

---

#### ➤ **Método de Guthrie**

El método de Guthrie (Guthrie, 1974) se basa en el análisis de costo de 42 plantas químicas. Al igual que los métodos descritos anteriormente aplica factores para obtener el costo total de inversión e involucra más detalladamente los costos directos e indirectos, así como el costo de la mano de obra (Couper, 2003).

El método de Guthrie es considerado un método modular debido a que divide el costo en seis módulos que forman la inversión fija: cinco de ellos relacionados con los costos directos y el sexto con costos indirectos. Un módulo representa un grupo de elementos con características similares (Templos, 2009). Estos módulos son:

1. Módulo de Proceso.
2. Módulo de indirectos.
3. Módulo de manejo de sólidos.
4. Módulo de desarrollo del sitio.
5. Módulo de edificios industriales.
6. Módulo de servicios.

En la tabla 14 se muestra el algoritmo de estimación de costos de inversión mediante el método de Guthrie.





### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

Tabla 14. Método de Guthrie

<b>1. Costo del equipo, FOB</b>	<b>E</b>	
<b>2. Material directo (en campo):</b>	<b>m</b>	<b>m= 40 a 125% de E</b>
Tubería		
Concreto		
Acero		
Instrumentación		
Eléctrico		
Aislamiento		
Pintura		
<b>3. Costo directo del material</b>	<b>M</b>	<b>M= E + m</b>
<b>4. Mano de obra directa</b>	<b>L</b>	<b>L= 50 a 70 % de E</b>
<b>5. Costo Directo Total</b>	<b>DC</b>	<b>DC= M + L</b>
<b>6. Costos indirectos:</b>	<b>IC</b>	<b>25 a 45% de DC</b>
Fletes, seguro, permisos		
Ingeniería, construcción		
<b>7. Costo del módulo</b>	<b>BMC</b>	<b>BMC=IC + DC</b>
<b>8. Costo total del módulo</b>	<b>IF</b>	<b>IF= BMC*f</b>
	<b>f</b>	Factor de ajuste por material, presión, geometría de los equipos
Contingencia		8 a 20% de BMC
Pago contratista		2 a 7 % de BMC

Fuente: Elaboración propia con información de Couper, 2003

Con la suma del costo del módulo, contingencias y pago de contratistas se obtiene el costo total del módulo. Cuando todos los módulos se suman se obtiene la Inversión Fija de Capital (IFC).



### **3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN**

---

El método de Guthrie proporciona estimados bastante aproximados (clase 3) si se aplica adecuadamente y con las actualizaciones correspondientes. Garrett en 1986 (Chemical Engineering Economics, 1989) hizo una actualización a los factores de Guthrie incluyendo factores de instalación, materiales de construcción y factores por corrección de presión, entre otros.

Además de los factores ya mencionados, existen diversos métodos, entre ellos el método de Holland (Chemical Engineering, 1974); Happel (Chemical Process Economics, 1975.); Miller (Chemical Engineering, 1965) y V.K. Wilkinson, (Chemical Engineering, 1974). Los métodos más utilizados y que han recibido más actualizaciones son el de Guthrie y el de Peters y Timmerhaus. El método de Lang sirvió como base para el desarrollo de factores posteriores.

#### **3.4 PRECIOS UNITARIOS**

El desarrollo de estimados de inversión por precios unitarios es un método para estimar costos detallados de construcción y control de obra, correspondiéndose como un método de la ingeniería de detalle.

Precio Unitarios es calcular el precio por una unidad de medida de costo terminado, consiste en el pago total que debe cubrirse al contratista por unidad de concepto



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

terminado y ejecutado conforme al proyecto, especificaciones de construcción y normas de calidad (DATOP, 2015). En la figura 32 se muestra las funciones elementales de los precios unitarios.



Fuente: Frago, 2015

Figura 32. Funciones elementales de los precios unitarios



### **3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN**

---

#### **3.5 CÓDIGO DE CUENTAS**

El código de cuentas es un sistema de codificación desarrollado por diversas compañías para el control y monitoreo de costos. Este código es básicamente una lista de todos los costos de los elementos en un proyecto. Se debe tener un estricto conocimiento del alcance de costos en cada código. Además de los costos de inversión, los códigos se utilizan para control de costos una vez que se inicia con la construcción (Couper, 2003).

#### **3.6 ESTIMACIÓN DE COSTOS COMPUTARIZADO**

Actualmente existen paquetes de software que permiten hacer estimados de inversión y evaluación económica de proyectos, algunos ejemplos de ellos son Aspen Icarus, ChemCAD, Superpro, PRO II, Hysys (Perry, 2008) y Capdet Works.

Para realizar los estimados, estos programas se basan en cotizaciones de proveedores o datos históricos.

A continuación se hace una comparación de los estimados desarrollados por CapCost, EconExpert, Aspen PEA, Método Detailed Factorial Method (DFP) y Capital Cost Estimation Program (CCEP) (Chemical Engineering, 2011).



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

---

**CapCost.** Es un método utilizado para realizar estimados preliminares, se basa en un método modular de estimación programado en Visual Basic. Toma como base datos proporcionados por proveedores y utiliza los índices CEPCI para actualizar costos.

**Capital Cost Estimation Program (CCEP).** Usa correlaciones desarrolladas por Seider (Seider, 2010) para estimar el costo del equipo libre a bordo. Para estimar el costo de instalación del equipo utiliza los factores de Guthrie.

**EconExpert.** Similar a CapCost, se basa en un método modular. La herramienta se presenta como gráficas de ecuaciones polinomiales para estimar el costo de compra de los equipos.

**Detailed Factorial Program (DFP).** Se basa en métodos factoriales detallados.

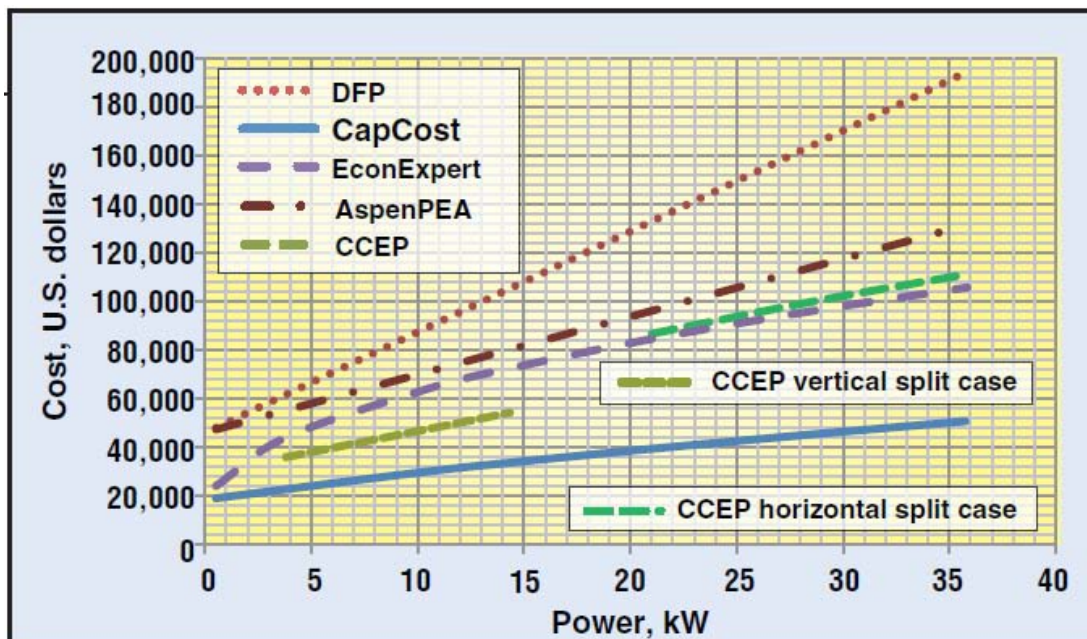
CCEP y DFP se desarrollaron en Microsoft Excel y Visual Basic por Wong y Huang (Wong, 2010; Huang, 2010).

**Aspen PEA.** Se generó para realizar estimados conceptuales y detallados. Estima costos directos, indirectos, instalación, pruebas de campo y mano de obra, entre otros.



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

Los cinco programas mencionados proporcionan estimados de costo con diferente aproximación debido a que utilizan diferentes ecuaciones, diferentes factores y diferentes datos de entrada, por lo que aquí se presenta una comparación de los resultados obtenidos para bombas centrífugas. Para hacer la comparación se tomó como base los estimados realizados en CapCost. Como se observa en la figura 33, EconExpert, DFP, CCEP y Aspen PEA proporcionan estimados por arriba de los realizados por CapCost. DFP y Aspen PEA tienen los estimados más altos, ya que estos programas estiman más a detalle la instrumentación y control. En la figura 33 se presenta la comparación de costos estimados realizada por la revista Chemical Engineering (Chemical Engineering, 2011).



Fuente: Chemical Engineering, 2011

Figura 33. Estimado de costo para bombas centrífugas en diferentes programas computacionales



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

Los costos de compra estimados por Aspen varían de 35% a 132% respecto a los estimados en CapCost. Los costos estimados por cada programa se muestran en la tabla 15.

Tabla 15. Costo de bombas centrífugas estimados en diferentes programas

Bombas Centrífugas		CapCost Costo (USD)	DFP	CC EP	Ec. Exp.	As. PEA	
	Potencia, kW	Mat.	<i>CPCS</i>	Δ%	Δ%	Δ%	Δ%
CS4-P-101	0.3	CS	3,554*	152%	50%*	7%	55%
CS5-P-104	0.38	CS	3,554*	156%	49%*	14%*	57%*
CS6-P-101	0.46	CS	3,554*	152%	62%*	21%	57%
CS5-P-105	0.75	CS	3,554	165%	46%	39%	60%
CS2-P-102	1.12	CS	3,577	164%	48%*	57%	35%
CS1-P-102	1.7	CS	3,726	165%	27%*	73%	53%
CS4-P-102	1.7	CS	3,726	110%	46%*	73%	53%
CS2-P-101	2.24	CS	3,876	176%	28%*	83%	37%
CS5-P-106	2.65	CS	3,979	209%	53%	89%	76%
CS1-P-101	2.8	CS	4,025	251%	26%	91%	89%
CS6-P-102	5.84	CS	4,807	297%	120%	110%	123%
CS5-P-101	6.4	CS	4,934	289%	75%	112%	107%
CS1-P-103	24	CS	8,257	204%	24%	117%	10%
CS4-P-103	0.5	SS	3,554*	146%	59%*	24%	57%
CS6-P-105	1.08	SS	3,565	143%	223%	56%	57%
CS7-P-101	2.3	SS	3,887	163%	51%*	84%	50%
CS6-P-106	3.69	SS	4,267	145%	294%	99%	132%
CS6-P-104	10.4	SS	5,808	438%	140%	118%	58%

\*Costo del tamaño mínimo

+No disponible en ese programa por lo que se estimó de otra fuente.

Fuente: Chemical Engineering, 2011



### **3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN**

---

#### **3.6.1 Aspen Capital Cost Estimator (CCE)**

Aspen CCE es una herramienta que permite hacer estimados de costos y evaluación económica de proyectos, para ello realiza un pre dimensionamiento de los equipos basándose en métodos, códigos y modelos rigurosos basados en el diseño de cada equipo. Los estimados se realizan a partir de las bases de datos con las que cuenta el programa, así como de información del proyecto proporcionada por el usuario.

La base de datos de Aspen CCE está formada por información proporcionada por empresas como DOW Plastic- Lined Piping Products, Fisher Controls International Inc, Honeywell Inc, por mencionar algunas En la figura 34 se presentan las entradas y resultados en la evaluación de un proyecto en Aspen CCE.





### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN



Fuente: Aspen Tech, 2013

Figura 34. Entradas y salidas en la evaluación de un proyecto en Aspen CCE

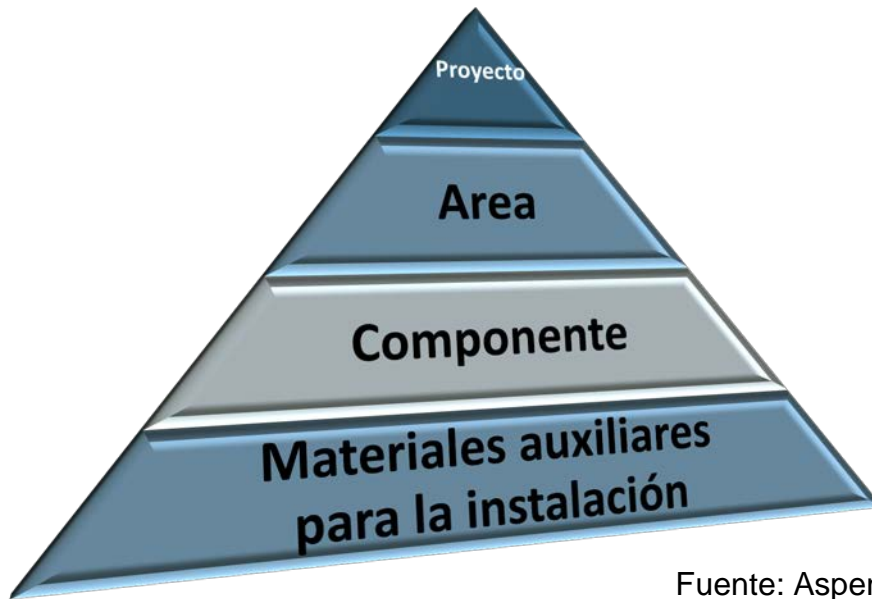
Cada estimación que se realiza en el simulador de costos Aspen CCE se realiza dentro de un proyecto, en el cual se indican algunos parámetros como tipo de moneda, la región de la base de datos y las unidades de medida.

Un proyecto en Aspen CCE está formado por áreas, las cuales pueden ser plantas o unidades de proceso; las áreas están formadas por componentes o equipos de proceso, los cuales a su vez están formados por materiales auxiliares para su instalación como tubería, obra civil, acero, instrumentación, eléctrico, aislamiento y pintura.



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

La organización de la información para la estimación de costos en Aspen CCE se muestra en a figura 35.



Fuente: Aspen Tech, 2013

Figura 35. Niveles en los datos de entrada en Aspen CCE

**Equipo.** El costo del equipo o costo de compra del equipo se refiere al costo sin incluir flete, instalación, materiales, servicios o elementos adicionales para su funcionamiento.

**Flete.** Cuando el equipo es comprado generalmente se entrega Libre a Bordo ( Free On Board, FOB) por lo que el traslado del equipo al lugar donde será instalado corre por cuenta del comprador.

**Tubería.** Líneas de proceso y de servicio, incluyen pintura y aislamiento.



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

---

**Civil.** Excavaciones y rellenos, trincheras, cimientos.

**Acero.** Escaleras, andamios, plataformas, estructuras de acero.

**Instrumentación.** Sensores, transmisores, cables, conduits, tubing, reguladores, por mencionar algunos ejemplos.

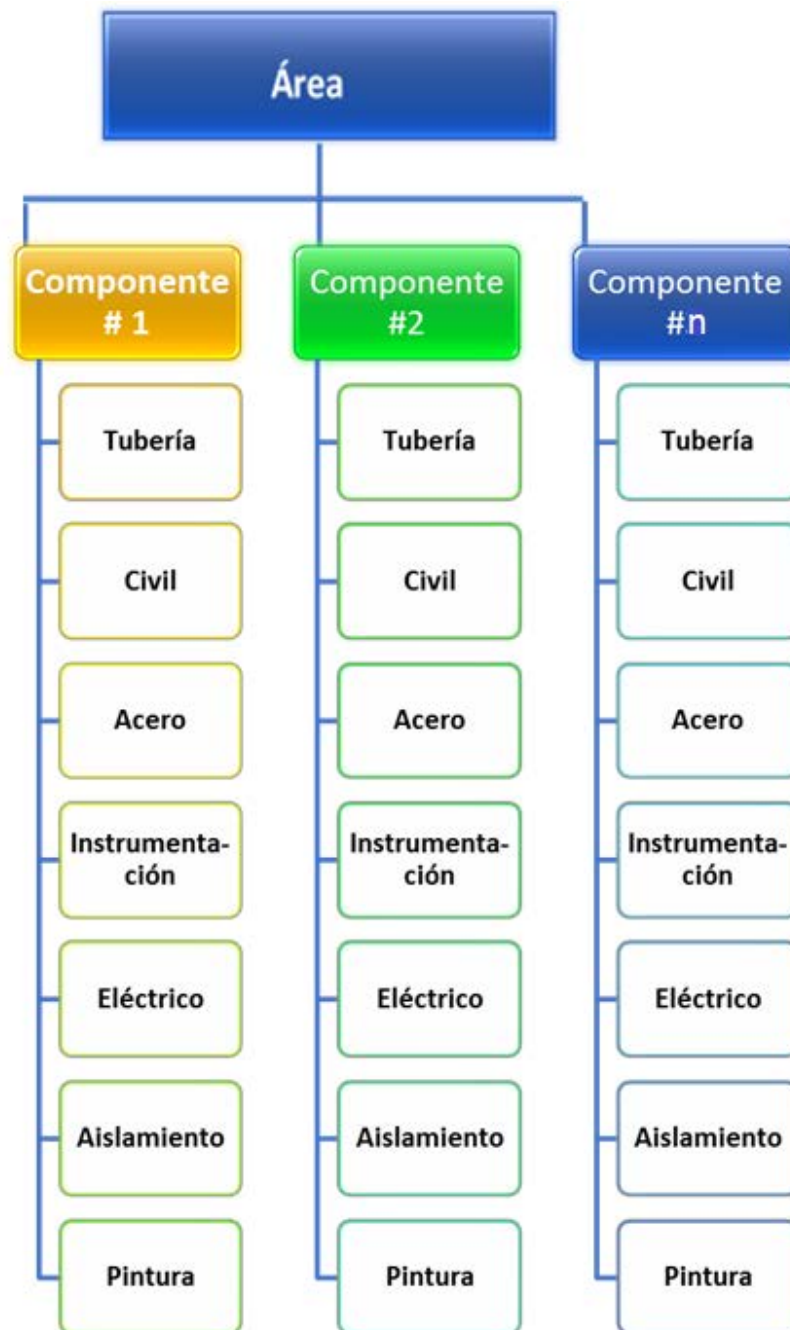
**Aislamiento.** Aislamiento y protección a prueba de fuego para equipo e instalaciones de acero.

**Pintura.** Pintura para equipo e instalaciones de acero.

En la figura 36 se muestra la estructura de los componentes en Aspen CCE



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN



Fuente: Aspen Tech, 2013

Figura 36. Elementos de instalación y componentes de un proyecto.



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

---

Como parte de los costos indirectos Aspen CCE hace un estimado del costo de la ingeniería, renta del equipo adicional para la construcción y costos por contingencias y sobrecosto, entre otros.

**Ingeniería.** Especificaciones de ingeniería: planos, diagramas, balances.

**Maquinaria.** Renta del equipo necesario para la instalación de los equipos o trabajos de construcción.

**Contingencia.** La contingencia cubre costos adicionales derivados de una definición incompleta del proyecto, errores en el diseño y errores en el estimado de costo. No intenta cubrir cambios en el alcance (Pemex, 2011).

**Sobrecosto.** Las causas que elevan los costos de los proyectos pueden ser un estimado erróneo del alcance del proyecto, por una mala administración y desempeño organizacional, entre otros. Para proyectos grandes el sobrecosto está del orden del 50 % (Sánchez, 2011).

Aspen CCE puede utilizar los reportes de simuladores de proceso como Aspen Plus, ChemCAD y Hysys para tomar los datos necesarios y hacer los estimados de costos. Si no se cuenta con la simulación del proceso, el usuario puede proporcionar la información correspondiente a los equipos y realizar un estimado de costos para cada uno de ellos. Para realizar los estimados, el programa también se vale de los



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

DTI que tiene en su base de datos, los cuales pueden ser modificados de acuerdo a las necesidades del usuario (Esquivel, 2007).

Los resultados de los estimados se presentan en reportes y hojas de cálculo en Excel, los cuales se muestra en las figuras 37 y 38, donde se detalla el desglose de los costos directos e indirectos que forman el costo total de inversión; asimismo, el programa da la posibilidad al usuario de solicitar reportes más detallados, así como el DTI que generó para realizar los estimados (figura 39).

R E P O R T   G R O U P   S U M M A R Y						
=====						
: :	:                    D I R E C T   C O S T S                    :				TOTAL :	PERCENT
: PERCENT :	:-----:				AMOUNT :	OF
: :	:-----:				USD :	PURCHASED
: OF :	MATERIAL :	MANHOURS :	MANPOWER :	SUBCONTRACTS :	USD :	EQUIPMENT
:NO.: I T E M :	: K-USD :	:	: K-USD :	: K-USD :	:	:
: TOTAL :	:	:	:	:	:	:
: COST :	:	:	:	:	:	:
=====						
1. PURCHASED EQUIPMENT	29.6	-	-	0.	29600.	100.0
9.8						
2. EQUIPMENT SETTING	-	34	1.1	-	1100.	3.6
0.3						
3. PIPING	9.5	159	4.8	0.	14300.	48.2
4.7						
4. CIVIL	1.2	102	2.4	0.	3700.	12.4
1.2						
5. STEEL	0.0	0	0.0	0.	0.	0.0
0.0						

Fuente: Aspen Tech, 2013

Figura 37. Ejemplo de reporte presentado por Aspen CCE



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

Aspen ICARUS							
Project Cost Summary by Contractor							
MAIN							
Project Title:		PROJECT:		Scenario Name:		BaseCase	
Project Name:		BOMBAS		Job No.:		--	
Proj. Location:		North America		Prep. By.:		--	
Estimate Date:		25NOV14 23:44:59		Est. Class.:		Currency: DOLLARS USD	
Account	MH	Wage Rate	Labor Cost	Matl Cost	Total Cost	Percentages	
(2) Equipment	34	31.00	1,063	29,600	30,663	10.1% of TDC	
(3) Piping	159	30.01	4,786	9,476	14,263	4.7% of TDC	
(4) Civil	102	23.92	2,441	1,239	3,680	1.2% of TDC	
(6) Instruments	141	30.00	4,216	82,662	86,879	28.7% of TDC	
(7) Electrical	1,273	29.21	37,190	128,680	165,871	54.8% of TDC	
(9) Paint	46	22.31	1,017	502	1,519	0.5% of TDC	
<b>Total Direct Field Costs</b>	<b>1,755</b>		<b>50,714</b>	<b>252,160</b>	<b>302,874</b>	<b>100.0% of TDC</b>	
	(TDMH)		(TDL)	(TDM)	(TDC)		

Fuente: Aspen Tech, 2013

Figura 38. Resultados presentado por Aspen CCE en hoja de cálculo en Excel

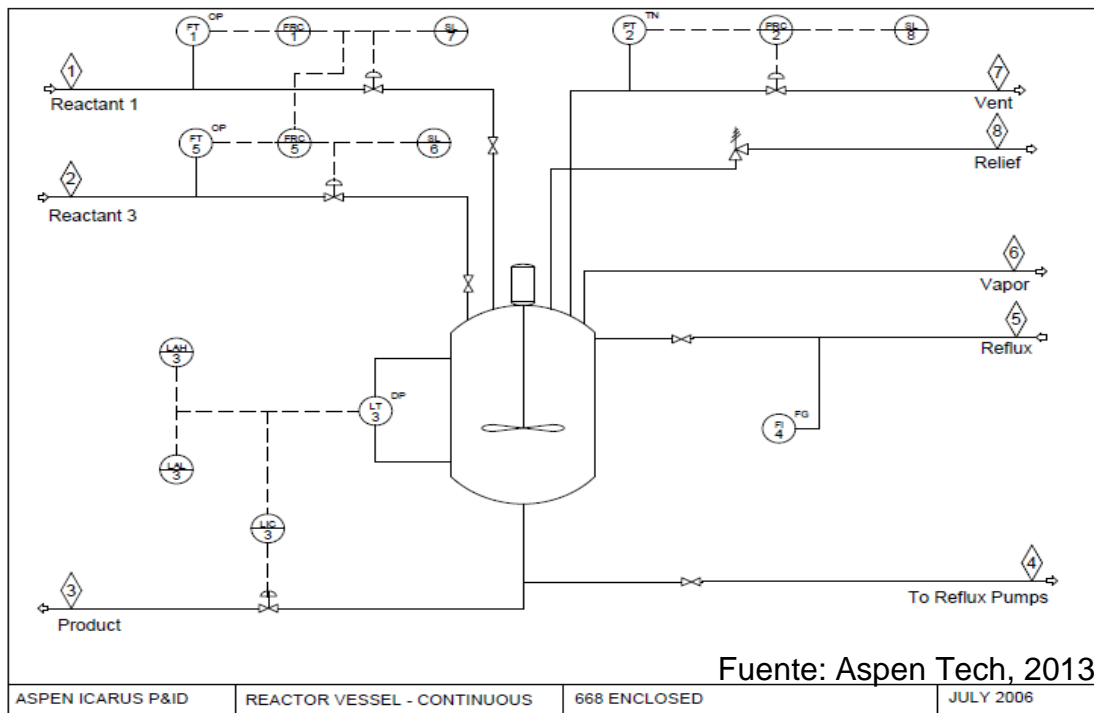


Figura 39. Ejemplo de DTI proporcionado por Aspen CCE

## Metodología

Los simuladores de costos de inversión son una gran herramienta si se cuenta con la información suficiente acerca del proyecto; sin embargo, éstos pueden llegar a ser complejos, caros y pueden requerir bastante tiempo para realizar estimados a nivel conceptual (Loh, 2002), además de que requieren información detallada y parámetros con los cuales generalmente aún no se cuenta en el momento de realizar el estimado.

El uso de factores de costo es un método ampliamente utilizado en la industria, dicho método resulta rápido y adecuado cuando se desea realizar un primer estimado de un proyecto (Loh, 2002).

En este trabajo se hicieron estimados de costo para equipos utilizados en sistemas de tratamiento de agua de primer uso en refinerías. Estos equipos se presentan en la tabla 16.



Tabla 16. Equipo de proceso estudiados en este trabajo

EQUIPO	CONDICIONES DE DISEÑO	INTERVALO DE CAPACIDADES O DIMENSIONES	TIPO	MC
Tanques de almacenamiento atmosféricos	20°C, 0.35 kpa	100-100,000 m <sup>3</sup>	Techo Cónico	A515, GLCS
			Techo Flotante	A515, GLCS
		1-100 m <sup>3</sup>	Techo Cónico	CS, SS316
			Plástico	FRP
Recipientes de proceso a presión	Pd: 689.5 kpa, Td: 65°C	1- 80 m <sup>3</sup>	Recipiente vertical	SS, CS
	Pd: 1034.21 kpa, Td: 120°C	D: 1.0-1.5 m	Recipiente agitado	SS, CS
Bombas	Eficiencia 75%., Td: 20 °C. Pd: 1034.21 kpa	50- 450 m <sup>3</sup> /h	Centrífuga ANSI	SS, CS, CI
		1,000- 10,000 m <sup>3</sup> /h	Centrífuga API 610	S5, S6, A8
	Td: 20 °C	10- 10,000 LPH	Diafragma	SS316
Filtros		A: 20- 55 m <sup>2</sup>	Placas	CS
Clarificadores	Td: 20 °C	D: 3-12 m	Puente Semi	CS, SS

Fuente: Elaboración propia



### 4.1 METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DE CURVAS Y FACTORES DE COSTOS DIRECTOS DE INVERSIÓN

1. Ingreso de datos de diseño de equipos de proceso al Simulador Aspen CCE, considerando diversas capacidades así como diferentes parámetros de construcción.
2. El simulador generó un estimado de costos de instalación de los equipos de proceso. A partir de dichos estimados se tomó el costo directo del equipo mayor, de los materiales auxiliares y de mano de obra.
3. El costo del equipo mayor se actualizó mediante los índices CEPCI (Chemical Engineering, 2015), ya que la base de datos de Aspen CCE está referida a datos para EUA del año 2013. Para cubrir los costos de flete e impuestos de importación se aplicó un factor de 8 % sobre el costo del equipo.
4. Con los costos base del equipo (estimado en el punto 3) se generaron curvas de costo-capacidad y se obtuvieron factores de costo por material de construcción del equipo.



#### 4. METODOLOGÍA

---

5. Los costos de los materiales auxiliares para la instalación del equipo principal se actualizaron de acuerdo a su origen/disponibilidad con los índices de costo CEPCI y a través de factores de regionalización para México. Los costos de los materiales auxiliares disponibles en México (tuberías de acero al carbón, concreto y acero para obra civil, aislamiento y pintura) se estimaron como un 15% (Compass, 2009) menores a los costos estimados por el simulador. Los demás materiales auxiliares se consideran como importados (instrumentación y aceros inoxidables) y sus costos se actualizaron a través de los correspondientes índices de costo CEPCI.
6. Con los costos de los materiales auxiliares estimados en el punto 5 se generaron curvas de costo (en función del costo base del equipo estimado en el punto 3).
7. El estimado de costo de mano obra está constituido por dos términos: el tiempo de instalación de los materiales auxiliares mediante una cuadrilla especializada (horas-hombre, HH) y los salarios correspondientes de cada plantilla. Debido a que en México se tiene una menor productividad que la reportada por el simulador se aplicó un factor de 1.7 (Compass, 2009). Los costos de salarios en México se tomaron de datos reportados en la literatura y de comparaciones estadísticas (INEGI, 2005), dichos salarios se actualizaron mediante índices de Salarios Mínimos (STPS, 2015), con lo cual



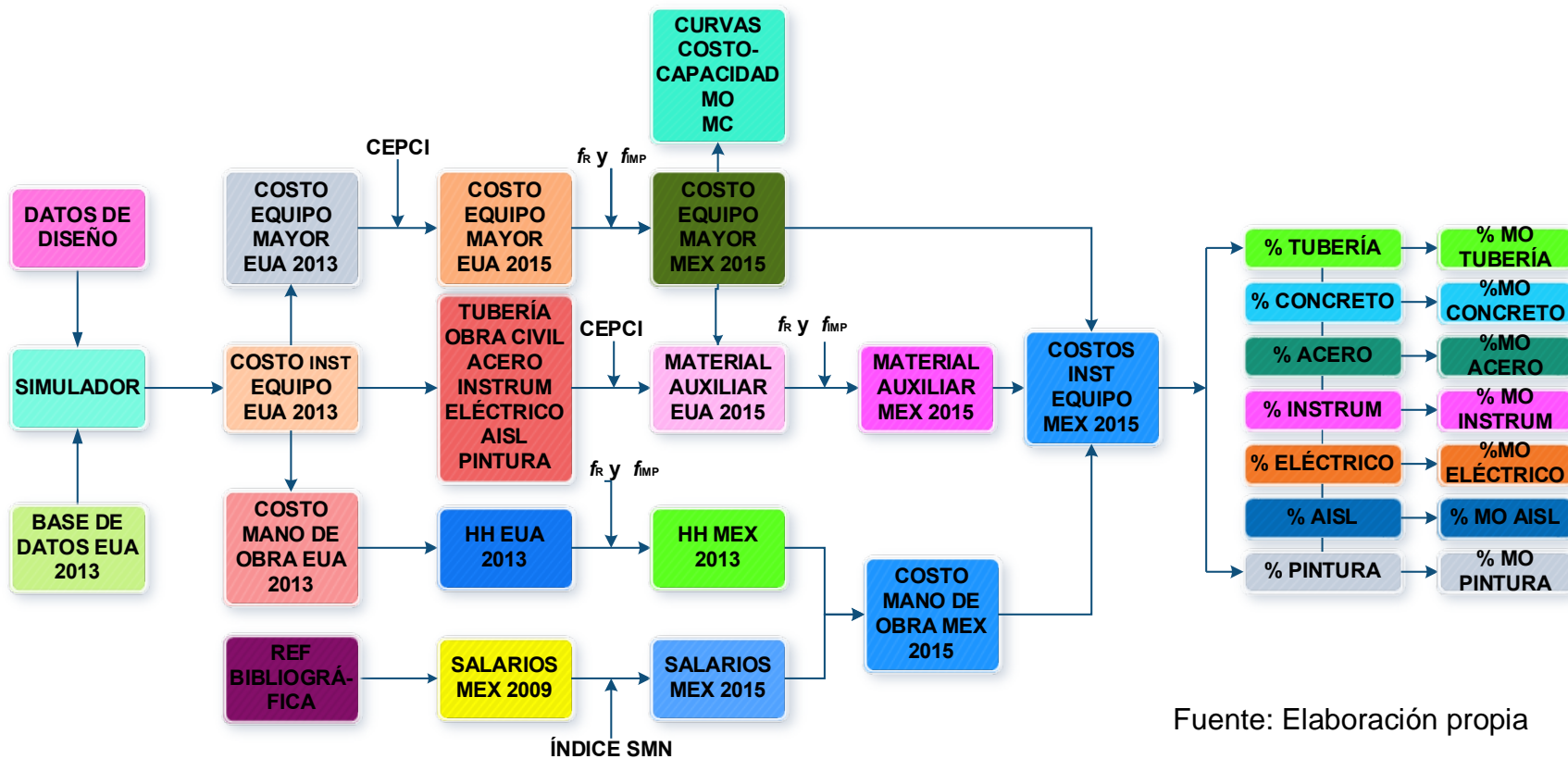
#### **4. METODOLOGÍA**

---

se obtuvo un promedio de 9 USD/h el costo de la mano de obra técnica en México para la industria de la construcción.

8. Con el costo de la mano de obra obtenida en el punto 7 se obtuvieron curvas de costo- capacidad de mano de obra para la instalación de cada material auxiliar.

En la figura 40 se presenta el diagrama de la metodología empleada en este trabajo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 40. Diagrama metodológico.



### 4.2 EJEMPLO DE ESTIMADO DE COSTOS

Para ilustrar la metodología empleada se presenta un ejemplo de estimado de costos directos para un tanque atmosférico de acero al carbón A515 de techo tipo cónico con una capacidad de 1000 m<sup>3</sup>. Esta misma metodología se empleó para la estimación de costos de los demás equipos de proceso mostrados en la tabla 16.

1. Ingreso al simulador datos de diseño del equipo, capacidad, material de construcción y otras características (figura 41).
2. Obtención del reporte de costos directos en hojas de cálculo en Excel (figura 42).
3. Obtención de los costos del equipo y materiales auxiliares para su instalación (tabla 17).
4. El costo del equipo y de materiales auxiliares para su instalación se actualizaron mediante los índices CEPCI del año 2013, año al cual corresponde la base de datos en Aspen CCE, a julio del 2015. En la tabla 18 se presentan los índices utilizados y en la tabla 19 los costos actualizados.



## 4. METODOLOGÍA

TANQUES DE ALMACENAMIENTO (BaseCase) - Aspen Capital Cost Estimator V8.4 (1st Qtr 2013 Pricing Basis) - aspenONE - [TAN...

File Run View Tools Window Help

All components

OK Cancel Apply Options Size Evaluate P&ID

TANQUE DE ALMACENAMIENTO - Flat bottom storage tank, optional roof

Name	Units	Item 1
Item Reference Number		1
Remarks 1		
Remarks 2		
Item description		TANQUE DE ALMACENAMIENTO
User tag number		
Structure tag		
Component WBS		
Quoted cost per item	USD	
Currency unit for matl cost		
Source of quote		
Number of identical items		1
Installation option		
Code of account		
Icarus/User COA option		
Shell material		
Liquid volume	M3	?
Vessel diameter	M	
Vessel height	M	
Roof type		FLAT
Bottom type		FLAT
Design gauge pressure	KPAG	0.35
Design temperature	DEG C	20
Operating temperature	DEG C	
Manhole diameter	MM	450
Number of manholes		1
Allowance for internals	PERCENT	0
Base material thickness	MM	
Corrosion allowance	MM	
Cladding material		
Cladding thickness	MM	
Fluid specific gravity		1
Diameter option		
Flame arrestor diameter	MM DIAM	
Conservation vent diameter	MM DIAM	

Ready

List TANQUE D...

Figura 41. Ingreso de datos al simulador Aspen CCE



## 4. METODOLOGÍA


 <b>Aspen ICARUS</b>					
Project Cost Summary					
<b>Project Title:</b>	PROJECT:				
<b>Project Name:</b>	TANQUES ALMACENAMIENTO			<b>Scenario Name:</b>	BaseCase
<b>Proj. Location:</b>	North America			<b>Job No:</b>	--
<b>Estimate Date:</b>	18OCT14 20:25:47			<b>Est. Class:</b>	
				<b>Prep. By:</b>	
				<b>Currency:</b>	
Account	MH	Wage Rate	Labor Cost	Matl Cost	Total Cost
(2) Equipment				156,700	156,700
(3) Piping	285	29.74	8,462	24,005	32,468
(4) Civil	486	23.47	11,405	8,228	19,633
(5) Steel	87	26.27	2,293	10,606	12,899
(6) Instruments	249	30.00	7,464	88,017	95,481
(7) Electrical	1,215	29.18	35,445	122,117	157,562
(8) Insulation	1,690	22.80	38,537	56,773	95,310
(9) Paint	556	22.98	12,780	4,034	16,813
<b>Total Direct Field Costs</b>	<b>4,568</b>		<b>116,386</b>	<b>470,480</b>	<b>586,866</b>
	(TDMH)		(TDL)	(TDM)	(TDC)

Figura 42. Resumen de costos directos estimados por Aspen CCE para un tanque de almacenamiento A515 1000 m<sup>3</sup>.

Tabla 17. Costos estimados por Aspen CCE para un tanque de almacenamiento de 1000m<sup>3</sup>

MATERIAL	COSTO (USD)
Equipo	156,700
Tubería	24,005
Obra Civil	8,228
Acero	10,606
Instrumentación	88,017
Eléctrico	122,117
Aislamiento	56,773
Pintura	4,034
<b>TDM</b>	<b>470,480</b>





#### 4. METODOLOGÍA

Tabla 18. Índices de costo CEPCI para la actualización de costos para un tanque de almacenamiento A515 1000 m<sup>3</sup>

INDICES CEPCI	2013 (I <sub>1</sub> )	JULIO 2015 (I <sub>2</sub> )	I <sub>2</sub> /I <sub>1</sub>
(2) Equipo	623.0	597.9	0.960
(3) Tubería	874.0	829.1	0.949
(4) Obra Civil	741.0	737.7	0.996
(5) Acero	741.0	737.7	0.996
(6) Instrumentación	412.2	394.7	0.958
(7) Eléctrico	513.4	512.5	0.998
(8) Aislamiento	741.0	737.7	0.996
(9) Pintura	741.0	737.7	0.996

Tabla 19. Costos actualizados (EUA) para un tanque de almacenamiento A515 1000 m<sup>3</sup>

MATERIAL	COSTO (USD)
(2) Equipo	150,387
(3) Tubería	22,772
(4) Obra Civil	8,192
(5) Acero	10,559
(6) Instrumentación	84,280
(7) Eléctrico	121,903
(8) Aislamiento	56,520
(9) Pintura	4,016
<b>(TDM)</b>	<b>458,628</b>



## 4. METODOLOGÍA

5. Una vez actualizados los costos se aplicaron factores de regionalización para traer los costos de EUA a México. Para considerar costos de flete e impuestos por importación del equipo se aplicó un factor de 8%. El costo de los materiales auxiliares se estimaron 15% más baratos en México respecto a los costos en EUA. Para materiales importados como el acero inoxidable e instrumentación se agregó un 15% por costos de importación. Los resultados se presentan en la tabla 20.

Tabla 20. Costos directos en México para un tanque de almacenamiento A515 1000 m<sup>3</sup>.

<b>MATERIAL</b>	<b>COSTO (USD)</b>
Equipo	162,418
Tubería	19,356
Obra Civil	6,963
Acero	8,975
Instrumentación	96,922
Eléctrico	103,618
Aislamiento	48,042
Pintura	3,413
<b>TDM</b>	<b>449,707</b>

6. Para estimar los costos de mano de obra se tomó como base los estimados de productividad HH realizados por Aspen CCE (figura 42) aplicando un factor de 1.7 (Compass, 2009) para ajustar el valor de la productividad en México respecto a EUA. Los valores obtenidos son los que se muestran en la tabla 21.



Tabla 21. Tiempo de instalación de los materiales auxiliares para un tanque de almacenamiento A515 1000 m<sup>3</sup> mediante una cuadrilla especializada (HH) en México.

<b>INSTALACIÓN DEL MATERIAL</b>	<b>HH</b>
Equipo	0
Tubería	484
Obra Civil	826
Acero	148
Instrumentación	423
Eléctrico	2,065
Aislamiento	2,874
Pintura	946

7. El costo de la mano de obra de construcción en México en el 2009 estaba entre 6.5 y 10 USD/h (Compass, 2009). En este estimado se tomó el valor de 10 USD/h. Considerando un 4% el incremento anual del salario mínimo en México (STPS, 2015) se obtiene un valor de 12.5 USD/h, es decir, 147.9 pesos en el año 2009. Con el tipo de cambio del dólar de EUA actualizado en el 2015 (16.5 pesos) se obtiene un valor de 9 USD/h el costo de la mano de obra en México para el año 2015.



## 4. METODOLOGÍA

El costo de instalación del equipo y materiales auxiliares se obtuvo multiplicando la productividad en México (HH) por el costo de la mano de obra. En la tabla 22 se presentan los costos de instalación

Tabla 22. Costo de instalación de equipo y materiales auxiliares en México para un tanque de almacenamiento A515 1000 m<sup>3</sup>

<b>INSTALACIÓN DEL MATERIAL</b>	<b>COSTO (USD)</b>
Equipo	0
Tubería	4,336
Obra Civil	7,406
Acero	1,330
Instrumentación	3,792
Eléctrico	18,509
Aislamiento	25,763
Pintura	8,477
<b>CTI</b>	<b>69,613</b>



## 4. METODOLOGÍA

8. Con los costos de equipo y materiales auxiliares para su instalación se generaron curvas de costo de equipo y factores de costo para materiales auxiliares y mano de obra. En este ejemplo se obtuvieron los siguientes factores (tabla 23).

Tabla 23. Factores de costo en México para un tanque de almacenamiento A515 1000 m<sup>3</sup>

	<b>MATERIAL AUXILIAR</b>	<b>MANO DE OBRA</b>
Equipo	100.0	0.0
Tubería	11.9	22.4
Obra Civil	4.3	106.4
Acero	5.5	14.8
Instrumentación	59.7	3.9
Eléctrico	63.8	17.9
Aislamiento	29.6	53.6
Pintura	2.1	248.3

La finalidad de emplear la metodología descrita es obtener factores como los que presentan en la tabla 23, con los cuales, para este ejemplo, se puede hacer un estimado rápido de los costos de inversión para un tanque atmosférico de acero al carbón A515 de 1000 m<sup>3</sup>.

Para los equipos de proceso objeto de este trabajo (tabla 16) también se obtuvieron los factores de costo como los presentados en la tabla 23 pero para diferentes capacidades, por lo que en lugar de presentar factores se obtuvieron curvas.



## 4. METODOLOGÍA

---

Para el ejemplo del tanque atmosférico de acero al carbón, el 100% corresponde al costo del equipo puesto en planta, el costo de la mano de obra se obtuvo de 0, ya que este tipo de tanques son fabricados en sitio y el costo de la mano de obra se incluye en el costo del equipo.

El costo de la tubería es 11.9 % del costo del equipo, mientras que el costo de instalación de la tubería es 22.4 % del costo de la tubería. De la misma manera se estima el costo de la obra civil, acero, instrumentación, eléctrico, aislamiento y pintura.

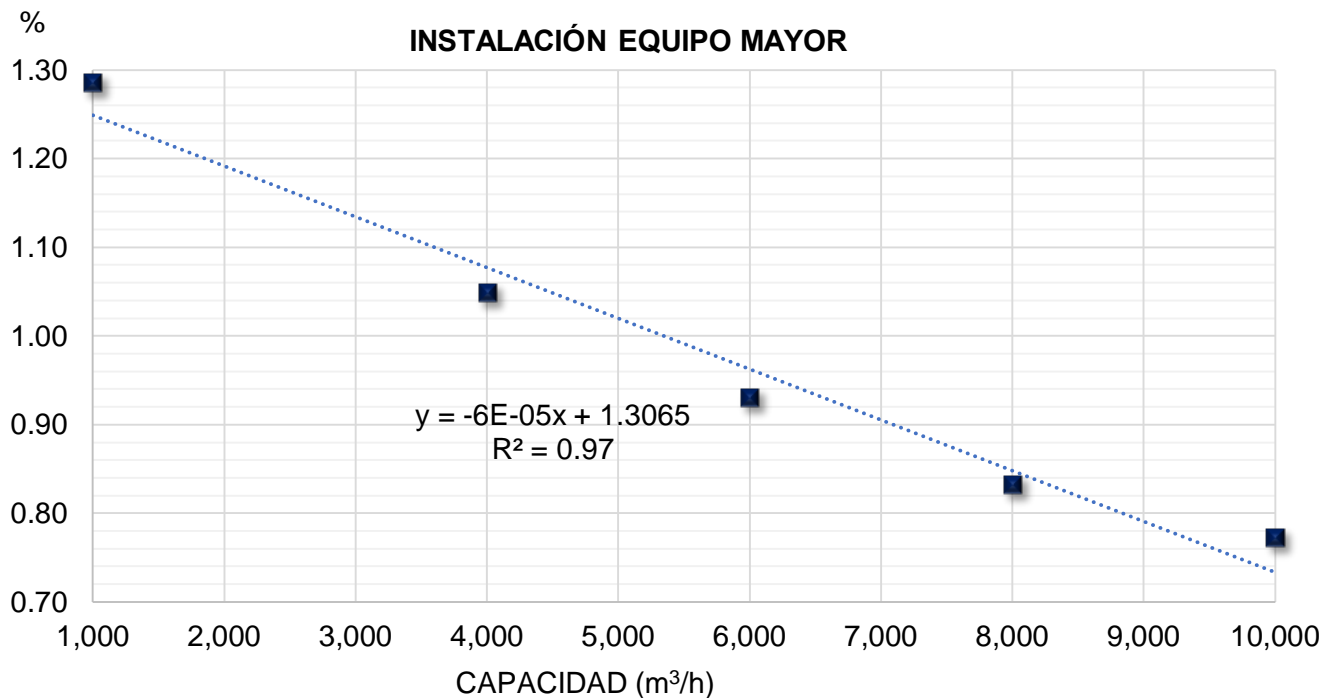
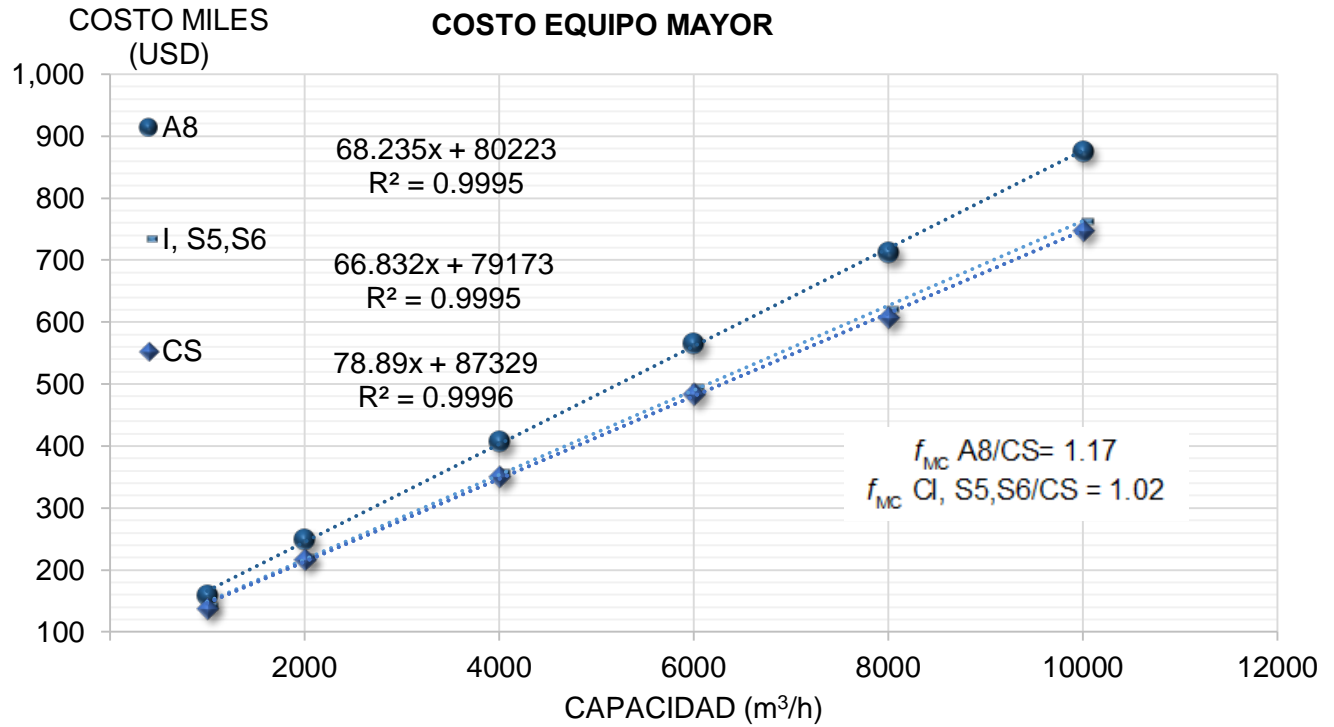
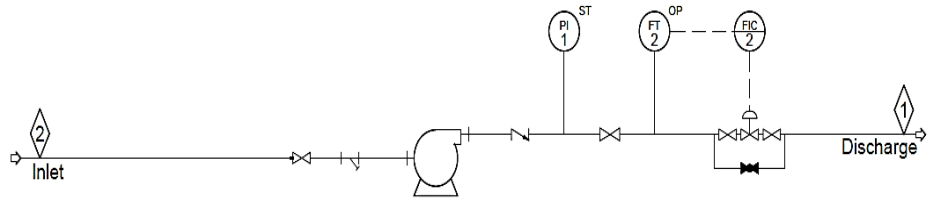
## Resultados

Como resultado de este trabajo se obtuvieron curvas de costo-capacidad para equipos utilizados en sistemas de tratamiento de agua de primer uso en refinerías; así mismo, se obtuvieron curvas de factores de costo de materiales auxiliares necesarios para la instalación del equipo y sus correspondientes curvas de factores de costo para la mano de obra.

A continuación se presenta como ejemplo el análisis de costo completo realizado para una bomba centrífuga API 610 de acero al carbón, donde se presentan las curvas de costo descritas anteriormente. El mismo análisis se hizo para los demás equipos, para los cuales, por fines prácticos sólo se presenta la curva de costo del equipo mayor. Las curvas de instalación del equipo, materiales auxiliares y mano de obra se resumen con su ecuación correspondiente en tablas.

# BOMBA CENTRÍFUGA API 610

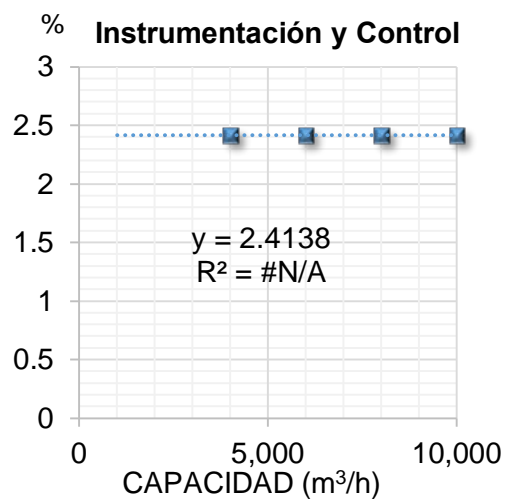
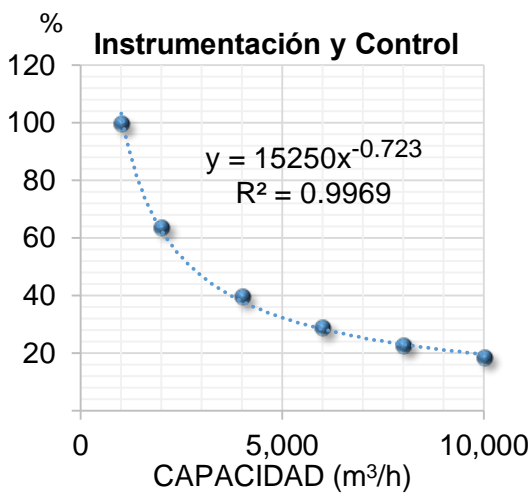
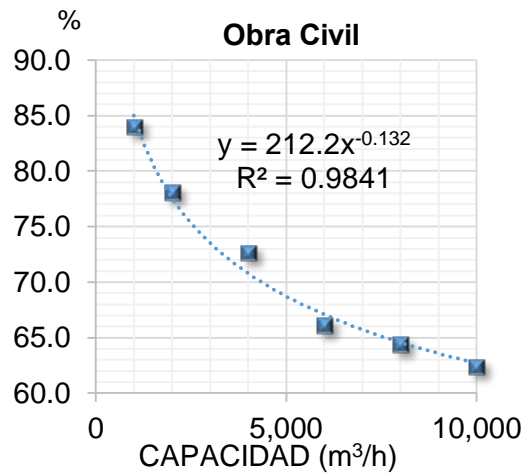
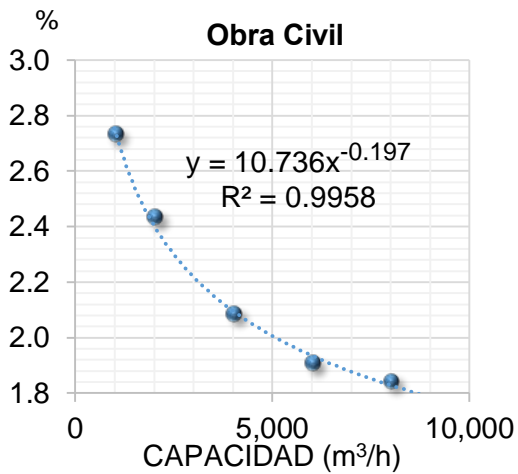
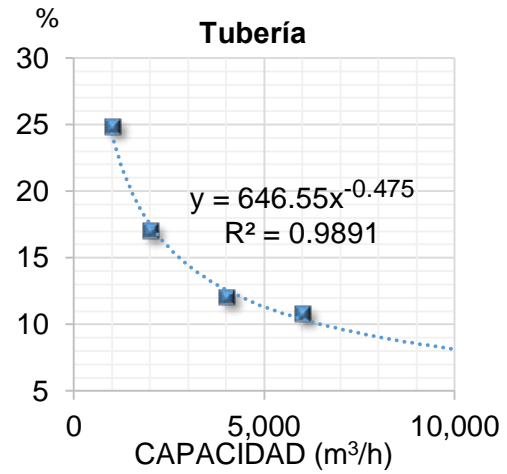
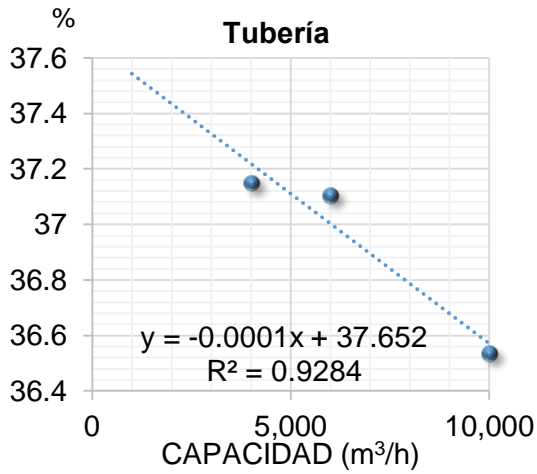
Q ( m <sup>3</sup> /h)	1,000-10,000
MC	CS, SS, CI
Pd ( Kpa)	1034.2
Td (°C)	48.88
Accionador	Motor
Sello	Simple



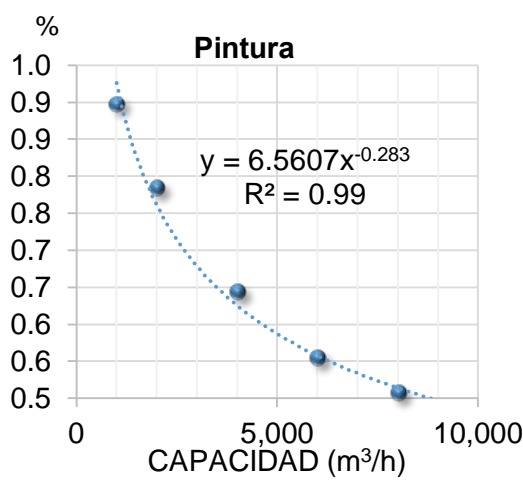
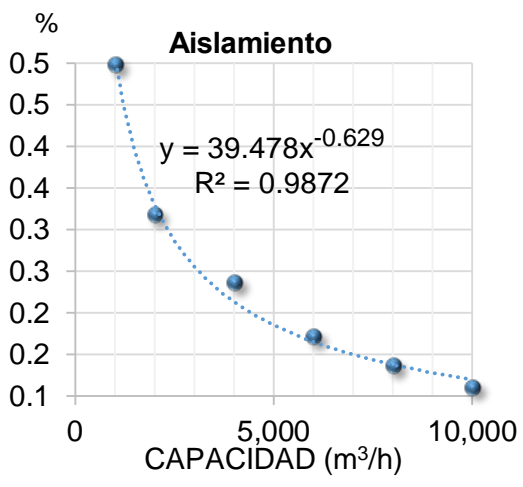
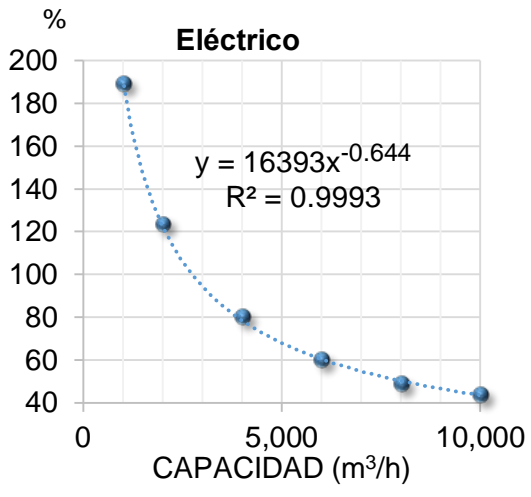


### COSTO MATERIAL AUXILIAR

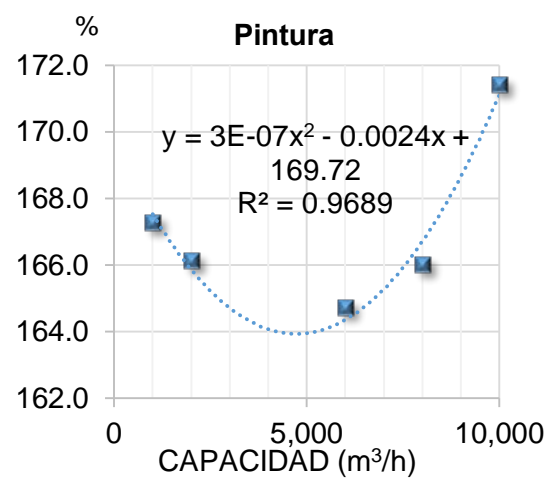
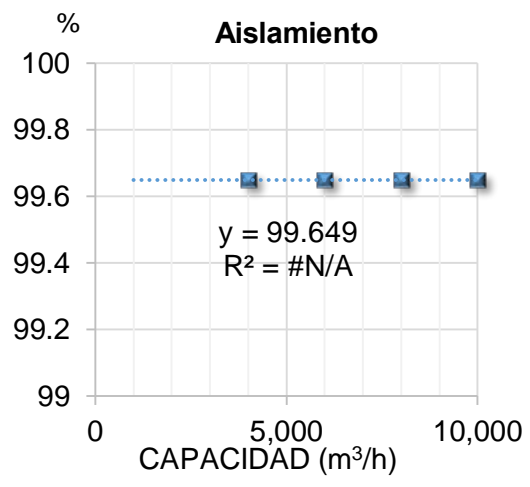
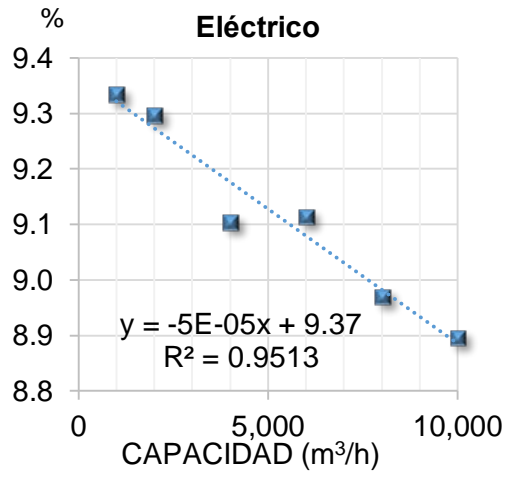
### COSTO MANO DE OBRA



### COSTO MATERIAL AUXILIAR

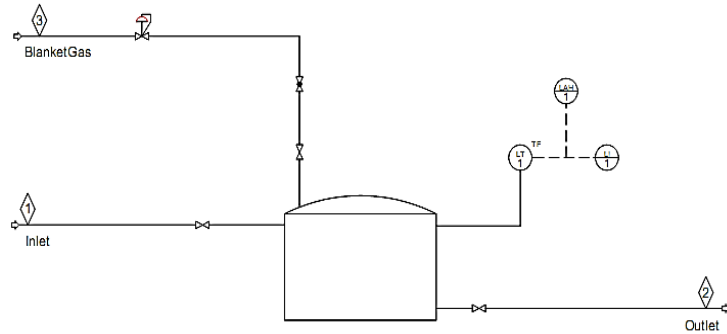


### COSTO MANO DE OBRA

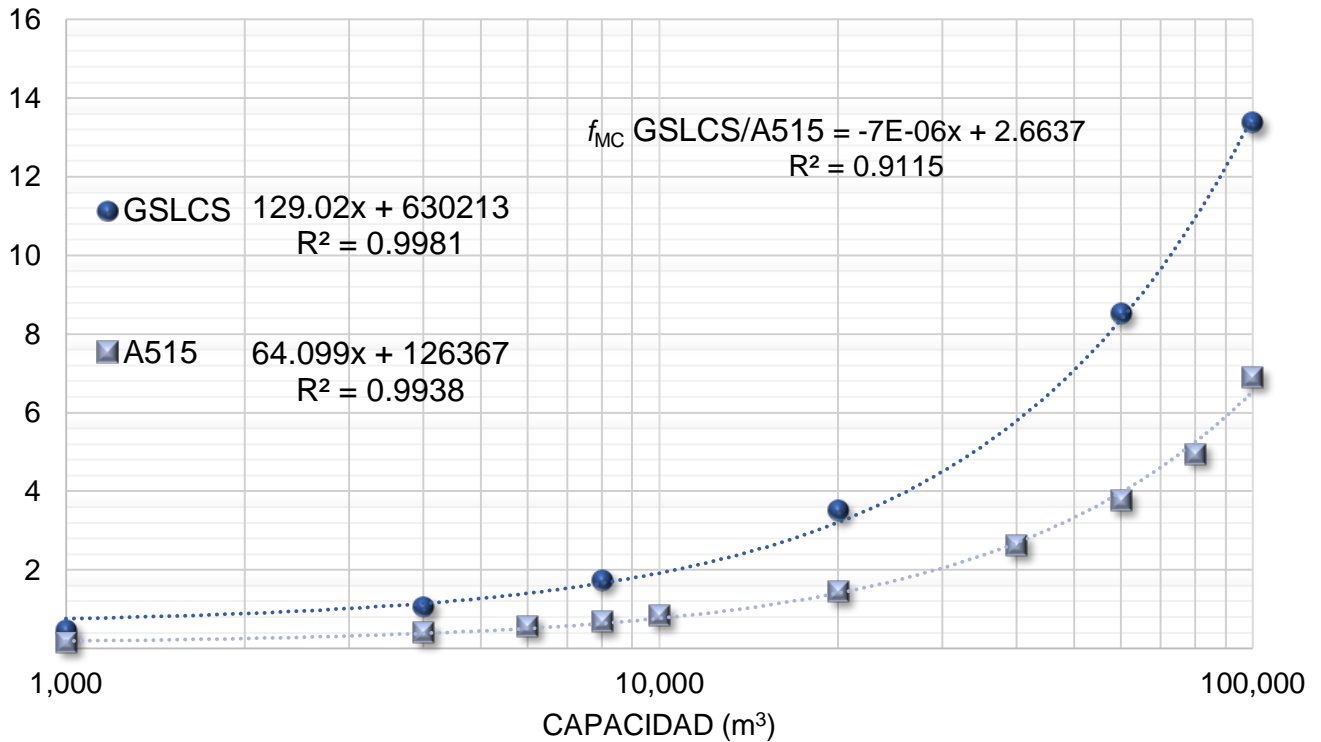


# TANQUE DE ALMACENAMIENTO TECHO TIPO CÓNICO

Q ( m<sup>3</sup>) 1,000-100,000  
 MC A515, GSLCS  
 Techo CÓNICO  
 Pd ( Kpa) 0.35  
 Td (°C) 20



COSTO MM (USD)

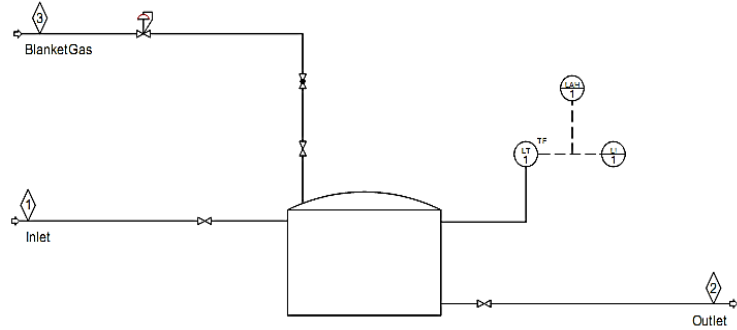


MC A515  $f_{MEX/USA} = 0.76$

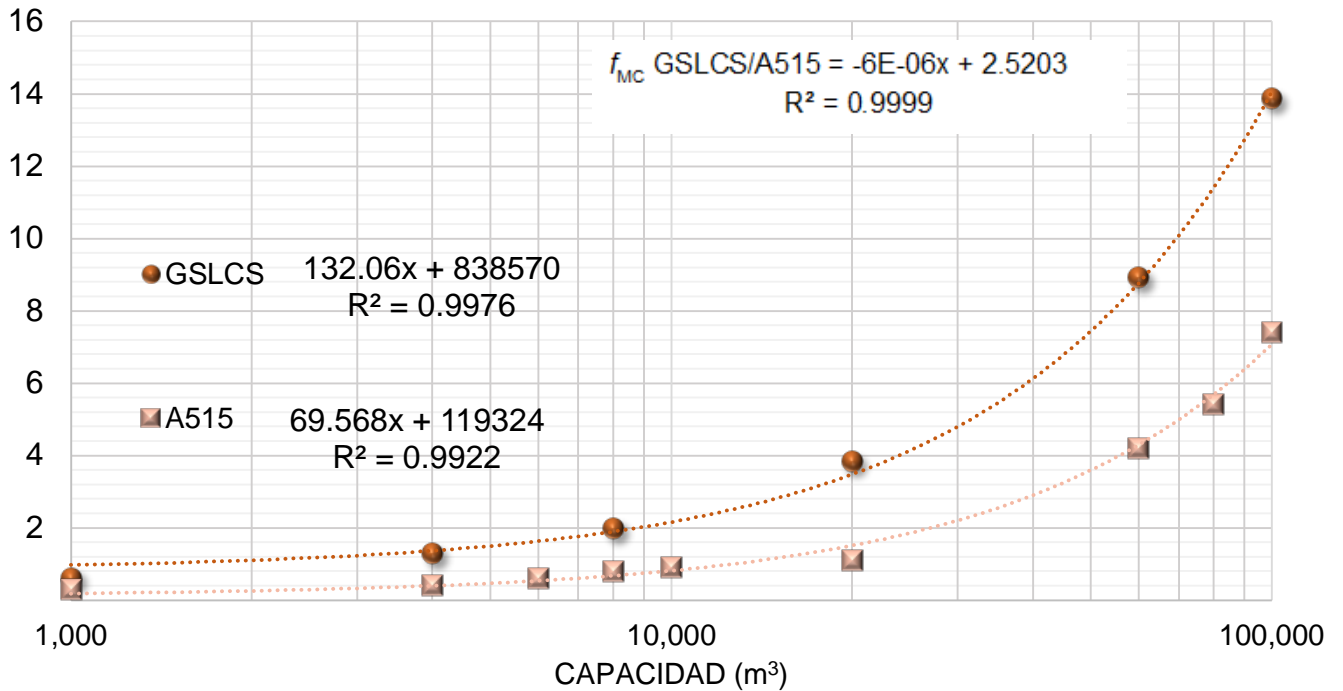
COSTO DIRECTO	MATERIAL	R <sup>2</sup>	MANO DE OBRA	R <sup>2</sup>
Equipo	100			
Tubería	$797.39x^{-0.58}$	0.9762	$7E-10x^2 - 0.0001x + 21.624$	0.93
Obra Civil	$23.64x^{-0.23}$	0.9629	$-5E-10x^2 + 0.0002x + 103.34$	0.9394
Acero	$900.23x^{-0.69}$	0.9796	14.76	
Instrumentación	$19401x^{-0.81}$	0.993	$-1E-10x^2 + 2E-05x + 3.9285$	0.9069
Eléctrico	$23673x^{-0.82}$	0.9885	17.90	
Aislamiento	$77.366x^{-0.12}$	0.9194	$0.9935\ln(x) + 47.019$	0.9709
Pintura	$6.9895x^{-0.16}$	0.9443	$y = 6E-09x^2 - 0.0011x + 240.61$	0.9407

# TANQUE DE ALMACENAMIENTO TECHO TIPO FLOTANTE

Q ( m<sup>3</sup>) 1000-100000  
 MC A515, GSLCS  
 Techo FLOTANTE  
 Pd (Kpa) 0.35  
 Td (°C) 20



COSTO MM (USD)

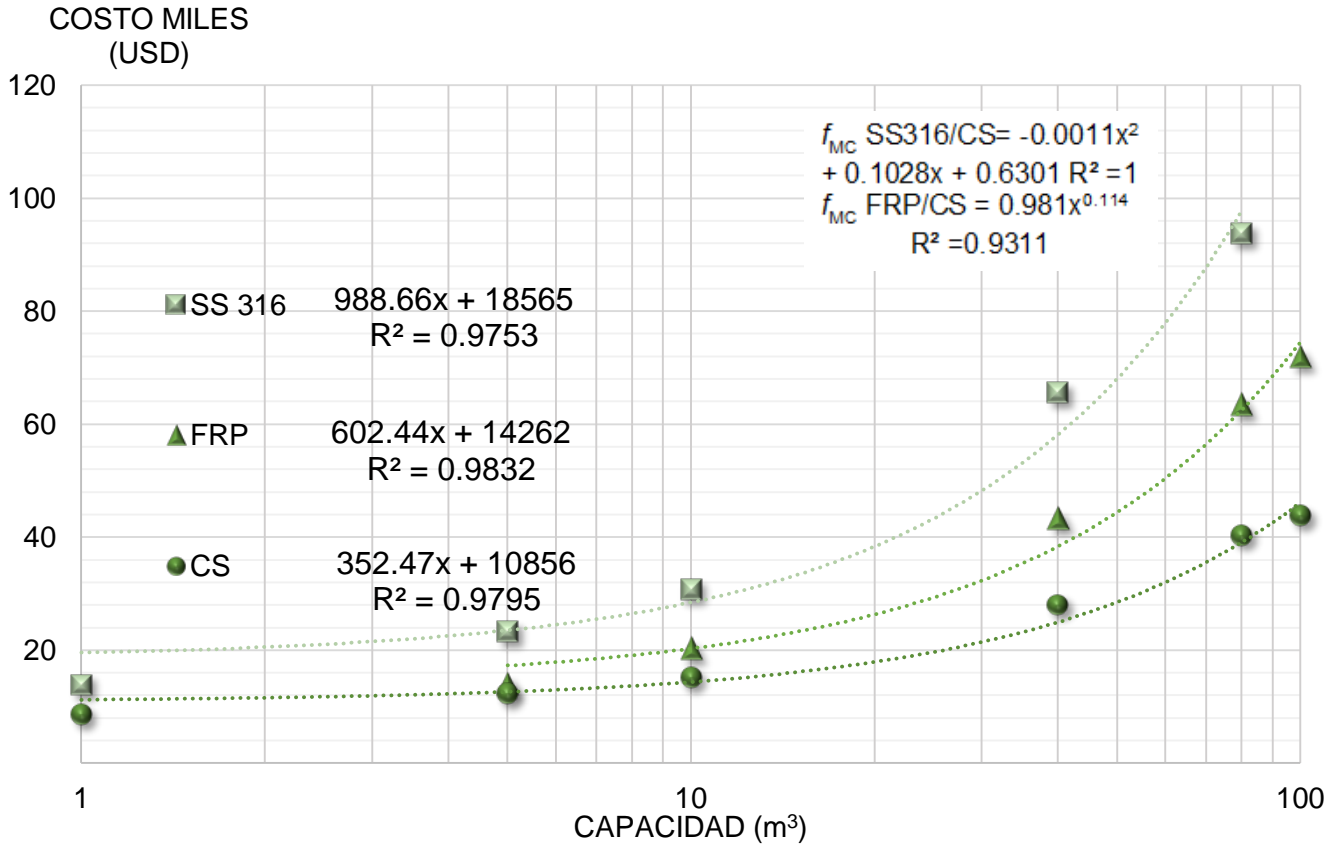
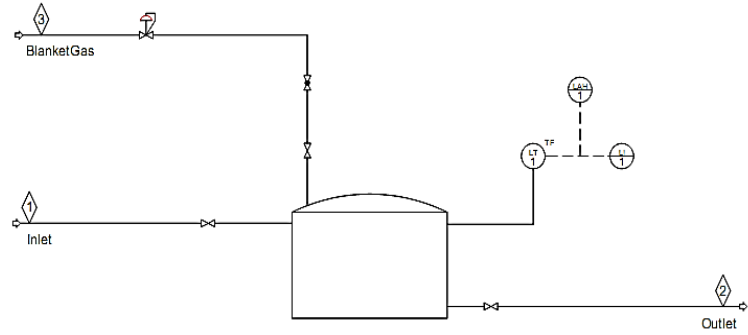


MC A515  $f_{MEX/USA} = 0.61$

COSTO DIRECTO	MATERIAL	R <sup>2</sup>	MANO DE OBRA	R <sup>2</sup>
Equipo	100			
Tubería	$220.04x - 0.467$	0.90	$111.81x^{-0.169}$	0.90
Obra Civil	$3E-11x^2 - 1E-05x + 2.3197$	0.96	$-3E-10x^2 + 0.0002x + 104.61$	0.95
Acero	$-9E-15x^3 + 2E-09x^2 - 0.0001x + 2.6447$	0.90	14.75	
Instrum.	$6139.7x^{0.699}$	0.92	$2.7604x^{0.047}$	0.96
Eléctrico	$6822.2x^{-0.704}$	0.91	17.89	
Aislamiento	$-2E-05x + 8.5562$	0.98	$63.741x^{0.0219}$	0.98
Pintura	$-3E-11x^2 - 8E-08x + 1.24$	0.95	$1256.1x^{-0.164}$	0.95

# TANQUE DE ALMACENAMIENTO BAJAS CAPACIDADES

Q ( m<sup>3</sup>) 1-100  
 MC CS,FRP,SS316  
 Techo CÓNICO  
 Pd ( Kpa) 0.35  
 Td (°C) 20

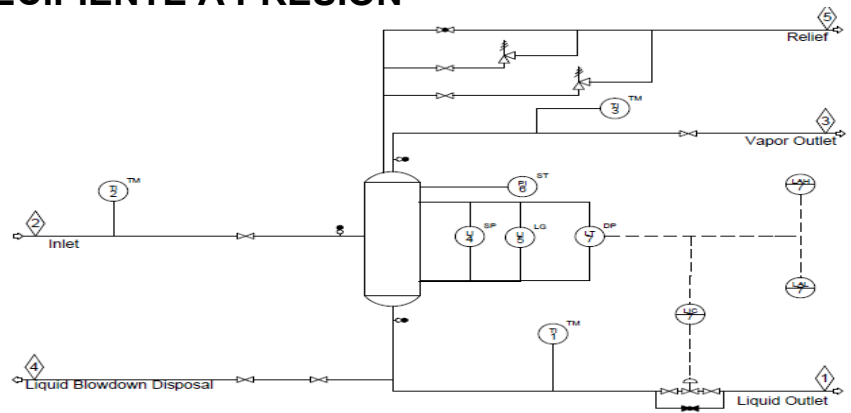


MC: CS  $f_{MEX/USA} = 0.56$

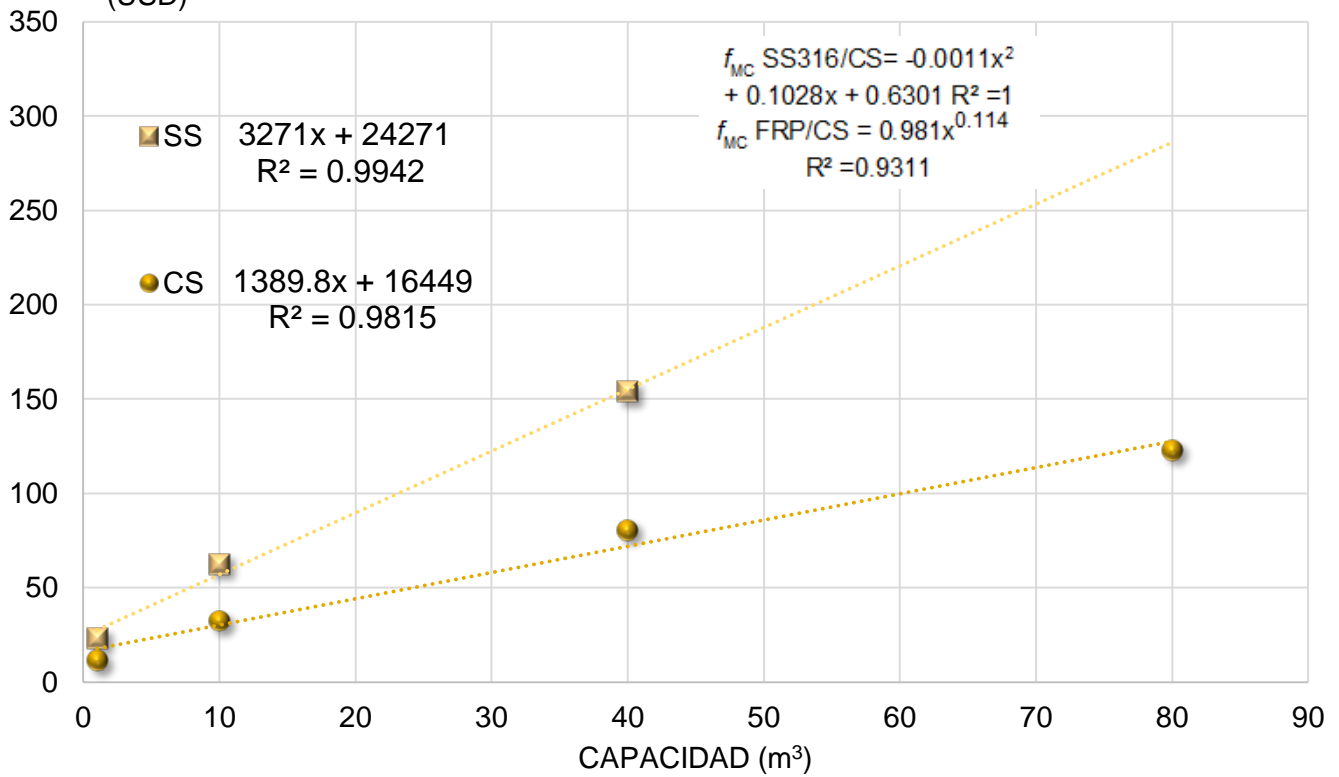
COSTO DIRECTO	MATERIAL	R <sup>2</sup>	MANO DE OBRA	R <sup>2</sup>
Equipo	100			
Tubería	$71.443x^{-0.154}$	0.94	$0.0018x^2 - 0.296x + 35.533$	0.92
Obra Civil	$0.0004x^2 - 0.0513x + 20.158$	0.97	$0.0062x^2 - 1.0179x + 117.6$	0.94
Acero	$-0.0002x^2 + 0.0078x + 4.0039$	0.97	15.41	
Instrum.	$1279.5x^{-0.366}$	0.97	3.74	
Eléctrico	$1353.6x^{-0.365}$	0.97	17.73	
Pintura	$3.2794x^{0.3128}$	0.97	$145.86x^{-0.029}$	0.98

## RECIPIENTE A PRESIÓN

Q ( m<sup>3</sup>)    1-80  
 MC            CS,SS  
 Techo        CÓNICO  
 Pd ( Kpa)    689.5  
 Td (°C)      65



COSTO MILES  
(USD)

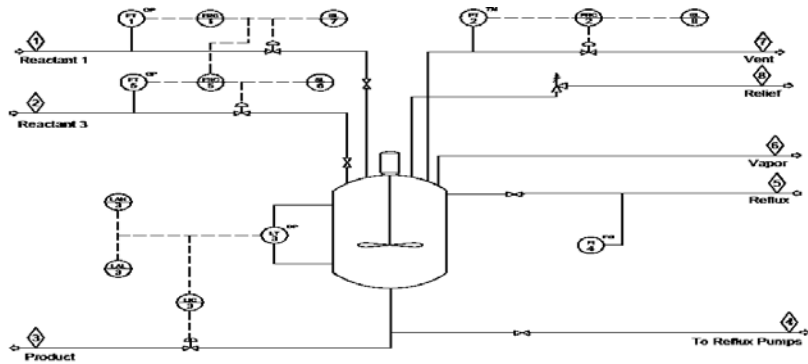


MC: CS     $f_{MEX/USA} = 0.58$

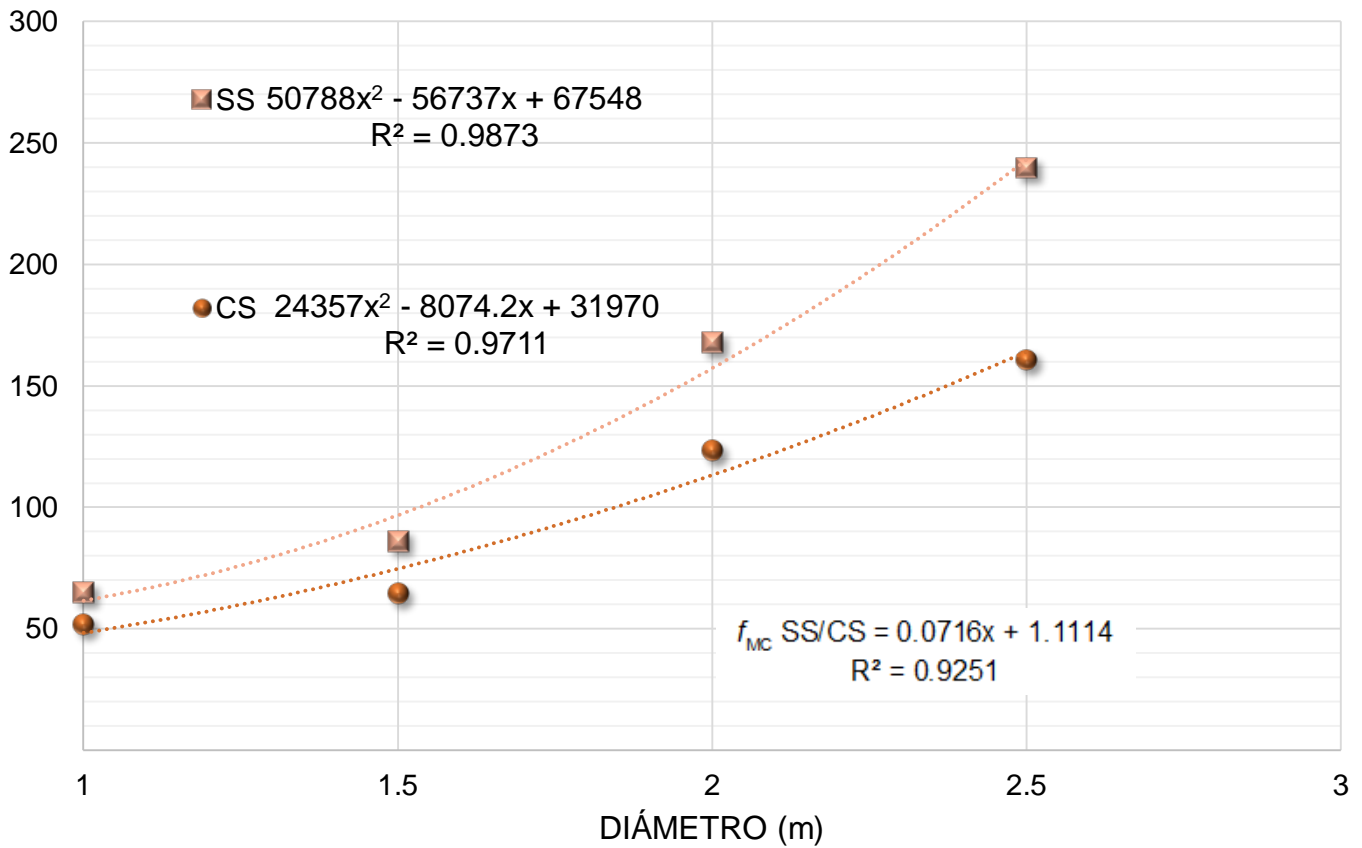
COSTO DIRECTO	MATERIAL	R <sup>2</sup>	MANO DE OBRA	R <sup>2</sup>
Equipo	100		$3.0809x^{-0.34}$	0.9388
Tubería	$0.0136x^2 - 1.5783x + 75.186$	1	$0.1582x + 36.301$	1
Obra Civil	$0.002x^2 - 0.2374x + 12.355$	0.9306	$0.0096x^2 - 1.257x + 119.09$	0.9516
Acero	$0.002x^2 - 0.2374x + 12.355$	0.9306	10.56	
Instrum.	$1323x^{-0.52}$	0.9909	$3.324x^{-0.019}$	0.9953
Eléctrico	$944.46x^{-0.537}$	0.9911	17.80	
Aislamiento	$13.705x^{-0.168}$	0.942	91.40	
Pintura	$0.0005x^2 - 0.0578x + 2.5238$	0.9707	$222.26x^{-0.059}$	0.8838

# RECIPIENTE AGITADO

D ( m )      1-2.5  
 MC            CS, SS  
 Pd ( Kpa)    1034.21  
 Td (°C)      120



COSTO MILES (USD)

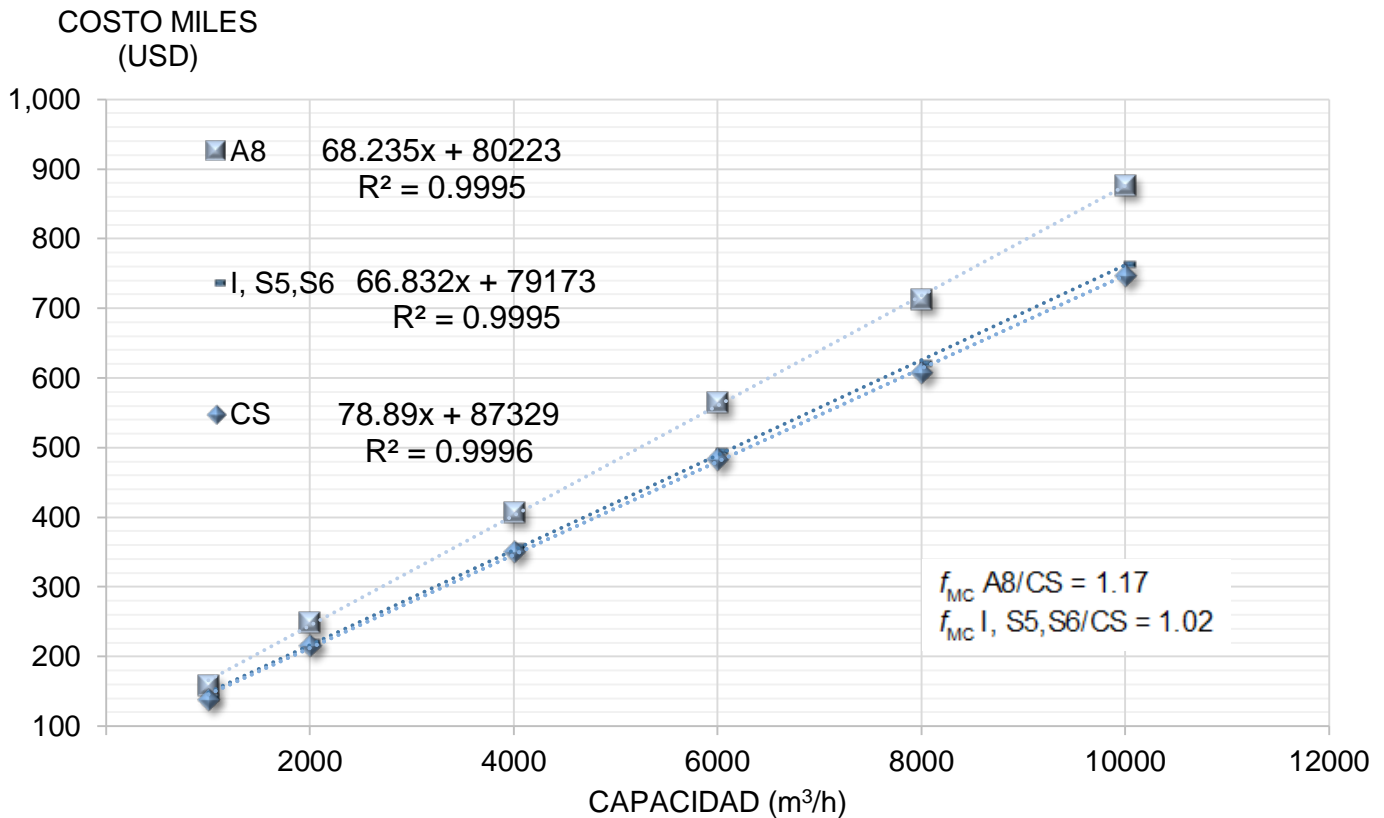
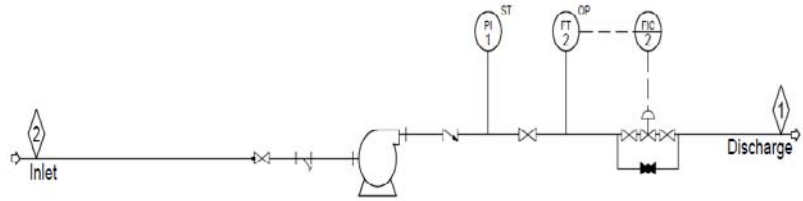


MC CS       $f_{MEX/USA} = 0.57$

COSTO DIRECTO	MATERIAL	R <sup>2</sup>	MANO DE OBRA	R <sup>2</sup>
Equipo	100		-0.3568x + 1.093	0.95
Tubería	47.536x <sup>2</sup> - 221.48x + 285.37	1	-12.232x <sup>2</sup> + 40.333x + 25.686	1
Obra Civil	3.1001x <sup>2</sup> - 13.713x + 17.447	1	6.8363x <sup>2</sup> - 38.771x + 148.55	0.91
Instrumentación	342.67x <sup>2</sup> - 1641.6x + 2160.9	1	-0.8915x <sup>2</sup> + 2.8x + 13.212	1
Eléctrico	22.967x <sup>2</sup> - 179.47x + 370.56	0.9	17.75	
Aislamiento	13.934x <sup>2</sup> - 66.172x + 87.927	1	75.58	
Pintura	1.046x <sup>2</sup> - 5.1071x + 7.1096	1	14.375x <sup>2</sup> - 72.751x + 299.73	1

## BOMBA CENTRÍFUGA API 610

Q ( m<sup>3</sup>/h)    1000-10000  
 MC            CS, S5, S6, I, A8  
 Pd ( Kpa)     1034.2  
 Td (°C)       48.88  
 Accionador    Motor  
 Sello          Simple



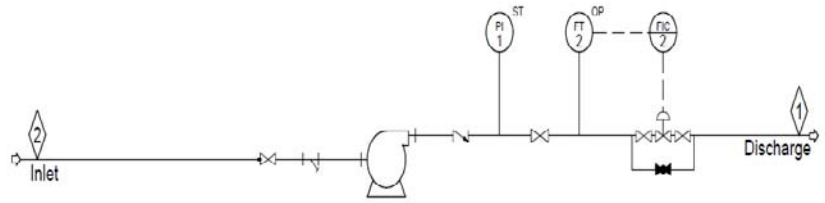
MC CS  $f_{MEX/USA} = 0.70$

COSTO DIRECTO	MATERIAL	R <sup>2</sup>	MANO DE OBRA	R <sup>2</sup>
Equipo	100		$-6E-05x + 1.3065$	0.97
Tubería	$-0.0001x + 37.652$	0.9284	$646.55x^{-0.475}$	0.9891
Obra Civil	$10.736x^{-0.197}$	0.9958	$212.2x^{-0.132}$	0.9841
Instrumentación	$15250x^{-0.723}$	0.9969	2.41	
Eléctrico	$16393x^{-0.644}$	0.9993	$-5E-05x + 9.37$	0.9513
Aislamiento	$39.478x^{-0.629}$	0.9872	99.64	
Pintura	$6.5607x^{-0.283}$	0.99	$3E-07x^2 - 0.0024x + 169.72$	0.9689

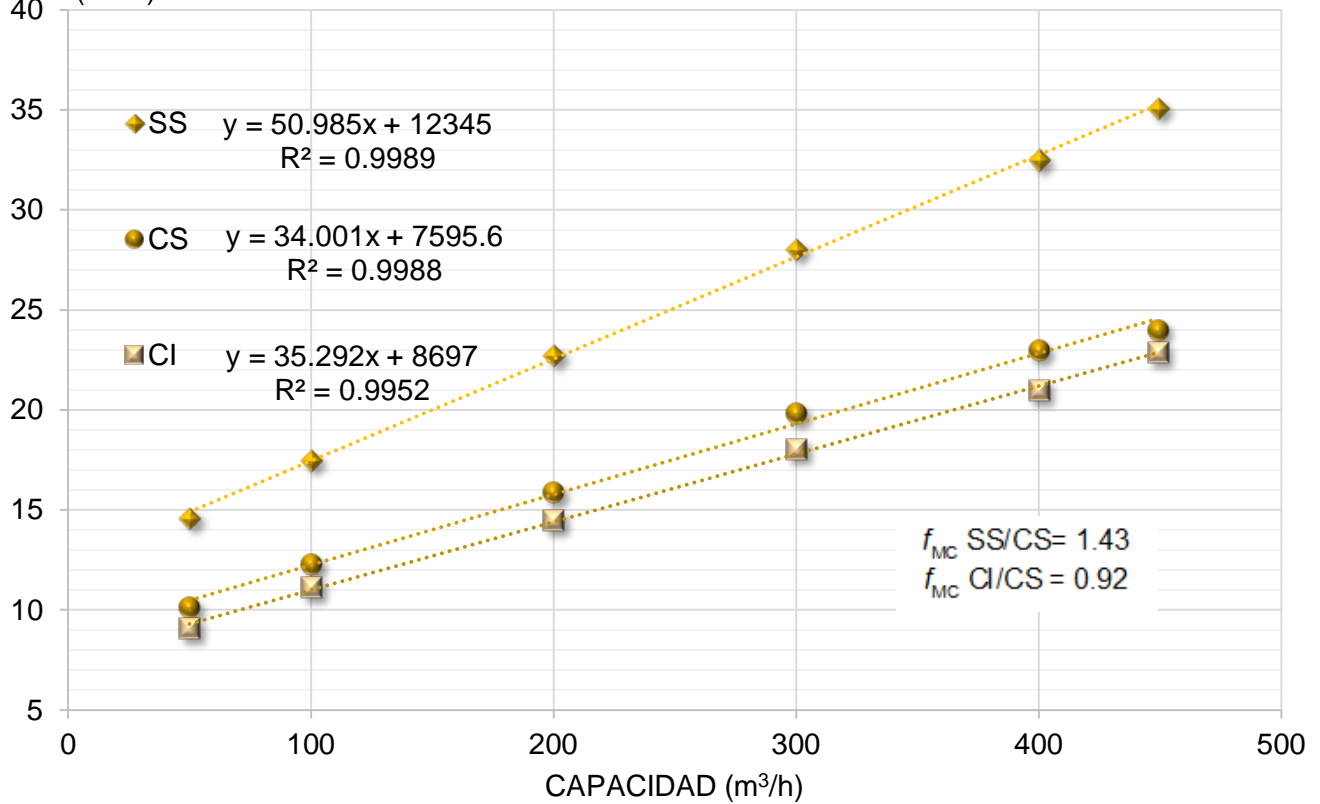


## BOMBA CENTRÍFUGA ANSI

Q ( m<sup>3</sup>/h)    50-450  
 MC            CS, SS, CI  
 Pd ( Kpa)     1034.2  
 Td (°C)       48.88  
 Accionador    Motor  
 Sello          Simple



COSTO MILES  
(USD)

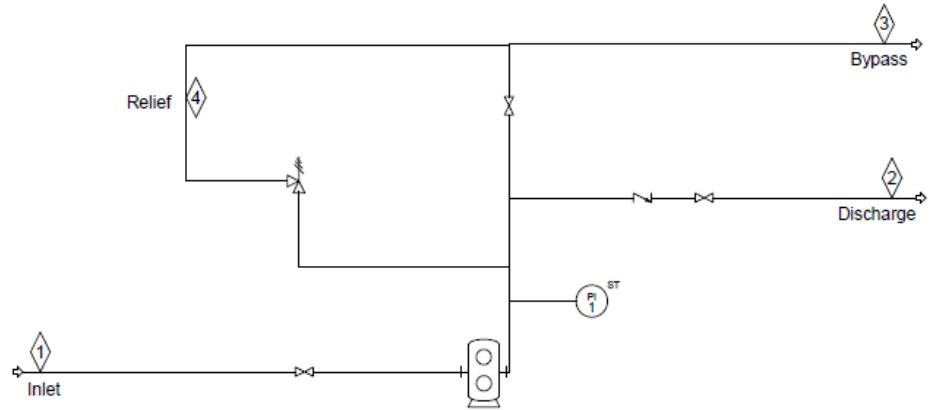


MC CS  $f_{MEX/USA} = 0.53$

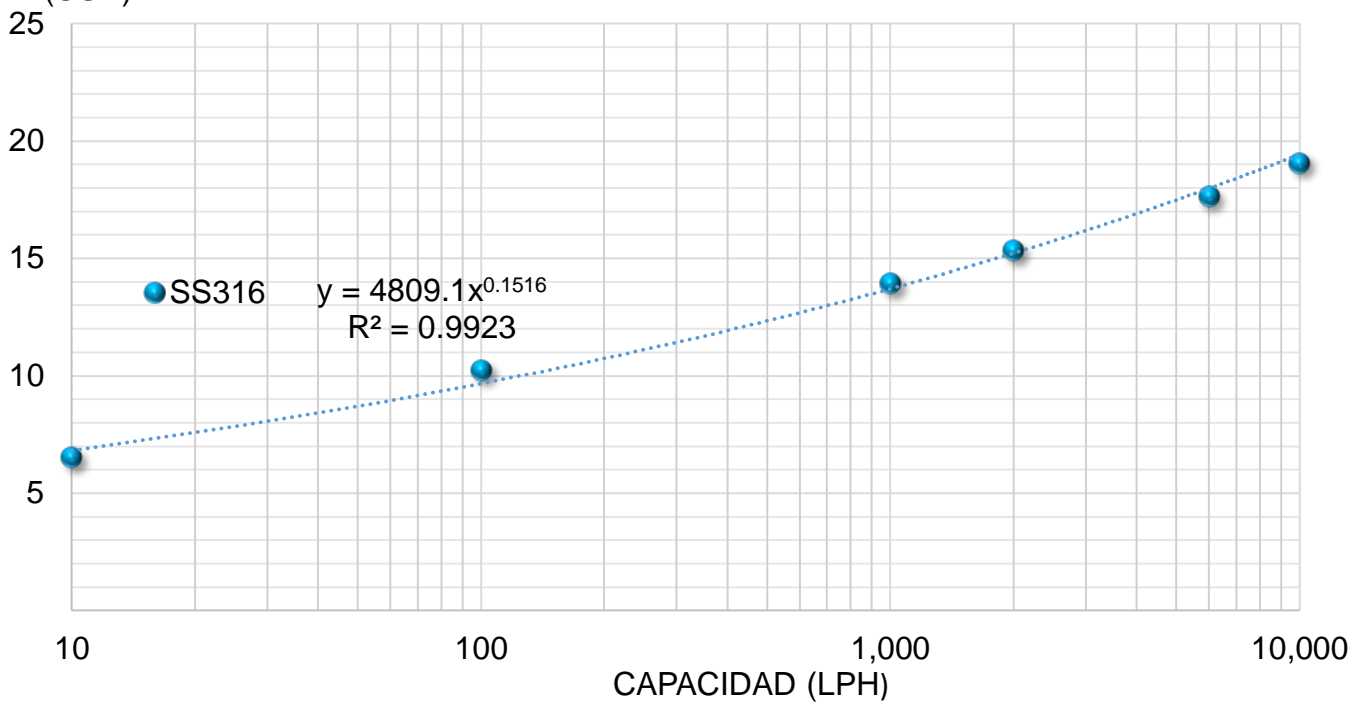
COSTO DIRECTO	MATERIAL	R <sup>2</sup>	MANO DE OBRA	R <sup>2</sup>
Equipo	100		$-6E-06x^2 + 0.0014x + 3.9515$	0.99
Tubería	$0.0557x + 64.592$	0.97	$1E-04x^2 - 0.0839x + 37.768$	0.97
Obra Civil	$-0.0046x + 6.708$	0.93	$-0.1338x + 221.58$	0.94
Instrumentación	$4793.4x^{-0.404}$	0.98	4.25	
Eléctrico	$0.0038x^2 - 3.3563x + 1191.5$	0.99	17.65	
Pintura	$-1E-05x^2 + 0.0031x + 3.1856$	0.98	$8E-05x^2 - 0.0543x + 168.48$	0.96

## BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO: DIAFRAGMA

Q ( LPH)    10-10000  
 MC            SS316  
 Diafragma    Teflón  
 Td (°C)      20  
 Sello         Simple



COSTO MILES  
(USD)

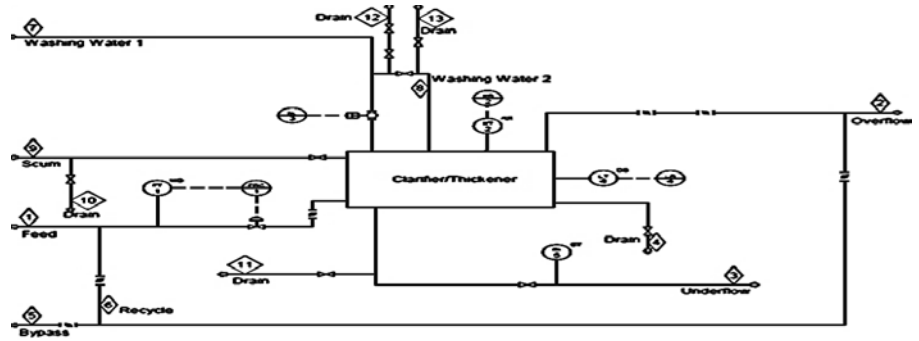


MC SS316     $f_{MEX/USA} = 0.52$

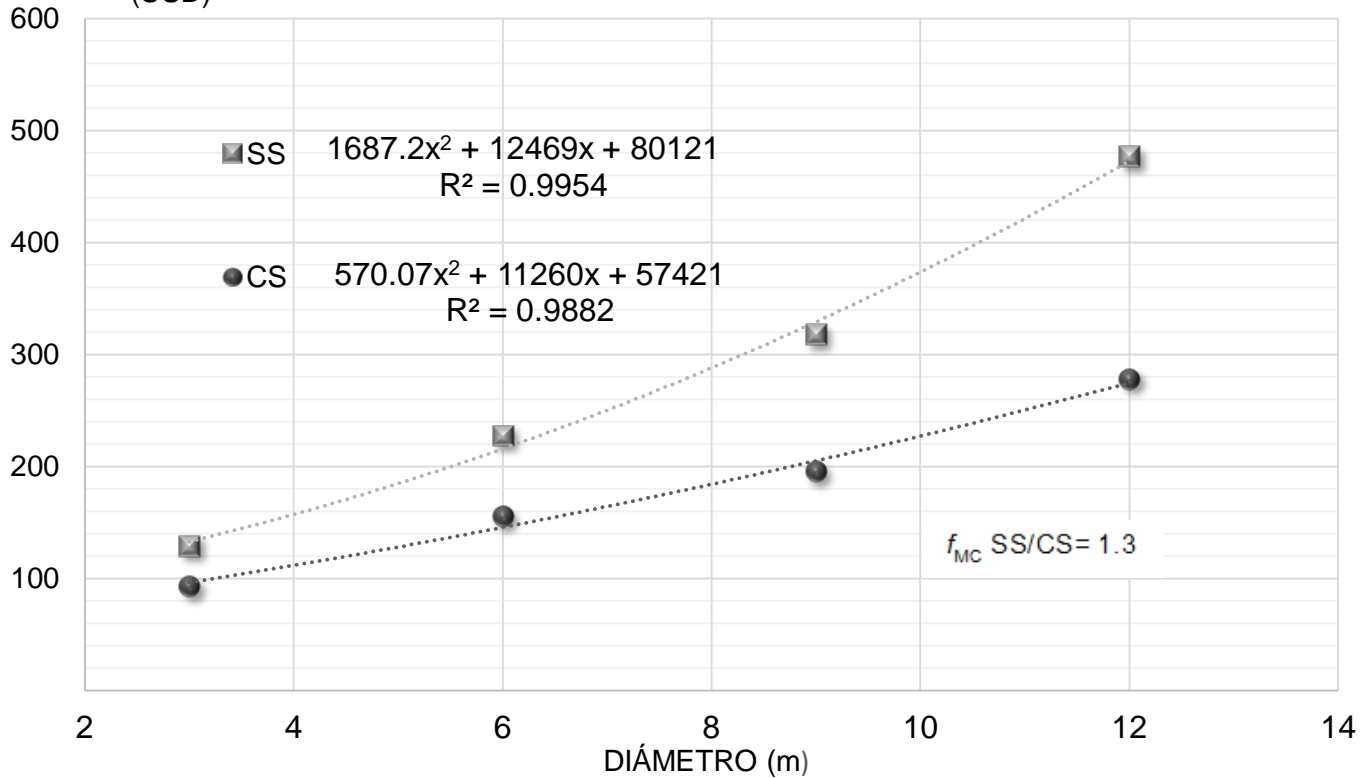
COSTO DIRECTO	MATERIAL	R <sup>2</sup>	MANO DE OBRA	R <sup>2</sup>
Equipo	100		$3.169x^{-0.152}$	0.9923
Tubería	$-0.0029x + 26.057$	0.9696	$-0.0073x + 120.31$	0.9158
Obra Civil	$13.349x^{-0.15}$	0.9913	170.0	
Instrumentación	$1926.1x^{-0.152}$	0.9923	2.30	
Eléctrico	$2094.8x^{-0.144}$	0.9893	17.48	

# CLARIFICADOR

D( m) 3-12  
 MC CS,SS  
 Td (°C) 20  
 Puente Semi



COSTO MILES  
 (USD)



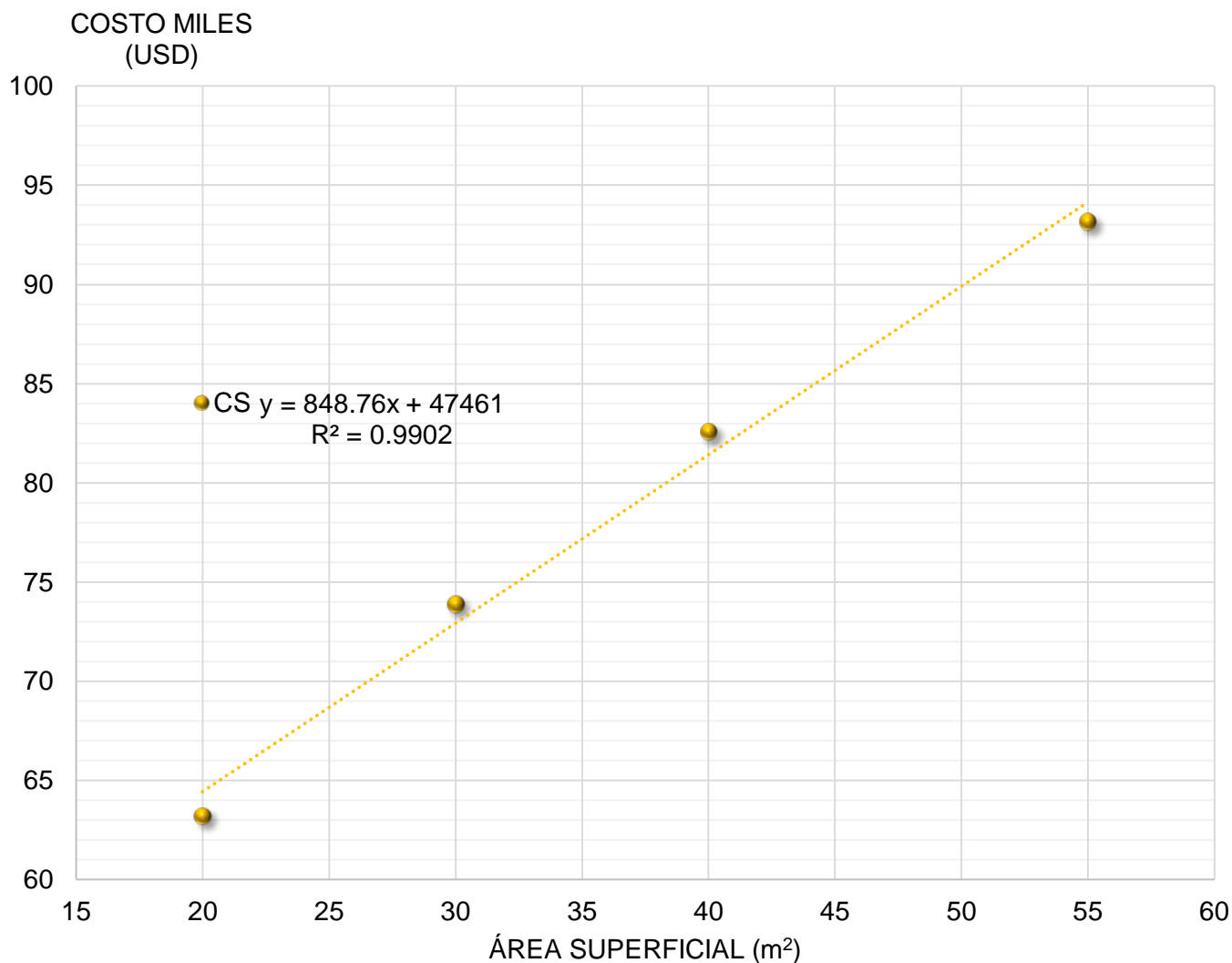
MC CS  $f_{MEX/USA} = 0.63$

COSTO DIRECTO	MATERIAL	R <sup>2</sup>	MANO DE OBRA	R <sup>2</sup>
Equipo	100			
Tubería	$-2.6986x + 43.285$	0.9139	26.71	
Obra Civil	$1.7997x + 0.328$	0.9865	$103.79x^{-0.186}$	0.9304
Instrumentación	$-11.941x + 191.53$	0.9139	3.46	
Eléctrico	$-8.1423x + 131.19$	0.9125	17.72	
Pintura	$0.0131x^2 - 0.3064x + 2.6816$	0.9702	$-1.836x + 164.69$	0.9666

## FILTRO DE PLACAS

A (m<sup>2</sup>)      20-55

MC              CS



MC CS     $f_{MEX/USA} = 0.58$

COSTO DIRECTO	MATERIAL	R <sup>2</sup>	MANO DE OBRA	R <sup>2</sup>
Equipo	100		$0.003x + 1.1389$	0.9844
Tubería	$-0.024x + 9.47$	0.9677	$0.0014x^2 - 0.142x + 26.813$	0.949
Obra Civil	2.75		$-0.3802x + 123.01$	0.9909
Instrumentación	$-0.9524x + 126.03$	0.9533	$0.0041x + 2.4028$	0.9845
Eléctrico	$-1.4489x + 185.64$	0.9531	17.57	
Pintura	$0.0018x + 0.0368$	0.9957	377.24	



## 5. RESULTADOS

---

El comportamiento que se presenta en la mayoría de las curvas de los equipos es un incremento lineal en el costo al aumentar la capacidad del equipo. El porcentaje de costo de instalación del equipo es decreciente al aumentar la capacidad del mismo, ya que al incrementarse el costo de compra del equipo debido a la capacidad, su costo de instalación se incrementa en menor proporción.

El porcentaje de costo de los materiales auxiliares para la instalación del equipo también es decreciente, ya que al igual que el costo de instalación, el costo de los materiales auxiliares no se incrementa con la misma proporción que el costo de los equipos.

El porcentaje de costo de mano de obra para la instalación de los materiales auxiliares disminuye muy poco o se mantiene constante para diferentes capacidades del equipo principal. Es decir, al aumentar la capacidad del equipo, los costos de los materiales auxiliares se incrementan en mayor proporción que los costos de mano de obra de los mismos, aunque en algunos casos los costos de material auxiliar y mano de obra crecen en la misma proporción.



## 5. RESULTADOS

Si se hace un promedio de los factores de costo de material auxiliar y mano de obra de los equipos anteriores, se obtienen factores de costo para un sistema de pre tratamiento de agua de calidad para alimentación a calderas. Estos factores se presentan en la tabla 24

Tabla 24. Factores de costo para sistemas de tratamiento de agua de calidad para alimentación a calderas.

	<b>MATERIAL AUXILIAR</b>	<b>MANO DE OBRA</b>
Equipo	100	3
Tubería	38	31
Obra Civil	9	97
Acero	5	21
Instrumentación	53	11
Eléctrico	42	27
Aislamiento	11	99
Pintura	4	181
Factor de regionalización $f_{\text{MEX/USA}} = 0.60$		

Fuente: Elaboración propia

Los factores de la tabla 24 son comparables con los reportados por Peters y Timmerhaus (Peters y Timmerhaus, 2003); sin embargo, los factores de Peters y Timmerhaus incluyen el costo del material auxiliar y mano de obra en un mismo factor.

Los factores de Hand y Wroth también sirven de referencia, dichos autores presentan únicamente el costo de instalación para diferentes equipos.



## 5. RESULTADOS

Los factores reportados por H.P. Loh ( Loh, 2002) del Centro Nacional de Energía de Estados Unidos se desglosan en factores de costo de material auxiliar y mano de obra, como se presenta en la tabla 25.

Tabla 25. Factores de Loh para procesos sólido- líquido.

	MATERIAL AUXILIAR	MANO DE OBRA
Equipo		
Tubería	30	50
Obra Civil	3	100
Acero	4	50
Instrumentación	6	40
Eléctrico	8	75
Aislamiento	1	150
Pintura	0.5	300

Fuente: Loh, 2002

Los factores de Loh son comparables con los obtenidos en este trabajo ( tabla 24), a pesar de que los primeros se publicaron para costos en Estados Unidos en el año 2002. Lo más importante a resaltar entre los factores de Loh y los factores obtenidos en este trabajo para México es la diferencia en el costo de la mano de obra, ya que para México estos factores son menores. También destaca el aumento de la instrumentación y equipo eléctrico en los equipos actuales y el hecho de que en México estos materiales se importan.

## **Caso de aplicación: Sistemas de desmineralización de agua**

Para la producción de agua desmineralizada para alimentación a calderas la mayoría de los proveedores proponen una combinación de equipos de desmineralización, mediante unidades de intercambio iónico, ósmosis inversa y electrodesionización. La selección de equipos y trenes de tratamiento adecuados está en función de la calidad del agua a tratar así como de la calidad requerida del agua producto.





## 6. CASO DE APLICACIÓN

---

Como ejemplo de aplicación de la herramienta generada en este trabajo se hicieron estimados de costos directos para tres diseños de tecnologías para la desmineralización de agua de primer uso en refinerías: intercambio iónico, ósmosis inversa y electrodesionización, con una capacidad de 600 m<sup>3</sup>/h. Los diseños se describen a continuación.

**Diseño 1:** Sistema de intercambio iónico

**Diseño 2:** Sistema de ósmosis inversa con una unidad pulidora de intercambio iónico.

**Diseño 3:** Sistema de doble paso de ósmosis inversa con electrodesionización.

El arreglo 1 es para tratar agua con un contenido de sólidos disueltos de 72.2 mg/L; el arreglo 2 tiene la capacidad de tratar agua con 144.4 mg/L y el arreglo 3 para 642.3 mg/L. Las características del agua para cada uno de los arreglos se muestran en la tabla 26.



## 6. CASO DE APLICACIÓN

Tabla 26. Calidad del agua a tratar por los sistemas del caso de aplicación

COMPONENTE (mg/L)	DISEÑO 1	DISEÑO 2	DISEÑO 3
Ca <sup>2+</sup>	7.5	15	45
Mg <sup>2+</sup>	2	4	12
Na <sup>+</sup>	10	20	150
Cl <sup>-</sup>	12.7	25.4	215.3
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	10	20	60
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	25	50	150
SiO <sub>2</sub>	5	10	10
pH	7.1	7.1	7.1
SDT	72.2	144.4	642.3
SDT (meq/L)	0.98	1.95	9.78
SDT como CaCO <sub>3</sub> (meq/L)	48.8	97.6	488.9
Conductividad (μS/cm)	103	206	918

Fuente: GE, 2008

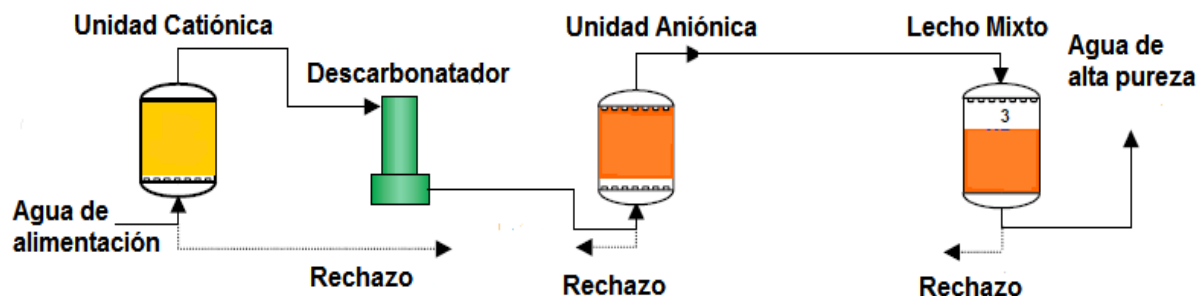
A continuación se presenta el resultado obtenido del estimado de inversión para cada uno de los arreglos utilizando las curvas y factores de costo generados en este trabajo.



### 6.1. Diseño 1: Intercambio iónico

Los sistemas de desmineralización por intercambio iónico son sistemas que se han utilizado por más de 50 años en la industria (Ortiz, 2014). Es una tecnología mundialmente conocida y confiable, por lo que es ampliamente utilizada, cuenta con una gran flexibilidad debido a los diferentes arreglos y tipos de resinas. La cantidad de sustancias químicas utilizadas para su regeneración y la producción de agua residual es su principal desventaja.

El diseño 1 es un sistema de intercambio iónico con tres trenes de tratamiento, cada uno para tratar un flujo de 200 m<sup>3</sup>/h. El sistema está formado por tres unidades de intercambio catiónicas, un descarbonatador para la remoción del CO<sub>2</sub>, tres unidades aniónicas y tres unidades de lecho mixto. En la figura 43 se muestra este sistema y en la tabla 27 el equipo principal.



Fuente: GE, 2008

Figura 43. Diseño 1: Sistema de desmineralización por intercambio iónico



## 6. CASO DE APLICACIÓN

Tabla 27. Equipo principal para un sistema de desmineralización por intercambio iónico.

<b>EQUIPO</b>	<b>No. UNIDADES</b>
Unidad Catiónica	3
Descarbonatador	1
Unidad Aniónica	3
Bombas para ácido y sosa	2
Tanques para ácido y sosa	2
Tanque regeneración de resina	2
Tanque de Neutralización	1
PLC	1
Unidades de lecho mixto	3
Soplador	1

Fuente: GE, 2008

El costo del equipo principal se obtuvo a partir de las curvas de costo de equipo generadas. El costo de los materiales auxiliares y mano de obra se estimó con los factores correspondientes. Con el costo del equipo principal, materiales auxiliares, mano de obra y el costo de la resina se obtuvo el costo directo total de inversión para este arreglo. El resultado se presenta en la tabla 28.



## 6. CASO DE APLICACIÓN

Tabla 28. Estimado de costos directos para una unidad de intercambio iónico de 600 m<sup>3</sup>/h

EQUIPO	COSTO UNITARIO (USD)	No. UNIDADES	COSTO EQUIPO (USD)	EQUIPO INSTALADO (USD)
Unidad Catiónica	153,815	3	461,444	1,666,905
Descarbonatador	153,815	1	153,815	555,635
Unidad Aniónica	153,815	3	461,444	1,666,905
Bombas para ácido y sosa	12,924	2	25,848	3,788,511
Tanques para ácido y sosa	18,691	2	37,383	434,527
Tanque regeneración de resina	30,784	2	61,567	618,400
Tanque de Neutralización	343,278	1	343,278	968,452
PLC	39,729	1	39,729	39,729
Unidades de lecho mixto	153,815	3	461,444	1,666,905
Soplador	32,918	1	32,918	60,537
Total Equipo			2,078,872	8,561,111
Resina				39,956
			<b>Costo directo total</b>	<b>8,601,067</b>

Fuente: Elaboración propia

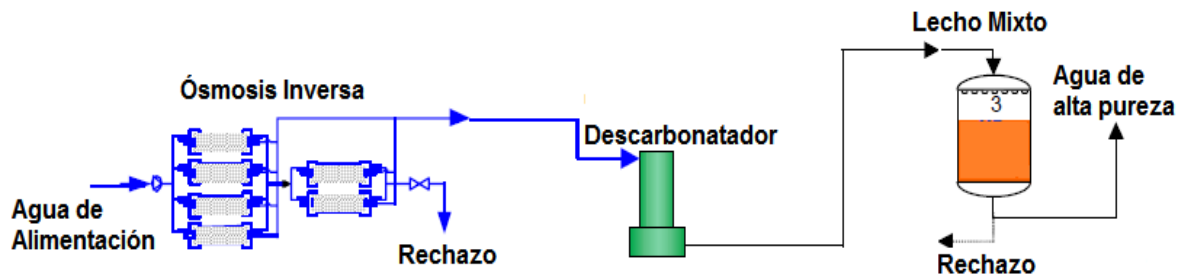
### 6.2. Diseño 2: Sistema de ósmosis inversa con una unidad pulidora de intercambio iónico

La tecnología de punta para la desmineralización de agua se basa en el uso de membranas de ósmosis inversa (Ortíz, 2014), con la ventaja de que no requieren compuestos químicos para la regeneración.



## 6. CASO DE APLICACIÓN

El diseño 2 para la desmineralización de agua está formado por membranas de ósmosis inversa, un descarbonatador y una unidad pulidora de lecho mixto (figura 44). Al igual que en el diseño 1, se estimó el costo de inversión para una capacidad de 600 m<sup>3</sup>/h. En la tabla 29 se muestra el equipo principal.



Fuente: GE, 2008

Figura 44. Diseño 2: Ósmosis inversa con intercambio iónico.

Tabla 29. Equipo principal para un sistema de desmineralización por ósmosis inversa con intercambio iónico.

EQUIPO	No. UNIDADES
Inyección de químicos	1
Unidades RO	2
Sistema para la limpieza de RO	1
Descarbonatador	1
Unidad de lecho mixto	3
Bombas para ácido y sosa	2
Tanque de Neutralización	1
PLC	1
Soplador	1

Fuente: GE, 2008



## 6. CASO DE APLICACIÓN

---

El estimado se realizó con las curvas de costo generadas. Para las unidades que no se encuentran en el simulador Aspen CCE que son las unidades de ósmosis inversa, inyección de químicos y el sistema para la limpieza de las unidades de osmosis inversa, el costo se estimó a través de una cotización (GE, 2008) para el mismo sistema pero para una capacidad de 100 m<sup>3</sup>/h. Este costo se escaló a 600 m<sup>3</sup>/h con el factor de capacidad de 0.60 (Perry, 2008), se actualizó con los correspondientes índices CEPCI y se aplicó un factor de regionalización para México considerando 8 % el costo de fletes e impuestos sobre el costo del equipo principal. En la tabla 30 se muestran los resultados del estimado.



## 6. CASO DE APLICACIÓN

Tabla 30. Estimado de costos directos para una unidad de ósmosis inversa con intercambio iónico para una capacidad de 600m<sup>3</sup>/h

<b>EQUIPO</b>	<b>No. UNIDADES</b>	<b>COSTO EQUIPO (USD)</b>	<b>EQUIPO INSTALADO (USD) (MA +MO)</b>
Inyección de químicos	1	36,404	73,999
Unidades RO	2	926,018	1,599,254
Skid para la limpieza de RO	1	28,213	57,349
Descarbonador	1	153,815	555,635
Unidad de lecho mixto	3	461,444	1,666,905
Bombas para ácido y sosa	2	25,848	883,117
Tanque de Neutralización	1	343,278	968,452
PLC	1	39,729	39,729
Soplador	1	32,918	60,537
Total Equipo		2,047,667	8,810,371
Resina			36,285
		<b>Costo directo total</b>	<b>5,941,261</b>

Fuente: Elaboración propia



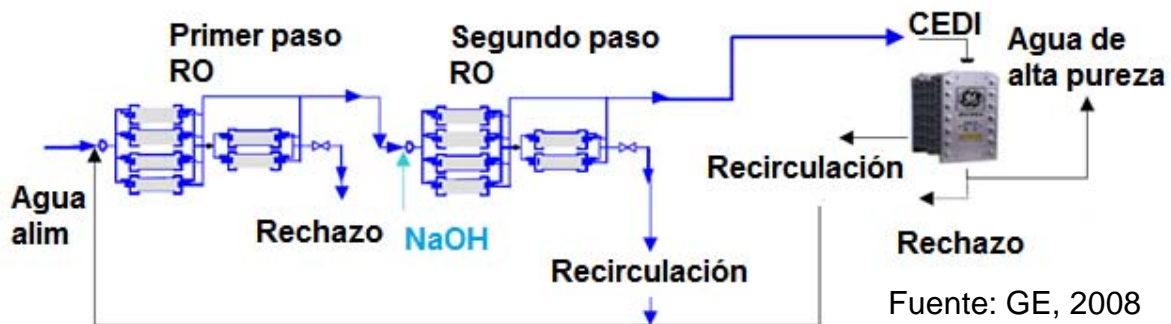


### 6.3 Diseño 3: Sistema de doble paso de ósmosis inversa con electrodesionización.

La electrodesionización es una tecnología poco utilizada en México, es muy eficiente en capacidad y rendimiento. Se requiere un sistema de doble paso de ósmosis inversa previo, ya que las membranas de la electrodesionización son delicadas y requieren cierta calidad del agua influente (Ortiz, 2014).

El diseño tres está formado por dos trenes con un doble paso de ósmosis inversa, cada uno seguido de una unidad pulidora de electrodesionización para tratar un flujo de 600 m<sup>3</sup>/h. En la figura 45 se presenta este diseño y en la tabla 31 el equipo principal.

Figura 45. Diseño 3: Sistema de doble paso de ósmosis inversa con electrodesionización.





## 6. CASO DE APLICACIÓN

Tabla 31. Equipo principal de un sistema de doble paso de ósmosis inversa con electrodesionización

<b>EQUPO</b>	<b>No. DE UNIDADES</b>
Inyección de químicos	1
Unidades RO	2
Unidades de RO	2
Skid para la limpieza de RO	1
Unidades EDI	2
Bombas sosa	1

Fuente: GE, 2008

El equipo principal de este sistema no se encuentra en el simulador de costo utilizado, por lo que el costo se estimó tomando como base una cotización para el mismo sistema con una capacidad de 100 m<sup>3</sup>/h. Para realizar el estimado se escaló a 600 m<sup>3</sup>/h; los costos de materiales auxiliares y mano de obra se estimaron con factores reportados en la literatura (Loh, 2002). Estos costos se actualizaron con los correspondientes índices CEPCI y se aplicó el factor de regionalización para los costos por flete e impuestos en México. Los resultados se muestran en la tabla 32.



## 6. CASO DE APLICACIÓN

Tabla 32. Costo de un sistema de doble paso de ósmosis inversa con electrodesionización para una capacidad de 600 m<sup>3</sup>/h.

EQUIPO	No. DE UNIDADES	COSTO (USD)	EQUIPO INSTALADO (USD) (MA Y MO)	COSTO MEX. (USD)
Inyección de químicos	1	36,404	68,517	73,999
Unidades RO	2	926,018	1,480,791	1,599,254
Unidades de RO	2	1,276,858	2,041,818	2,205,163
Sistema para la limpieza de RO	1	32,763	61,666	66,599
Unidades EDI	2	986,539	1,856,823	2,005,369
Bombas sosa	1	1,894,256	1,894,256	441,558
			<b>Costo directo total</b>	<b>6,391,942</b>

Fuente: Elaboración propia

Como resultado de los costos directos de inversión estimados para los sistemas de desmineralización del caso de aplicación utilizando la herramienta generada, se obtuvo costos similares a los presentados en cotizaciones.

Lo anterior demuestra que la herramienta generada se puede utilizar para hacer estimados de inversión a nivel de orden de magnitud para casos de aplicación en México y sirve como base para la comparación entre tecnologías y alternativas de inversión.

## Conclusiones

En la estimación de los costos de inversión para plantas de proceso los costos que tienen un mayor impacto son los costos de los equipos principales por lo que en este trabajo se generó una herramienta para estimar su costo a nivel conceptual, así como los costos directos asociados a la instalación de los mismos.

En las fases iniciales de un proyecto es necesario realizar los primeros estimados de costo para determinar si el proyecto será rentable o no, por lo que los costos de inversión tienen un papel muy importante en la toma de decisiones.



## 7. CONCLUSIONES

---

Al momento de realizar los estimados de costo generalmente se cuenta con muy poca información del proyecto por lo que el uso de curvas y factores de costo es muy común.

Los simuladores de costo son una herramienta que permiten realizar estimados aproximados; sin embargo, éstos requieren de mayor información del proyecto y su uso puede ser tardado, ya que en los primeros estimados de un proyecto no es recomendable invertir mucho tiempo.

En este trabajo se revisaron los métodos de Lang, Hand, Wroth, Chilton, Guthrie, Peters y Timmehaus y Loh para la estimación de costos de inversión en proyectos. Estos métodos son de gran utilidad para realizar los primeros estimados de inversión; sin embargo, los factores que utilizan no son actuales y se basan datos para Estados Unidos, por lo que para aplicarlos para proyectos en México se debe considerar costos de transporte, impuestos, mano de obra, costos de los materiales auxiliares disponibles en México, así como costos de importación.

La herramienta resultado de este trabajo consiste una hoja de cálculo con curvas y factores de costos directos actualizados para realizar estimados de orden de magnitud para proyectos de sistemas de tratamiento de agua en México. Los factores de costo obtenidos son los que se presentan en la tabla 33.



## 7. CONCLUSIONES

Tabla 33. Factores para la estimación de costos directos para sistemas de tratamiento de agua.

	<b>MATERIAL AUXILIAR</b>	<b>MANO DE OBRA</b>
Equipo	100	3
Tubería	38	31
Obra Civil	9	97
Acero	5	21
Instrumentación	53	11
Eléctrico	42	27
Aislamiento	11	99
Pintura	4	181
Factor de regionalización $f_{MEX/USA} = 0.60$		

Para obtener los factores de costo aplicables a México se utilizó un simulador de costos cuya base de datos corresponde a Estados Unidos adecuando los costos para México.

Los equipos de proceso que se consideraron para generar los factores de costo de la tabla 33 son tanques de almacenamiento atmosféricos; recipientes a presión; recipientes agitados; bombas API, ANSI y de diafragma; clarificadores y filtros. Con el costo de estos equipos es posible estimar el costo para sistemas de tratamiento de agua de primer uso en procesos de refinación de petróleo. Los sistemas pueden ser pre tratamiento mediante clarificación, desmineralización en UDA de intercambio iónico, filtración y tratamiento de condensados.



## 7. CONCLUSIONES

---

Para cada uno de los equipos anteriores se hizo su curva de costo, así como las curvas de costo de cada uno de los materiales auxiliares para la instalación de dicho equipo. Uno de los principales hallazgos es que los factores de costo de los materiales auxiliares no son constantes para las diferentes capacidades del equipo, como se reporta en muchas referencias, razón por la cual en este trabajo en lugar de presentar factores se presentan curvas de factores en función de la capacidad del equipo.

Con los resultados de este trabajo y de acuerdo a lo reportado en la literatura, el costo de inversión de los proyectos en México es aproximadamente 40% más barato que en Estados Unidos, este dato se obtuvo al comparar los costos estimados para México con los reportados por el simulador.

Un factor importante que hace que los costos de inversión en México sean más baratos es el bajo costo de la mano de obra y la productividad mexicana comparada con otros países. Si a lo anterior se le suma el aumento que ha tenido el dólar en los últimos años, el resultado es menores costos de inversión en México, lo que se traduce en un incremento en la inversión extranjera y disminución del desarrollo de empresas mexicanas.

## RECOMENDACIONES

En este trabajo se hicieron estimados de costo de inversión para algunos de los equipos que se utilizan en sistemas de tratamiento de agua de primer uso en refinerías. Actualmente existen diversos equipos de última tecnología para el tratamiento de agua tanto de primer uso como agua residual, por lo que se recomienda hacer estimados de costo de inversión para las nuevas tecnologías.

Se recomienda extender las bases de datos de costos para sistemas de tratamiento de agua en México a través de cotizaciones o mediante el uso de algún software, ya que actualmente se cuenta con poca información disponible de costos para estos sistemas en México y la información que se tiene corresponde a datos de otros países y a otras fechas.

Cada vez que se requiere hacer estimados para México es necesario aplicar factores de costo, por lo que sería conveniente contar un una herramienta que considere dichos factores y obtener rápidamente el costo total de inversión, operación y mantenimiento para diversas tecnologías de tratamiento de agua en México.



# ANEXOS

## ANEXO A

### HOJA DE CÁLCULO PARA LA ESTIMACIÓN DE COSTOS DIRECTOS DE INVERSIÓN DE EQUIPO EN MÉXICO (CONTINUÍA)

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
<b>TANQUES DE ALMACENAMIENTO</b>											
1M3=		264.172 GAL									
1GAL=		0.00375 M3									
Capacidad 1000-100000		M3									
Material (SHELL)		A515									
Techo		CONICO									
Fondo		PLANO									
Presión de Kpa		0.35									
Temperatur °C		20									
				<b>COSTOS DIRECTOS</b>							
				<b>TOTAL DIRECT MATERIAL COST (TDM)</b>							
GAL		264172	1056688	1585032	2113376	2641720	5283440	10566880	15850320	21133760	26417200
ITEM/CAPACIDAD (M3)		1000	4000	6000	8000	10000	20000	40000	60000	80000	100000
(2) Equipment		156,700	396,700	548,400	656,800	797,600	1,406,600	2,533,800	3,625,500	4,777,000	6,666,300
(3) Piping		24,005	30,020	47,463	36,567	36,567	46,309	56,135	56,135	70,152	70,152
(4) Civil		8,228	17,008	51,346	25,106	29,093	44,072	62,587	81,789	101,172	118,297
(5) Steel		10,606	13,242	16,085	15,855	15,855	15,855	18,545	18,545	18,545	18,545
(6) Instruments		88,017	88,332	96,304	88,579	88,661	88,922	89,333	89,594	89,841	90,047
(7) Electrical		122,117	122,134	157,614	122,150	122,150	122,150	122,168	122,168	122,168	122,168
(8) Insulation		56,773	131,738	301,141	207,273	244,530	393,199	631,183	852,829	1,085,063	1,293,090
(9) Paint		4,034	8,949	46,473	13,856	16,152	25,145	39,901	52,924	66,430	78,405
<b>(TDM)</b>		<b>470,480</b>	<b>808,123</b>	<b>1,264,827</b>	<b>1,166,186</b>	<b>1,350,609</b>	<b>2,142,254</b>	<b>3,553,652</b>	<b>4,899,484</b>	<b>6,330,370</b>	<b>8,457,003</b>

HOJA DE CÁLCULO PARA LA ESTIMACIÓN DE COSTOS DIRECTOS DE INVERSIÓN DE EQUIPO EN MÉXICO  
(CONTINUACIÓN)

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
<b>TOTAL DIRECT MATERIAL COST (TDM) ACTUALIZADO CON CEPICI</b>										
GAL	264172	1056688	1585032	2113376	2641720	5283440	10566880	15850320	21133760	26417200
ITEM/CAPACIDAD (M3)	1000	4000	6000	8000	10000	20000	40000	60000	80000	100000
(2) Equipment	150,387	380,717	526,306	630,338	765,466	1,349,930	2,431,716	3,479,433	4,584,540	6,397,722
(3) Piping	22,772	28,478	45,025	34,688	34,688	43,930	53,251	53,251	66,548	66,548
(4) Civil	8,192	16,932	51,117	24,994	28,964	43,876	62,309	81,425	100,721	117,770
(5) Steel	10,559	13,183	16,013	15,784	15,784	15,784	18,462	18,462	18,462	18,462
(6) Instruments	84,280	84,582	92,215	84,819	84,897	85,147	85,541	85,790	86,027	86,224
(7) Electrical	121,903	121,920	157,338	121,936	121,936	121,936	121,954	121,954	121,954	121,954
(8) Insulation	56,520	131,152	299,800	206,350	243,441	391,448	628,372	849,031	1,080,231	1,287,331
(9) Paint	4,016	8,909	46,266	13,794	16,080	25,033	39,723	52,688	66,134	78,056
(TDM)	458,628	785,873	1,234,081	1,132,704	1,311,256	2,077,085	3,441,327	4,742,034	6,124,616	8,174,067
<b>TOTAL DIRECT MATERIAL COST (TDM) ACTUALIZADO MEXICO</b>										
GAL	264172	1056688	1585032	2113376	2641720	5283440	10566880	15850320	21133760	26417200
ITEM/CAPACIDAD (M3)	1000	4000	6000	8000	10000	20000	40000	60000	80000	100000
(2) Equipment	150,387	380,717	526,306	630,338	765,466	1,349,930	2,431,716	3,479,433	4,584,540	6,397,722
EQUIPO Flete + imp.	162,418	411,175	588,410	680,765	828,703	1,457,924	2,626,253	3,757,787	4,951,303	6,909,540
(3) Piping	19,356	24,206	38,271	29,485	29,485	37,341	45,264	45,264	56,566	56,566
(4) Civil	6,963	14,392	43,450	21,245	24,619	37,295	52,962	69,211	85,613	100,105
(5) Steel	8,975	11,205	13,611	13,417	13,417	13,417	15,693	15,693	15,693	15,693
(6) Instruments	96,922	97,270	106,048	97,541	97,632	97,919	98,372	98,659	98,931	99,157
(7) Electrical	103,618	103,632	133,737	103,646	103,646	103,646	103,661	103,661	103,661	103,661
(8) Insulation	48,042	111,479	254,830	175,398	206,925	332,731	534,116	721,676	918,196	1,094,231
(9) Paint	3,413	7,573	39,326	11,725	13,668	21,278	33,764	44,785	56,214	66,347
(TDM)	449,707	780,931	1,197,683	1,133,222	1,316,094	2,101,550	3,510,085	4,856,736	6,286,176	8,445,300

HOJA DE CÁLCULO PARA LA ESTIMACIÓN DE COSTOS DIRECTOS DE INVERSIÓN DE EQUIPO EN MÉXICO  
(CONTINUACIÓN)

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
<b>ESTIMACIÓN DEL COSTO DE MANO DE OBRA</b>										
<b>HH USA</b>										
GAL	264172	1056688	1585032	2113376	2641720	5283440	10566880	15850320	21133760	26417200
ITEM/CAPACIDAD (M3)	1000	4000	6000	8000	10000	20000	40000	60000	80000	100000
(2) Equipment										
(3) Piping	285	330	387	398	398	452	524	524	591	591
(4) Civil	486	979	1,271	1,433	1,678	2,629	3,851	5,158	6,506	7,716
(5) Steel	87	108	108	130	130	130	152	152	152	152
(6) Instruments	249	259	262	267	270	278	291	299	307	314
(7) Electrical	1,215	1,216	1,216	1,217	1,217	1,217	1,218	1,218	1,218	1,218
(8) Insulation	1,690	4,039	5,426	6,474	7,657	12,370	20,305	27,485	34,987	41,726
(9) Paint	556	1,177	1,510	1,759	2,026	3,040	4,619	5,971	7,338	8,528
<b>INGENIERÍA</b>	<b>3,657</b>	<b>3,700</b>	<b>3,727</b>	<b>3,743</b>	<b>3,759</b>	<b>3,824</b>	<b>3,904</b>	<b>3,974</b>	<b>4,037</b>	<b>4,091</b>
<b>HH MEXICO</b>										
GAL	264,172	1,056,688	1,585,032	2,113,376	2,641,720	5,283,440	10,566,880	15,850,320	21,133,760	26,417,200
ITEM/CAPACIDAD (M3)	1000	4000	6000	8000	10000	20000	40000	60000	80000	100000
(2) Equipment	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(3) Piping	484	561	658	677	677	768	890	890	1,004	1,004
(4) Civil	826	1,665	2,160	2,437	2,853	4,469	6,547	8,768	11,060	13,117
(5) Steel	148	184	184	221	221	221	258	258	258	258
(6) Instruments	423	440	446	454	458	472	495	509	522	534
(7) Electrical	2,065	2,067	2,067	2,069	2,069	2,069	2,071	2,071	2,071	2,071
(8) Insulation	2,874	6,866	9,224	11,006	13,018	21,030	34,519	46,725	59,477	70,934
(9) Paint	946	2,000	2,567	2,990	3,445	5,168	7,852	10,151	12,475	14,497
<b>INGENIERÍA</b>	<b>6,217</b>	<b>6,290</b>	<b>6,336</b>	<b>6,363</b>	<b>6,390</b>	<b>6,501</b>	<b>6,637</b>	<b>6,756</b>	<b>6,863</b>	<b>6,955</b>

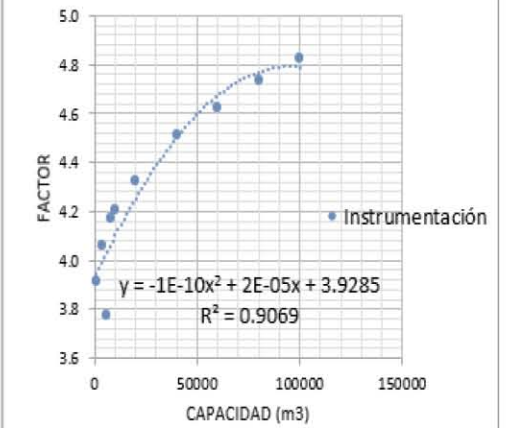
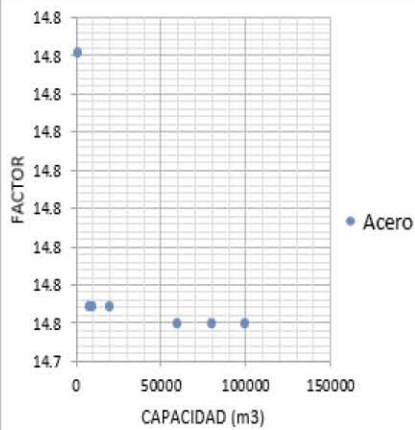
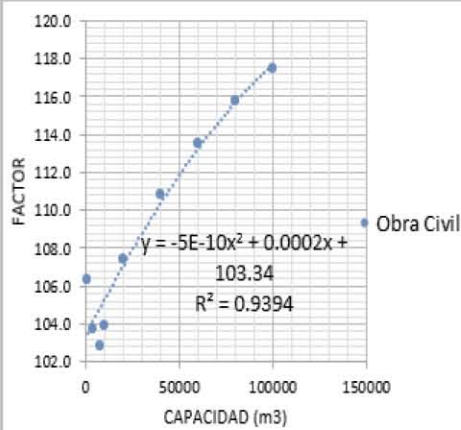
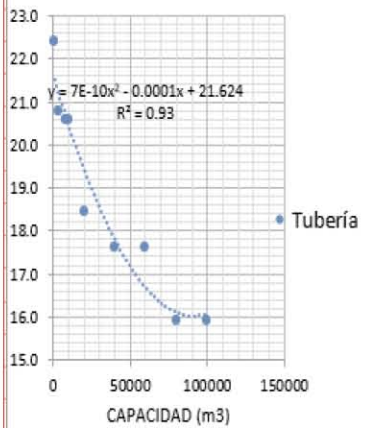
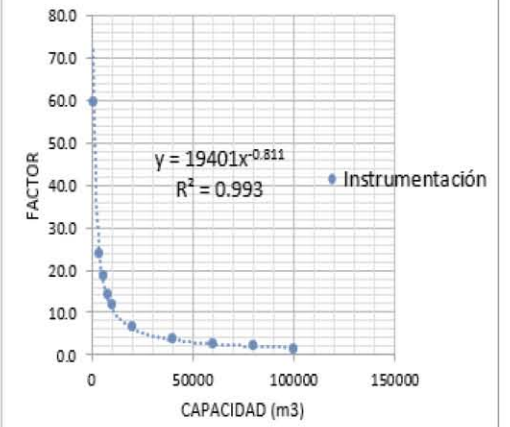
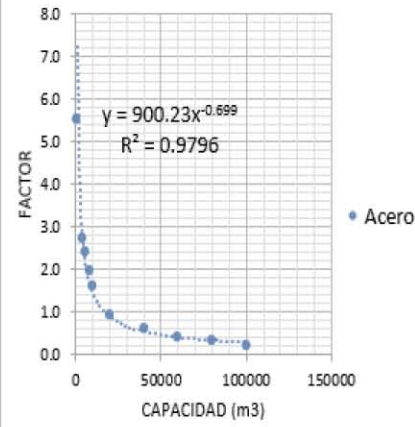
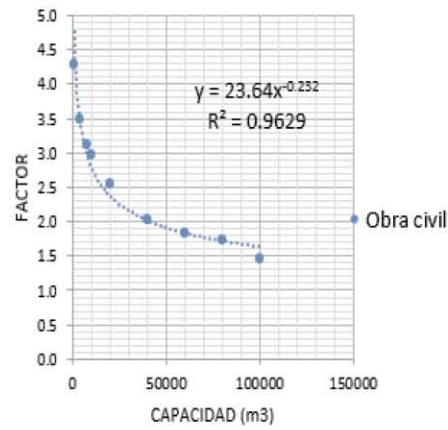
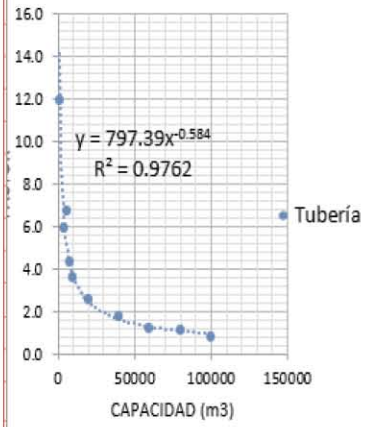
HOJA DE CÁLCULO PARA LA ESTIMACIÓN DE COSTOS DIRECTOS DE INVERSIÓN DE EQUIPO EN MÉXICO  
(CONTINUACIÓN)

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
<b>SALARIOS MÉXICO Dólares/h</b>	<b>Compass</b>									
<b>9</b>	<b>Comisión Nacional de los Salarios Mínimos</b>									
<b>45</b>	<b>STPS</b>									
<b>COSTO MANO DE OBRA US</b>										
GAL	264172	1056688	1585032	2113376	2641720	5283440	10566880	15850320	21133760	26417200
ITEM/CAPACIDAD (M3)	1000	4000	6000	8000	10000	20000	40000	60000	80000	100000
(2) Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(3) Piping	8,462.44	9,813.60	11,504.29	11,828.51	11,822.41	13,429.07	15,558.13	15,558.13	17,542.40	17,542.40
(4) Civil	11,404.87	22,826.77	29,512.94	33,312.29	37,990.87	60,506.51	88,099.98	117,448.74	147,624.20	174,642.00
(5) Steel	2,293.02	2,843.53	2,843.53	3,412.45	3,412.34	3,412.45	3,990.04	3,990.04	3,990.04	3,990.04
(6) Instruments	7,463.87	7,759.26	7,862.01	7,990.44	8,039.08	8,311.52	8,696.81	8,940.83	9,172.01	9,364.66
(7) Electrical	35,444.85	35,480.00	35,480.00	35,515.16	35,515.93	35,515.16	35,553.87	35,553.87	35,553.87	35,553.87
(8) Insulation	38,537.08	92,049.54	123,671.81	147,553.48	174,507.56	281,924.01	462,755.02	626,381.93	797,334.91	950,910.97
(9) Paint	12,779.65	27,080.94	34,763.40	40,499.36	46,737.92	70,049.12	106,480.03	137,698.95	169,247.62	196,711.47
<b>TDL</b>	<b>103,606</b>	<b>170,773</b>	<b>210,875</b>	<b>239,612</b>	<b>271,288</b>	<b>403,099</b>	<b>614,654</b>	<b>807,874</b>	<b>1,011,217</b>	<b>1,192,004</b>
<b>COSTO MANO DE OBRA MEXICO \$USD</b>										
GAL	264172	1056688	1585032	2113376	2641720	5283440	10566880	15850320	21133760	26417200
ITEM/CAPACIDAD (M3)	1000	4000	6000	8000	10000	20000	40000	60000	80000	100000
(2) Equipment	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(3) Piping	4,336	5,029	5,899	6,068	6,068	6,882	7,983	7,983	9,004	9,004
(4) Civil	7,406	14,926	19,365	21,846	25,579	40,061	58,690	78,602	99,146	117,586
(5) Steel	1,330	1,650	1,650	1,979	1,979	1,979	2,315	2,315	2,315	2,315
(6) Instruments	3,792	3,946	4,000	4,067	4,107	4,235	4,436	4,563	4,684	4,785
(7) Electrical	18,509	18,527	18,527	18,545	18,545	18,545	18,565	18,565	18,565	18,565
(8) Insulation	25,763	61,547	82,693	98,663	116,697	188,521	309,448	418,871	533,192	635,893
(9) Paint	8,477	17,933	23,010	26,804	30,879	46,325	70,386	91,000	111,832	129,964
<b>TDLM</b>	<b>69,613</b>	<b>123,558</b>	<b>155,145</b>	<b>177,973</b>	<b>203,855</b>	<b>306,548</b>	<b>471,823</b>	<b>621,899</b>	<b>778,738</b>	<b>918,111</b>

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
<b>COSTO DEL MATERIAL AUXILIAR como % respecto al costo del equipo en México</b>										
NO INCLUYE INSTALACIÓN										
GAL	264172	1056688	1585032	2113376	2641720	5283440	10566880	15850320	21133760	26417200
ITEM/CAPACIDAD (M3)	1000	4000	6000	8000	10000	20000	40000	60000	80000	100000
(2) Equipment	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
(3) Piping	11.9	5.9	6.7	4.3	3.6	2.6	1.7	1.2	1.1	0.8
(4) Civil	4.3	3.5		3.1	3.0	2.6	2.0	1.8	1.7	1.4
(5) Steel	5.5	2.7	2.4	2.0	1.6	0.9	0.6	0.4	0.3	0.2
(6) Instruments	59.7	23.7	18.7	14.3	11.8	6.7	3.7	2.6	2.0	1.4
(7) Electrical	63.8	25.2	23.5	15.2	12.5	7.1	3.9	2.8	2.1	1.5
(8) Insulation	29.6	27.1		25.8	25.0	22.8	20.3	19.2	18.5	15.8
(9) Paint	2.1	1.8		1.7	1.7	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0
<b>MANO DE OBRA MEXICO como% respecto al costo del material México</b>										
GAL	264172	1056688	1585032	2113376	2641720	5283440	10566880	15850320	21133760	26417200
ITEM/CAPACIDAD (M3)	1000	4000	6000	8000	10000	20000	40000	60000	80000	100000
(2) Equipment	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(3) Piping	22.4	20.8		20.6	20.6	18.4	17.6	17.6	15.9	15.9
(4) Civil	106.4	103.7		102.8	103.9	107.4	110.8	113.6	115.8	117.5
(5) Steel	14.8			14.754	14.754	14.754		14.750	14.750	14.750
(6) Instruments	3.9	4.057	3.772	4.170	4.207	4.325	4.509	4.625	4.735	4.825
(7) Electrical	17.863	17.878		17.893	17.893	17.893	17.909	17.909	17.909	17.909
(8) Insulation	53.6	55.2		56.3	56.4	56.7	57.9	58.0	58.1	58.1
(9) Paint	248.3	236.8		228.6	225.9	217.7	208.5	203.2	198.9	195.9



### FACTORES DE MATERIAL AUXILIR Y MANO DE OBRA



## ANEXO B

### VALORES DEL EXPONENTE “n” PARA PLANTAS Y EQUIPOS DE PROCESO (CONTINÚA)

PLANTA	EXPONENTE n	PLANTA	EXPONENTE n
Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)	0.72	Etileno	0.77
Acrilonitrilo	0.6	Estireno	0.60
Ácido acético	0.7	Fenol	0.75
Acetona	0.52	Formaldehido	0.60
Acetileno	0.78	Glicol	0.70
Argón	0.86	Gas Natural	0.63
Amonio	0.72	Hidrógeno	0.70
Ácido clorhídrico	0.68	Hidrotratamiento	0.68
Ácido nítrico	0.87	Isopreno	0.59
Acetaldehído	0.73	Metanol	0.86
Aceite lubricante	0.68	Nitrato de amonio	0.57
Ácido sulfúrico	0.65	Óxido de etileno	0.75
Acetato de vinilo	0.65	Peróxido de hidrógeno	0.75
Ácido fosfórico	0.74	Paraxileno	0.60
Bauxita	0.75	Polietileno de alta densidad	0.62
Benceno	0.71	Polimerización	0.58
Butano	0.72	Polipropileno	0.70
Butanol	0.45	Planta recuperadora de gas LP	0.66
Butadieno	0.68	Producción de oxígeno	0.68
Carbón	0.67	Plantas de energía	0.75
Craqueo catalítico	0.58	Sosa cáustica	0.45
Cloro	0.49	Stripping sulfuro de hidrógeno	
Cloruro de polivinilo	0.60	Sulfato de amonio	0.75
Cracking térmico	0.70	Tratamiento de efluentes	0.75
Cloruro de vinilo	0.80	Urea	0.70
Combustible de aviación	0.85	Promedio para cualquier planta	0.67
Etanol	0.73		

**VALORES DEL EXPONENTE “n” PARA PLANTAS Y EQUIPOS DE PROCESO  
(CONTINUACIÓN)**

<b>EQUIPO</b>	<b>CAPACIDAD</b>	<b>EXPONENTE n</b>
Agitadores de hélice	0.5-5 HP	0.7
Agitadores de hélice	5-50 HP	0.45
Autoclave	1,000 psi	0.95
Banda transportadora		0.67
Compresor		0.35
Cervecera		0.63
Columna fraccionadora		0.60
Coquización retardada		0.63
Compresor 2 etapas	100 psi	0.7
Cristalizador		0.75
Ciclón		0.76
Colector de polvo		0.77
Conductos		0.58
Desaladora		0.67
Destilación (atmosférica)		0.87
Destilación (a vacío)		0.73
Eyector		0.50
Evaporadores		0.55
Filtro prensa		0.57
Horno		0.75
Molino de martillos		0.81
Motor eléctrico	5-25 HP	0.65
Molino de bolas		0.65
Precipitador eléctrico estático		0.75
Secador de aire		0.58
Stripper de CO y CO <sub>2</sub>		0.71
Turbina		0.37
Torres de enfriamiento		0.60
Trituradora cónica		0.83
Tolva cónica		0.65
Unidad de alquilación	Grande	0.65
Unidad de alquilación	Pequeña	0.71
Unidad de craqueo catalítico		0.8
Unidad desulfuradora		0.59
Ventilador centrífugo		0.66
Ventilador de conducto axial	Más de 10000 CFM	0.45



**VALORES DEL EXPONENTE “n” PARA PLANTAS Y EQUIPOS DE PROCESO  
(CONTINUACIÓN)**

<b>EQUIPO</b>	<b>CAPACIDAD</b>	<b>EXPONENTE n</b>
Bomba reciprocante CI horizontal (incluye del motor)	2-100 gpm	0.34
Bomba centrífuga CI, horizontal (incluye del motor)	104-105 gpmxpsi	0.33
Motor de jaula de ardilla, de inducción, 440 vols, a prueba de explosión	20-200 hp	0.99
Reactor con revestimiento de porcelana, con camisa	50-600 gal	0.54
Reactor, SS, 300 psi	102-103 gal	0.56
Reactor empacado		0.55
Separador centrífugo	50-250 ft <sup>3</sup>	0.49
Tanque cabeza plana, CS.	102-104 gal	0.57
Tanque CS con revestimiento de porcelana	102-103 gal	0.49

## ANEXO C

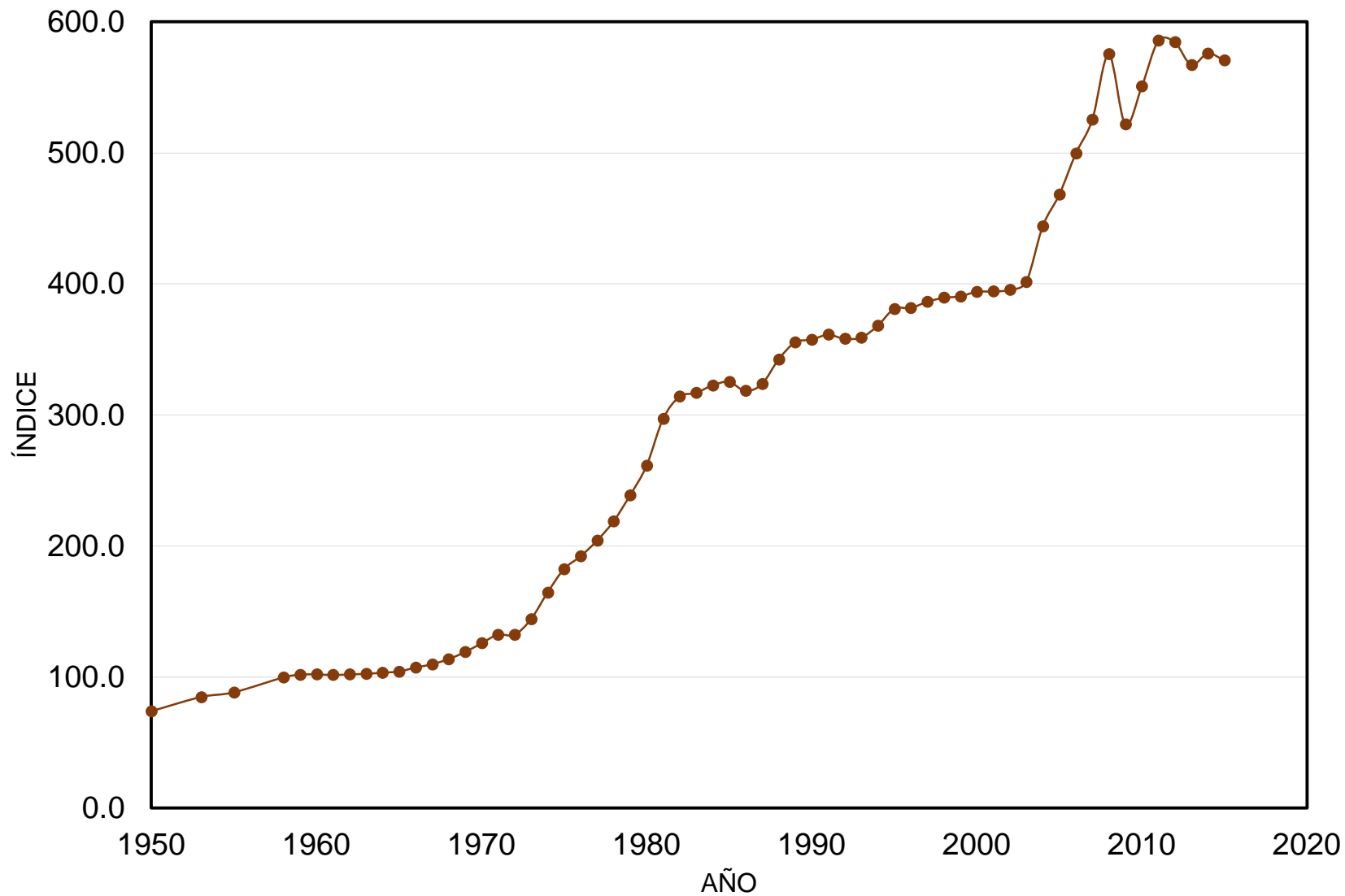
### ÍNDICES DE COSTO CEPCI

<b>AÑO</b>	<b>CEI</b>	<b>AÑO</b>	<b>CEI</b>
1950	73.9	1987	323.8
1953	84.7	1988	342.5
1955	88.3	1989	355.4
1958	99.7	1990	357.6
1959	101.8	1991	361.3
1960	102.0	1992	358.2
1961	101.5	1993	359.2
1962	102.0	1994	368.1
1963	102.4	1995	381.1
1964	103.3	1996	381.7
1965	104.2	1997	386.5
1966	107.2	1998	389.5
1967	109.7	1999	390.6
1968	113.6	2000	394.1
1969	119.0	2001	394.3
1970	125.7	2002	395.6
1971	132.3	2003	401.7
1972	132.3	2004	444.2
1973	144.1	2005	468.2
1974	164.4	2006	499.6
1975	182.4	2007	525.4
1976	192.1	2008	575.4
1977	204.1	2009	521.9
1978	218.8	2010	550.8
1979	238.7	2011	585.7
1980	261.2	2012	584.6
1981	297.0	2013	567.3
1982	314.0	2014	576.1
1983	316.9	2015	570.7
1984	322.7		
1985	325.3		
1986	318.4		

AÑO	2005*	2006	2007	2008	2009*	2010	2011	2012	2013	2014	2015*
CE Index	468.2	499.5	525.5	575.4	521.9	548.6	585.7	584.6	567.3	576.1	570.7
Equipo	543.8	588.0	624.4	696.8	614.6	656.0	712.9	711.8	686.9	699.4	691.6
Intercambiadores de calor y tanques	513.3	548.0	592.2	687.6	558.1	606.4	674.7	661.7	623.0	640.7	630.8
Maquinaria	520.1	549.7	598.3	643.4	597.6	620.7	666.7	668.7	654.7	665.3	669.9
Tubería, válvulas y conexiones	625.2	708.0	733.6	827.6	757.3	818.9	889.2	913.8	874.0	877.4	863.5
Instrumentación	381.4	419.3	425.2	434.7	392.0	420.7	437.8	425.8	412.2	411.8	405.0
Bombas y compresores	754.4	785.7	831.7	871.7	897.8	902.1	903.6	920.1	921.3	936.9	951.0
Equipo eléctrico	372.9	403.1	430.5	458.5	460.1	477.4	506.3	512.5	513.4	515.5	513.5
Estructuras y soportes	584.5	625.3	662.6	748.7	629.9	676.0	755.0	754.6	741.0	767.7	750.6
Mano de obra	306.1	309.3	315.2	321.7	326.1	328.8	327.5	315.0	319.6	321.3	320.6
Edificios	445.0	468.6	476.8	506.9	491.2	503.6	517.1	525.6	532.8	543.9	545.8
Ingeniería y supervisión	347.2	350.9	357.0	352.9	349.8	339.7	332.4	328.2	325.0	321.1	319.6

\*Índices anuales estimados: al no contar con los índices de todos los meses se hizo un promedio de los datos disponibles. Todos los índices se obtuvieron de publicaciones de la revista *Chemical Engineering*.

### ÍNDICES DE COSTO CHEMICAL ENGINEERING



## ANEXO D

### GLOSARIO

**Agua Amarga.** Agua residual con contenido de ácido sulfhídrico y sulfuros que proviene de los procesos de refinación. Se obtiene de los domos de las torres de fraccionamiento de hidrocarburos de plantas, tales como primarias, catalíticas y desulfuradoras principalmente. El agua recolectada en los acumuladores es posteriormente enviada a plantas de tratamiento de aguas amargas para eliminar el ácido sulfhídrico.

**Agua de primer uso o agua cruda.** Es el agua que proviene directamente de la fuente natural sin haber sido tratada previamente.

**Agua congénita.** Agua que está en contacto con el crudo, subproducto de la extracción del mismo.

**Agua dura.** Cuando un agua es referida como agua “dura” esto simplemente significa, que contiene más minerales que el agua normal. Hay especialmente minerales de calcio y magnesio. El grado de dureza de un agua aumenta, cuanto más calcio y magnesio hay disuelto. Magnesio y calcio son iones positivamente cargados. Debido a su presencia, otros iones cargados positivamente se disolverán menos fácil en el agua dura que en el agua que no contiene calcio y magnesio.

**Alcalinidad.** La alcalinidad o basicidad del agua es una medida de su capacidad para neutralizar ácidos. En las aguas naturales, esta propiedad se debe principalmente a la presencia de ciertas sales de ácidos débiles, aunque también puede contribuir la presencia de bases débiles y fuertes.

**Afluente.** Líquido que ingresa a un reservorio o a un proceso de tratamiento.

**Costo.** El costo de un producto o servicio es la cantidad recursos internos o externos que una organización debe utilizar para poder elaborar y hacer llegar al mercado un producto o servicio. Existen costos fijos y costos variables, costos directos e indirectos, costos de oportunidad y costos de no calidad, por mencionar algunos. Los costos reflejan el esfuerzo (económico, en tiempo, en energía) que debe invertir en realidad una organización. Refleja una realidad interna, la de la empresa proveedora de productos o servicios.

**Curva de costo.** Gráfica que traza el costo acumulado vs una escala de tiempo.

**Curva de costo- capacidad.** Gráfica que traza el costo acumulado vs capacidad o magnitud medible.

**Capital de trabajo.** Aquellos recursos que requiere la empresa para poder operar y cubrir sus necesidades de insumos, materia prima, mano de obra, reposición de activos fijos.

**Código de Cuentas (COA).** Estructura de codificación sistemática para la organización y gestión de activos, costos, recursos, trabajo. Un COA es esencialmente un índice para facilitar, encontrar, clasificar, compilar y resumir la información.

**Coagulación.** La coagulación es un proceso que permite incrementar la tendencia de las partículas de agregarse unas a otras para formar partículas mayores y así

precipitar más rápidamente. Los coagulantes son agentes que ayudan a la precipitación.

**Deflación.** La deflación es el fenómeno contrario a la inflación y consiste en la caída generalizada del nivel de los precios de bienes y servicios que conforman la canasta familiar. La deflación es una tasa de inflación negativa generalizada en todos los bienes y servicios que se prolonga durante varios años. Si no es generalizada y sólo afecta a algunos productos o servicios, no es deflación.

**Desinflación.** La desinflación es un proceso en el que la inflación disminuye, no los precios. En otras palabras, se reduce la velocidad a la que aumentan los precios

**Demanda bioquímica de oxígeno.** Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días. Se mide como mg de oxígeno consumido por los microorganismos que metabolizan la materia disuelta y/o suspendida por litro de disolución.

**Demanda química de oxígeno (DQO).** Medida de la cantidad de oxígeno consumido en la oxidación química de la materia orgánica presente en una muestra de agua

**Efluente.** Líquido que sale de un reservorio o de un proceso de tratamiento.

**Estimación de costos.** Una aproximación de las cantidades, el costo, y / o el precio de los recursos requeridos por el alcance de una opción de inversión de activos, actividad o proyecto. Como una predicción, una estimación debe abordar los riesgos e incertidumbres.

**Floculación.** Consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados, con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesario para sedimentar con facilidad.

**Factor de capacidad.** En la estimación de costos es el factor exponencial utilizado en el método de la relación de capacidades, puede tomar valores desde 0.2 a 1.0

**Gasto.** Acción por la que se entrega dinero a cambio de bienes o servicios.

**Ingeniero de costo.** Ingeniero cuyo juicio y experiencia se utilizan en la aplicación de principios científicos y técnicas a los problemas de estimación, planificación, control de gasto, análisis de rentabilidad y gestión de proyectos.

**Índice de costo.** Número que relaciona el costo de un elemento en un momento determinado con el costo correspondiente a algún tiempo especificado.

**Inflación.** La inflación es un aumento generalizado de todos los precios de los productos y servicios que se incluyen en la cesta que compone el índice de precios al consumo (IPC). Si no es general, es decir, que afecta sólo a alguno de ellos, no es inflación.

**Índice de octano.** El octanaje, o índice de octano o número de octanos se refiere a la cualidad antidetonante que se incorpora a la gasolina, una medida de la cualidad antidetonante que se requiere en el combustible para que este resista o evitar su tendencia a la autodetonación del mismo, por lo que el número de octanos requerido



depende directamente de la relación de compresión del motor. El índice es una escala arbitraria en la cual se da índice cero al n-heptano, y un índice cien al 2,2,4-trimetilpentano, también conocido como isooctano. Por ejemplo, cuando una gasolina se dice que tiene 98 octanos, esta será una mezcla de hidrocarburos que se comportan como una mezcla de 98 % del isooctano y un 2% del n-heptano.

**Presión osmótica.** Presión que ejerce una solución sobre una membrana semipermeable para tratar de igualar la concentración de la sustancia disuelta a ambos lados de la membrana.

**Precio.** Refleja una realidad externa, la de una empresa cliente. Es la cantidad de dinero que una empresa deberá pagar por comprar, arrendar, consumir un producto o servicio.

**Sobrecosto.** Costo que excede el costo inicialmente estimado.

## REFERENCIAS

- AACE International (2007). *Cost engineering terminology*. American Association of Cost Engineering. Recommended Practice No. 10S-90: 24.
- AACE International (2000). *Required skills and knowledge of a cost engineer*. American Association of Cost Engineering. Recommended Practice No. 11R-88.
- AACE International (2009). *Risk analysis and contingency determination using parametric estimating*. American Association of Cost Engineering. Recommended Practice No. 42R-08.
- Amador F. j. A., Chavarro H.K.J (2012). *Revisión de heurísticas y conceptos para el diseño de equipos utilizados en el proceso de refinación de petróleo*. Monografía de compilación para optar el Título de Ingeniero Químico. Universidad de San Buenaventura seccional Cartagena
- AspenTech (2013). Aspen Process Evaluator User's Guide, V8.2. Aspen Technology Inc.
- AspenTech (2013). Aspen Icarus Reference Guide, V8.2. Aspen Technology Inc.
- Arellano L. B. E (2014). *Diagnóstico y propuesta de mejora de un sistema de coagulación-floculación como pretratamiento de un sistema de desmineralización de agua en una refinería*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química.
- Barrios M. A., Velasques T., Soler A. F. et al. *Comparación del efecto de las variables de respuesta en el pretratamiento de sosas gastadas con ozona y fenton*. Instituto de Ingeniería, UNAM. Instituto Mexicano del Petróleo.
- Bayer (2000). *Unique packed-bed ion exchange trains spur dramatic gains in water treatment efficiency for boiler feed and process*. Packed-Bed Ion Exchange News. Nueva York. Vol. 1, No. 1.
- Branan C. R. (2002). *Rules of thumb for chemical engineers*, tercera edición. Elsevier Science, EE.UU.
- Caicedo O. P. (2007) *Ahorro de energía en la industria del refino y petroquímica*. Colombia. Universidad Autónoma de Occidente. Colombia. 2 pp.
- Casillas M. A. Y. (2014). *Retrospectiva y prospectiva de la Administración de Proyectos Industriales*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química.

- Christensen P., Dysert L. R., Bates J., *et al* (2011). *Cost estimate classification system – as applied in engineering, procurement, and construction for the process industries*. AACE International. Recommended Practice No. 18R-97: 5-8.
- Chemical Engineering (2002). Updating the CE plant cost index. EUA. Enero 2002: 62-70.
- Chemical Engineering (2011). Evaluating capital cost estimation programs. EUA. Agosto 2011: 22-28.
- Collazos C.J (2008). *Tratamiento de aguas residuales*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, Colombia.
- Comisión Nacional para el uso eficiente de la Energía (2009). *Tratamiento del agua para su utilización en calderas*. SENER.
- Comisión Nacional del Agua (2007) *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*.
- Compass International Consultants Inc. (2009) *The 2009 Global Construction Cost and Reference Yearbook. 9th Annual Edition*. Morrisville, Pennsylvania, USA.
- Comisión Nacional de Grados Científicos (2005). Normas para la redacción y presentación de las tesis de Doctor en Ciencias de determinada especialidad en normas para la obtención de grados científicos. República Cuba.
- Coral R. K., Pérez S. J. I (2004). Manual de Gramática del castellano. Variedad estándar y usos regionales. Lima, Perú.
- Couper J. R. (2003). *Process Engineering Economics*. Marcel Dekker Inc.
- Culebra V. C. (2004) Taller de ortografía y redacción básica. Centra Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET). Cuernavaca, Morelos, México.
- DATOP (2015). Integración de un precio unitario. Dirección de Auditoría Técnica a la Obra Pública. México, Veracruz.
- Durand A.A., Acevedo R. B., Vega A. V. (2014). *Manual de temas selectos de ingeniería de proyectos*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Durán M. A. (2009). *Tratamiento de efluentes en refinería*. Apuntes de programa de maestría en Ingeniería química. Universidad Nacional Autónoma de México.
- EPA (2002). Manual de Costos de Control de Contaminación del Aire EPA. Sexta edición.

- Esquivel E. J. R. (2007) *Evaluación económica preliminar de plantas químicas usando Aspen Capital Cost Estimator 2004.2*. Tesis de licenciatura. Universidad de las Américas Puebla. Escuela de Ingeniería y Ciencias.
- Flores A. C. (2006). Definición Inicial del Proyecto (FEL), una mejor Práctica para incrementar el desempeño en los Proyectos. . Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química
- Fuente F.S. *Ejercicios resueltos números Índices*. Universidad Autónoma de Madrid. Facultad de Ciencias Económicas y empresariales. Departamento de Economía Aplicada.
- Fragoso O. D., Guerra R. J. (2014). Apuntes de diplomado: Desarrollo de proyectos de ingeniería. Ingeniería de costos. Facultad de Química, UNAM.
- Fragoso O. D. (2015). Apuntes de diplomado: Desarrollo de proyectos de ingeniería. Ingeniería de costos. Facultad de Química, UNAM.
- García I., Sanz J. (2011). *Electrodesionización en continuo (CEDI) para aplicaciones industriales: calderas de alta presión*. Veolia Water.
- García C. F.J., Renau G. E., Duque R. D. et al (2014). *Planta de tratamiento de agua para producción de agua desmineralizada en usos industriales. BP Oil España Refinería de Castellón, S.A.U.*
- GE Water and Process Technologies (2008). *Technology selection tools for boiler feedwater applications*.
- Gerard R., Laflamme R. (2008). *Technology selection tools for boiler feedwater applications*. General Electric.
- Girón C. J. I. (2015). Propuesta de modernización de una planta de tratamiento de agua residual de una refinería. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química.
- Guerra R. J., Fragoso O. D. (2014). *Desarrollo de proyectos de ingeniería: Ingeniería de costos*. Apuntes de diplomado. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química.
- Glegg (2000). *Industrial water made easy. Clarifies, Clarification*. Canada
- Guzmán C.L.J. (2006). *Diseño mecánico de recipientes a presión bajo el código ASME sección VIII, División 1*. Informe de pasantía. Universidad Simón Bolívar.
- Hernández M. E. (2006). *Cómo escribir una tesis*.
- HJ Lang. *Chemical Engineering*. September 1947:130–133; *Chemical Engineering*. October 1947:117–121; *Chemical Engineering*. June 1948:112–113.

- Huang, Y.Y. (2010). Analysis of Capital Cost Estimation Methods and Computer Programs, B.Eng. Dissertation, Dept. of Chemical & Biomolecular Engineering, National University of Singapore.
- Humphreys K. K., McDonald D. F., Miller C.A., Pietlock B. A., Querns W. R., Short D. I. (2005) *Cost estimate classification system – as applied in engineering, procurement, and construction for the process industries*. American Association of Cost Engineering. Recommended Practice No. 18R-97: 2-9.
- Instituto Mexicano del Petróleo. (2013). especificación técnica de proceso de la Unidad Desmineralizadora de Agua UDA-200.
- Instituto Mexicano del Petróleo (2014). Proyecto de conversión de residuales (PCR).Refinería “Ing. Antonio M. Amor”. Salamanca, Gto., México. Estimado de costos.
- INEGI (2013).Índice Nacional de Precios al Consumidor. Documento metodológico.México. 7 pp
- INEGI (2014).Índice Nacional de Precios al Productor. Documento metodológico. México.1-17 pp
- INDEC (2002). Cómo usar un índice de precios. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Argentina. 2-4 pp
- INEGI (2013). *Índices de productividad laboral y del costo unitario de la mano de obra*. Boletín de Prensa no. 533/13.
- International Society of Parametric Analyst. (2008). Parametric Estimating Handbook. Cuarta edición.EE. UU.
- IPIECA (2010). *Petroleum refining wáter/wastewater use and management*. The global oil and gas industry association for environmental and social issues. Londres.
- KM Guthrie. (1974). Process Plant Estimating, Evaluation and Control. Solana Beach, CA:Craftsman Book Company of America, 1974.
- Loh H. P., Lyons j., White C. W. (2002). *Process Equipment Cost Estimation*. National Energy Center, EG&G TEchnical Services, Inc. EE.UU.
- McGivney W. T., Kawamura S. (2008).*Cost estimating manual for water treatment facilities*. Canadá. 24 pp.
- Mejía R. A. G., Reyes M.C. A. (2008). *Memoria de cálculo selección y análisis numérico de un recipiente a presión de 600 ft3 de capacidad*. Tesis de licenciatura. Instituto Politécnico Nacional. Escuela superior de Ingeniería eléctrica y Mecánica.

- Mora R. J. J (2000). *La economía de las organizaciones*. Universidad ICESI
- Mussatti D., Vatavuk W. M. (2000). Estimación de costos: Conceptos y metodología. Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU.
- Olgún L. P., Reyes A. J. ( 2011). Memorias del seminario internacional sobre: Tratamiento integral de efluentes complejos en la Industria Petrolera. Instituto Mexicano del Petróleo.
- Ortiz, C.S. (2014). *Caso de evaluación entre dos tecnologías para la producción de agua desmineralizada: intercambio iónico vs electrodesionización*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química
- Pemex (2014). Informe de sustentabilidad 2014.
- Pemex (2013). Anexo metodológico para la elaboración del estimado de costos. Sistema Institucional de Desarrollo de Proyectos. Versión 4.
- Pemex (2013). Anuario estadístico.
- Pemex (2013). Taller de metodología de estimación de costos.
- Pemex (2011). Obtención del monto por contingencia por incertidumbre en el desarrollo del estimado de costo de proyectos de transformación industrial en Pemex. Junio 2011.
- Pemex Exploración y Producción (2010). Importancia de la programación y presupuestación y su impacto en el desarrollo de la obra.
- Pemex (2006). Conversión de residuales en la Refinería Miguel Hidalgo, Tula. Subdirección de Planeación, Coordinación y Evaluación.
- Pérez R. J. E. (2008). *Proyectos de Inversión en Plantas Químicas*. Universidad Iberoamericana.
- Perry H. R., Green D. W. (2008) Perry's Chemical Engineer's Handbook. Octava edición. McGraw-Hill. EUA.
- Peters M.S., Timmerhaus K.D. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical engineers*. McGraw-Hill. EUA. 909 pp.
- PMBOK (2004). *Guía de los fundamentos de la dirección de proyectos*. Project Management Institute. Tercera edición.

- Ponce E. P. (2015). Estudio de factibilidad técnico-económica de un proceso de incineración de residuos sólidos peligrosos. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química.
- Prasad R., Uppal K. B., Larry A. A., *et al* (2011). *Development of factored cost estimates –as applied in engineering, procurement, and construction for the process industries*. AACE International. Recommended Practice No. 59R-10: 2.
- Ramírez L. R. (2011). Estudio sobre la producción de Bioetanol a partir del bagazo de la semilla *Jatropha Curcas*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química.
- Refinor (2010). *Usos sustentable del agua en refinería*. Instituto argentino del Petróleo y del Gas, Argentina.
- Rocha C. L. A., Gama P. T. (2006). Costos preliminares en proyectos de edificación.
- Rodríguez A. (2010). *Dimensionamiento y diseño estructural del tanque de almacenamiento de agua desmineralizada para una central térmica de ciclo combinado*. Proyecto fin de carrera. Universidad Carlos III de Madrid. Escuela Politécnica superior.
- Rosado A.A.A. (2013). *Estudio para la reutilización de agua desflemada generada en platas de procesos de refinerías*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química.
- Rosal D. R. (2006). *Limitaciones técnico económicas de las opciones energéticas para el siglo XXI en el sector energético mexicano. Tecnologías de Refinación para el siglo XXI*. Instituto Mexicano del Petróleo.
- Sánchez G. H. D. (2011). Análisis y cuantificación del riesgo de sobre costo en la etapa de construcción de los proyectos. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería
- Sanz J., Guerrero L., Roca M. (2011). *Producción de agua de alta pureza: electrodesionización en continuo (CEDI)*. VEOLIA Water Systems Ibérica.
- Seider, W.D., Seader, J.D. and Lewin, D.R. (2010). "Product and Process Design Principles," 3rd ed., John Wiley & Sons Inc., New York .
- Sepúlveda P. C. E. (2014) *Estrategias de uso eficiente de agua en el SNR*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química.
- Torres R.R., Castro A. J. J. (2002) *Análisis y simulación de procesos de refinación del petróleo*. Instituto Politécnico Nacional. México. 14 pp.

- Templos C.M (2009). *Aplicación del método de Guthrie para la estimación de costos de capital en una planta de tratamiento de aguas residuales evaluado en la etapa de viabilidad del proyecto*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química.
- UNAM (2011). *Evaluación para el aprovechamiento eficiente del agua en la refinería "Francisco I. Madero", en Cd Madero Tamaulipas*. Grupo de Ingeniería Ambiental, Facultad de Química.
- UTC (2013). *Proyectos de Ingeniería*. España 21 pp.
- Vandame, J.P. (2010). *Acondicionamiento de agua para generación de vapor*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química.
- Vargas C. A. V. (2009). *Actualización y monitoreo del Sistema de agua desmineralizada del centro de tecnología global de Colgate-Palmolive México*. Tesis de licenciatura. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
- WE Hand. (1958). *Petroleum Refiner*. September 1958:331–334.
- WF Wroth. *Chemical Engineering*. (1960) October 17, 1960:204.
- Wong, C.L. (2010). *Development and Application of a Capital Cost Estimation Program*, B.Eng. Dissertation, Dept. of Chemical & Biomolecular Engineering, National University of Singapore, 2010.

## **PÁGINAS WEB**

- Aquatracta (2015). *Funcionamiento de un descalsificador*. Disponible en: <http://www.aquatracta.com/Edificios.Descalcificacion.2.html>. Fecha de consulta: febrero 2015.
- Bureau of Labor Statistics (BLS). Disponible en <http://www.bls.gov/bls/newsrels.htm>. Fecha de consulta: Octubre 2015.
- Castillo J., Gómez G.(2011). *Procesos de tratamientos de aguas Coagulación y Floculación*. Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda". Disponible en: <http://es.slideshare.net/guillermo150782/coagulacion-y-floculacion>. Fecha de consulta: Julio 2015.
- Casillas G. (2015). *Inflación, deflación y desinflación*. El Financiero. Disponible en: <http://www.elfinanciero.com.mx/opinion/inflacion-deflacion-y-desinflacion.html>. Fecha de consulta: Julio 2015



- Chemical Engineering (2002). The five year rule. Disponible en:  
[www.che.com/articles](http://www.che.com/articles). Fecha de consulta: Enero 2014.
- Chemical Engineering (2015). Issues. Disponible en:  
<http://accessintelligence.imirus.com/Mpowered/book/vche14/i7/p1>. Fecha de consulta: Noviembre 2015.
- ENR (2015). Engineering News Record. Disponible en:  
<http://enr.construction.com/economics/>. Fecha de consulta: marzo 2015.
- INEGI (2015). *Salarios en la industria manufacturera, países seleccionados*. Disponible en:  
<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=25433&t=1>. Fecha de consulta: julio 2015.
- Investment Program Association (IPA) (2015). Disponible en: <http://www.ipa.com/>.  
Fecha de consulta: Octubre 2015.
- Lewa (2015). Refinery processing scheme. Alemania. Disponible en:  
<http://www.lewa.es/es/soluciones/industrias/refineria/>. Fecha de consulta: febrero 2015.
- Oil & Gas Journal* (2014). Nelson-Farrar Cost Indexes. Disponible en:  
<http://www.ogj.com/articles/print/volume-112/issue-1/processing/nelson-farrar-cost-indexes.html>. Fecha de consulta: marzo 2015.
- PEMEX. (2015). Pronóstico de Demanda de Bienes y servicios. Dirección Corporativa de Procura y Abastecimiento. Subdirección de Desarrollo y Relación con Proveedores y Contratistas. Disponible en:  
<http://pronosticodemanda.pemex.com/DemandaBienes/Forms/Principales/MenuBienes.aspx?OpcBienGlobal=1>. Fecha de consulta Marzo 2015.
- Ral Academia Española.  
<http://buscon.rae.es/drae/srv/search?id=5AS3qreYfDXX2BeQXOiX>. Fecha de consulta: Septiembre 2015.
- STPS ( 2015). Salarios mínimos generales y profesionales por áreas geográficas. Disponible en: [http://www.conasami.gob.mx/t\\_sal\\_mini\\_prof.html](http://www.conasami.gob.mx/t_sal_mini_prof.html) Fecha de consulta: Diciembre 2015.
- Qandil (2012). Forum Infrastructure & Finance news. Disponible en:  
<http://kurdistanskyscrapers.com/search/2/?c=3&mid=3436845&month=12&year=2012>.  
Fecha de consulta: febrero 2015.