



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

---

---

**ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE  
MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DEL  
INTERCAMBIADOR DE CALOR DE VIDRIO DE  
PLANTA PILOTO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO QUÍMICO**

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

**TOVAR SALAS ESMERALDA MONSERRAT**



**DIRECTOR DE TESIS:  
I.Q. ALDO FERNANDO VARELA MARTÍNEZ**

**CDMX 2019**



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

\*ZARAGOZA\*

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/656/19

ASUNTO: Asignación de Jurado

Alumno (a): Tovar Salas Esmeralda Monserrat

PRESENTE

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

PRESIDENTE	M. EN I. CRESENCIANO ECHAVARRIETA ALBITER
VOCAL	I.Q. ALDO FERNANDO VARELA MARTÍNEZ
SECRETARIO	M. EN C. CESAR SAÚL VELASCO HERNÁNDEZ
SUPLENTE	I. BQ. PAULETTE TAPIA TORRES
SUPLENTE	M. EN I. ELISA BLANCA VIÑAS REYES

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
CDMX, a 18 de octubre de 2019.

JEFE DE CARRERA

M. EN C. CESAR SAÚL VELASCO HERNÁNDEZ





UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES "ZARAGOZA"

DIRECCIÓN

**JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN  
ESCOLAR  
PRESENTE.**

Comunico a usted que al alumno(a) **Tovar Salas Esmeralda Monserrat**, con número de cuenta **41508677-0** de la carrera **Ingeniería Química**, se le ha fijado el día **06** del mes de **Diciembre** de **2019** a las **11:00 horas** para presentar su examen profesional, que tendrá lugar en la sala de exámenes profesionales del Campus II de esta Facultad, con el siguiente jurado:

PRESIDENTE	M. EN I. CRESENCIANO ECHAVARRIETA ALBITER
VOCAL	I.Q. ALDO FERNANDO VARELA MARTÍNEZ
SECRETARIO	M. EN C. CESAR SAÚL VELASCO HERNÁNDEZ
SUPLENTE	I.B.Q. PAULETTE TAPIA TORRES
SUPLENTE	M. EN I. ELISA BLANCA VIÑAS REYES

El título de la tesis que se presenta es: **Elaboración de un manual de mantenimiento y operación del intercambiador de calor de vidrio de planta piloto.**

Opción de Titulación: Convencional

**A T E N T A M E N T E**  
**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
**CDMX; a 25 de Noviembre de 2019.**

**DR. VICENTE JESUS HERNANDEZ ABAD**  
**DIRECTOR**

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES  
ZARAGOZA  
DIRECCIÓN

RECIBÍ:  
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES  
Y DE GRADO

Vo.Bo.  
M. EN C. CESAR SAUL VELASCO HERNÁNDEZ  
JEFE DE LA CARRERA DE I.Q.

## DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a las personas más importantes de mi vida:

A mis padres:

**Ma. Del Carmen Salas Díaz y José Luis Tovar Ariza**, quienes con su amor, esfuerzo y dedicación me han permitido cumplir esta meta.

A mi mamá le dedico este logro con todo mi amor, respeto y admiración, porque es la persona más importante en mi vida. Te amo mamá.

Dedicada a la memoria de mi papá Luis Tovar, quien trabajo durante muchos años como fogonero. Te dedico este trabajo por tu labor de mantenimiento de equipos de servicios. Te dedico este logro por animarme a cumplir mis sueños. Siempre estarás en mi corazón papá.

A mis tíos:

**Alicia Salas Díaz y Ángel Cervantes García**, por su amor y apoyo incondicional durante toda mi vida personal y académica. Gracias tíos por apoyarme a continuar con mis sueños y por sus palabras, los admiro y los quiero muchísimo. Les dedico con todo mi cariño este logro, y muchas gracias por haber cuidado de mí papá, mamá y de mí.

A mis primos:

**Angélica, Gabriela y Miguel**, por ser como mis hermanos mayores, gracias por cuidar de mí todos estos años, por aconsejarme, por quererme, los quiero y les dedico este logro.

**A mis sinodales:**

I.Q. Aldo Fernando Varela Martínez

M. en C. Cesar Saúl Velasco Hernández

I. BQ. Paulette Tapia Torres

M. en I. Crescenciano Echavarieta Albiter

M. en I. Elisa Blanca Viñas Reyes

A mis sinodales, con todo mi respeto, admiración y afecto, les dedico este logro a cada uno de ustedes que formaron parte de este proceso, y me dieron los mejores consejos. Gracias profesores por su ayuda, por su tiempo y por sus recomendaciones para mejorar este trabajo de Tesis. Pero principalmente les dedico este trabajo por todo lo que me brindaron durante la carrera, por preocuparse realmente por nosotros los estudiantes de Ingeniería Química.

Finalmente le dedico este trabajo a la Universidad que me dio la bienvenida y me brindo oportunidades para entrar al mundo real: a la **Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM**; y por supuesto a las nuevas generaciones de Ingeniería Química, esperando que aprovechen al máximo este trabajo y desarrollen nuevas cosas para que se conviertan en grandes profesionistas.

## AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas que han estado conmigo a lo largo de este proceso, y por eso quiero expresarles lo agradecida que me siento con todos. En primer lugar, quiero agradecer a mi Director de tesis **Aldo Varela** y también a la profesora **Paulette Tapia** por haberme ayudado en el desarrollo de este trabajo. Gracias por creer en mí y por su apoyo durante este proceso, pero sobre todo gracias por su amistad. Los admiro y aprecio mucho.

Gracias a la profesora **Elisa Viñas** y al técnico **Jesús Grijalba**, por la información que me brindaron acerca del intercambiador de calor de vidrio y por todo el apoyo.

Gracias profesor **Cresenciano Echavarrieta** por las observaciones que realizó, por sus consejos, por ser parte de este trabajo de tesis y por su amistad.

Gracias profesor **Cesar Velasco** por las observaciones, gracias por su amistad y apoyo incondicional.

Gracias a **Erick Valentino** por su apoyo para la realización de planos en 3D para el intercambiador de calor de vidrio.

Gracias a todos mi sinodales por sus revisiones y su tiempo, gracias profesores por haberme enseñado tantas cosas y por haberme permitido el desarrollo de esta tesis, y sobre todo gracias por su amistad.

También agradezco a la **Facultad de Estudio Superiores Zaragoza**, donde me he formado, gracias facultad porque te convertiste en mi segundo hogar, gracias por abrirme tus puertas y gracias por todo este tiempo.

Gracias a toda mi familia por su apoyo y amor. Siempre me he sentido plena por tener una maravillosa familia, por inculcarme valores y por cuidar de mí, gracias por haberme guiado para convertirme en una mejor persona. Hoy, gracias a sus enseñanzas estoy cumpliendo un logro satisfactoriamente, mi proyecto de tesis y esto es gracias a sus palabras y apoyo incondicional.

Quiero agradecerles por todo, no me alcanzan las palabras para expresar todo el cariño y admiración que siento por tener a una familia tan noble y asombrosa. Gracias **mamá** y **papá** por amarme como nadie; **gracias tíos** por ser mis segundos padres; **gracias primos** por ser mejor que un hermano mayor, por su afecto hacia mí y por estar conmigo en todo momento.

**Gracias mamá** por cuidar de mí durante esta etapa académica, gracias por ser tan fuerte y trabajadora, pero sobre todo gracias porque siempre me dirigiste a convertirme en una profesionalista. **Gracias papá** por ser un ejemplo de puntualidad y responsabilidad. Las fuerzas y las palabras de mi papá durante los últimos momentos que pasé con él, me dieron una nueva apreciación y significado de la vida, es por eso valoro aún más este momento. Gracias familia por ser mi mayor ejemplo, los amo.

Por último, gracias a mis compañeras y amigas **Ana** y **Martha**, por compartir conmigo cada momento durante la carrera, gracias por sus palabras y apoyo en los momentos más difíciles. Nunca olvidaré lo mucho que trabajamos juntas por construir nuestros sueños y lograr nuestras metas. Deseo de todo corazón que cumplan todos sus sueños con éxito y que sigamos siendo unidas aún después de esta etapa.

**Simplemente gracias a todos, con cariño:**

**TOVAR SALAS ESMERALDA MONSERRAT**

## Contenido

RESUMEN .....	iii
INTRODUCCIÓN .....	v
JUSTIFICACIÓN.....	vii
OBJETIVOS.....	viii
CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	1
1.1 Manual.....	2
1.1.1 Definición y clasificación de un manual .....	2
1.2 Mantenimiento.....	5
1.2.1 Definición y tipos de mantenimiento .....	5
1.2.2 Antecedentes Históricos .....	9
1.3 Operación.....	15
1.4 Acerca del manual de mantenimiento y operación.....	15
CAPÍTULO II. EL INTERCAMBIADOR DE CALOR .....	17
2.1 Transferencia de calor .....	18
2.1.1 Mecanismos de transferencia de calor.....	18
2.1.2 Importancia de la transferencia de calor .....	25
2.2 Equipos de Intercambio de calor.....	26
2.2.1 Clasificación del intercambiador de calor .....	28
2.3 Intercambiador de Calor de tubos y coraza .....	28
2.3.1 Partes del intercambiador de tubos y coraza .....	29
2.4 Errores operativos del intercambiador de calor .....	31
CAPÍTULO III. IMPORTANCIA DEL MANUAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN .....	34
3.1 Importancia de un manual de mantenimiento y operación.....	35
3.2 Contenido de un manual de mantenimiento y operación.....	38
3.3 Aspectos de seguridad del manual de mantenimiento y operación .....	43
3.4 Uso de herramientas adecuadas para el mantenimiento de equipos .....	45

---

<b>CAPÍTULO IV. MANUAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE VIDRIO.....</b>	<b>47</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>81</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>85</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>86</b>
<b>Anexo I. Tipos de cabezales y corazas para Intercambiadores de Calor de     Tubos y coraza de acuerdo a “TEMA”.....</b>	<b>87</b>
<b>Anexo II. Formato de capacitación para usuarios que operan el ICV.....</b>	<b>88</b>

## RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo es generar un manual de mantenimiento y operación para el intercambiador de calor de vidrio ubicado en planta piloto de la FES Zaragoza campus II, ya que actualmente el equipo es un prototipo único diseñado para el desarrollo de actividades prácticas, por lo que su uso requiere atención técnica para garantizar el adecuado funcionamiento y operación del equipo.

Se desarrolla un manual con base a las necesidades del equipo y de acuerdo a manuales técnicos que han servido de apoyo para su elaboración, a fin de establecer un contenido que brinde especificaciones del equipo a los usuarios que realizan actividades relacionadas con el mantenimiento y operación del intercambiador.

Para la elaboración del manual se hizo una inspección detallada del equipo y se establecieron períodos de revisión, con el objeto de identificar las partes que lo conforman y los servicios que se requieren. Con la información obtenida, se enlistaron las características del equipo, además se actualizó el plano que se tenía del intercambiador de calor como parte de la identificación de accesorios y servicios que se emplean para el funcionamiento del equipo.

El manual propone un índice con los apartados más relevantes que debe contener este escrito. En este caso la información va desde las generalidades del equipo hasta las indicaciones que se sugieren para el adecuado mantenimiento del intercambiador de calor.

Para fines prácticos, este trabajo se ha conformado de cuatro capítulos en los que se incluye la presentación del manual de mantenimiento y operación del intercambiador de calor de vidrio (ICV).

**Capítulo I.** Aparecen los conceptos de manual, operación y mantenimiento, también se menciona la clasificación de los manuales y los tipos de mantenimiento que existen. Este capítulo se basa en conceptos clave para las siguientes secciones.

**Capítulo II.** Describe el fundamento teórico de un equipo de transferencia de calor, la clasificación de un intercambiador de calor y las partes que conforman ha dicho equipo.

**Capítulo III.** Se justifican las razones por las que es importante un manual. Explica cómo influye un manual de mantenimiento y operación, para la seguridad de los usuarios y de los equipos, así mismo se menciona la importancia de un índice adecuado para un manual.

**Capítulo IV.** Presenta el manual de mantenimiento y operación con tres capítulos, considerando las especificaciones del equipo, mostrando los pasos para la operación y paro del equipo, así mismo indicando la forma de limpiar el intercambiador.

## INTRODUCCIÓN

Como parte esencial de la operación de cualquier equipo dentro de un área productiva es de suma importancia que los usuarios contemplen algunos aspectos de seguridad, como: a) portar el equipo adecuado de seguridad, b) respetar el reglamento de una empresa y c) hacer uso de un manual para poder operar equipos. Todo esto para garantizar la buena práctica y el funcionamiento adecuado de estos. Por tal motivo, contar con manuales de operación y mantenimiento podría brindar mayor seguridad a los usuarios durante las actividades que se realizan.

Por otra parte, el establecer un manual de operación resulta eficaz para comunicar la manera de operar un equipo, y brindar a los usuarios la independencia que necesitan para realizar sus actividades dando mejores resultados.

Elaborar un manual de mantenimiento y operación es importante en las industrias para establecer una serie de instrucciones para la operación y cuidado de los equipos, ya que en primera instancia provee a los usuarios de suficiente información técnica, como pudiera ser: potencia de un equipo, presión, temperatura, voltaje, entre otros; con el fin de que los usuarios puedan identificar a que condiciones de operación se maneja un equipo. Cabe destacar que el manual del intercambiador fue elaborado anteriormente como parte de la beca PAPIME PE-105818, para el proyecto de “Elaboración de manuales de operación y mantenimiento de equipos en planta piloto de la carrera de Ingeniería Química.”. Sin embargo, en comparación con el manual elaborado para dicho proyecto en donde se mostraron los pasos para la operación del intercambiador y la limpieza para el equipo así como el esquema de operación, este nuevo manual contiene otros aspectos como: medidas de seguridad, partes del intercambiador de calor con imágenes en 3D del equipo, Tabla de válvulas y accesorios para la operación del intercambiador, Tabla de sustancias recomendadas para su uso, check list para la inspección del equipo y un plan de capacitación para los usuarios.

El manual se realizó de acuerdo a los datos disponibles del intercambiador de calor de vidrio y con ayuda de diversas consultas bibliográficas, ya que el equipo estuvo fuera de servicio y no se tiene información de la empresa o del fabricante que diseñó el intercambiador de calor de vidrio.

La elaboración de un manual de mantenimiento y operación, es una tarea que lleva tiempo, ya que se desconoce la forma o los pasos para realizar dichos manuales, y porque es común que sean creados por personas con un conocimiento teórico-práctico. Dado que la Ingeniería Química se enfoca a distintas áreas en las que se interactúa con equipo industrial, es importante aprender a identificar los diferentes tipos de mantenimiento que existen y la forma adecuada de operar un equipo, para mejorar el funcionamiento de las máquinas.

El intercambiador de calor de vidrio se ubica en la planta piloto de FES Zaragoza campus II, y actualmente presenta complicaciones técnicas para su operatividad, y no cuenta con un manual entregado por el proveedor del equipo. Por esta razón, un área de oportunidad es presentar la elaboración del manual de mantenimiento y operación, con la finalidad de que el personal de planta, los docentes de LTP y los estudiantes de ingeniería, conozcan la información de dicho equipo. La realización de este tipo de proyecto, incluye una descripción general y principios de operación, partes que conforman al equipo, una serie de instrucciones para la operación y pasos para los ajustes y limpieza del intercambiador de calor de vidrio.

La elaboración del manual lleva consigo una investigación previa, en cuanto a la parte del concepto y clasificación de manual, concepto y tipos de mantenimiento, definición de operación, y temas relacionados con los tipos de intercambiadores de calor y aspectos de seguridad. Estos conceptos se tomaron con la finalidad de desarrollar el manual que está dirigido a los usuarios que realizan alguna actividad en planta piloto.

## JUSTIFICACIÓN

Un manual de mantenimiento y operación puede ser un auxiliar de funciones preventivas y correctivas para un equipo, ya que se establecen una serie de pasos y recomendaciones para los usuarios, con el fin de que puedan operar un equipo de forma correcta.

El intercambiador de calor de vidrio es un equipo que se utiliza para el desarrollo de actividades prácticas realizadas en la planta piloto, correspondientes al Laboratorio y Taller de Proyectos de sexto semestre, por lo que es importante que los usuarios comprendan el funcionamiento y operatividad de dicho equipo.

Por tal motivo, el desarrollo del manual de mantenimiento y operación del intercambiador de calor de tubos y coraza de material de vidrio, promueve la mejora y el cuidado continuo de este equipo. Por otro lado, el manual fomenta otra área de desarrollo profesional para los estudiantes de Ingeniería Química, de este modo pueden relacionar lo escrito en el manual, con la parte práctica para la operación del intercambiador, además de que se pueden conocer las medidas de seguridad para operar y dar mantenimiento al equipo, y así cuidar del equipo.

## OBJETIVOS

### Objetivo General:

Elaborar un manual de mantenimiento y operación para el intercambiador de calor de tubos y coraza de vidrio ubicado en planta piloto FES Zaragoza, UNAM.

### Objetivos Específicos:

- Investigar, comprender y aplicar los conceptos básicos relacionados con un manual de mantenimiento y operación a partir del uso del intercambiador de calor implementado en la realización de prácticas de Ingeniería Química.
- Analizar e identificar la importancia que representa la implementación del manual, en el desarrollo profesional del Ingeniero Químico.

## **CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

## 1.1 Manual

### 1.1.1 Definición y clasificación de un manual

Un manual es aquel escrito que contiene de forma lógica y organizada una serie de procedimientos o especificaciones para cumplir un objetivo o para mejorar el funcionamiento de un sistema.

Etimológicamente la palabra manual que viene del latín “*manuālis*”, se entiende como un procedimiento sencillo que es elaborado con las manos.

Los enunciados anteriores mencionan de forma general lo que significa la palabra manual, sin embargo, pueden existir conceptos más específicos dependiendo del área a la que va dirigida el manual. Para este caso se busca comprender que es un manual de tipo técnico o bien un manual para operadores.

Un manual de mantenimiento y operación es un conjunto de métodos de uso y recomendaciones de un equipo para mejorar y garantizar su funcionamiento, sobre todo plasma la información más relevante para operar un equipo por primera vez, y así evitar posibles accidentes y daños al equipo. Este tipo de manuales también integra datos acerca del equipo, recomendaciones (p.ej. uso sustancias recomendadas en la operación del equipo), y esquemas para la secuencia de operación e indicaciones para la limpieza del equipo.

Debido a la naturaleza de este tipo de texto, es común que un profesional técnico lo redacte, ya que ellos son los que conocen la manera de operar y dar mantenimiento a un equipo y saben qué hacer en caso de alguna falla. Por el tipo redacción (técnica) que se encuentra en estos tipos de manuales, se entiende que va dirigido a todo asistente técnico que se encarga de cuidar del funcionamiento de un equipo.

Este modelo de manual en ocasiones aparece con el nombre de “manual de funcionamiento y mantenimiento”, “manual para operadores” o “manual de operación, mantenimiento y limpieza” y por cada equipo debe existir uno.

Sin embargo, cabe señalar que en ocasiones este tipo de manual es entregado con el equipo, es decir, las empresas que se dedican a la venta de equipos proporcionan al cliente las especificaciones del equipo que aparecen en el manual, el cual indica todas las generalidades para que los operadores que lo reciban puedan manejarlo correctamente.

A pesar de ser un manual para operadores, la redacción debe ser sencilla de comprender, esto con la finalidad de que los diferentes usuarios puedan hacer utilizar dicho manual para las actividades que tengan que realizar con el equipo de producción.

En resumen un manual es un cumulo de información organizada que describe la secuencia de uso y operatividad de un equipo, en donde se integra lo más sustancial del tema a tratar con la finalidad de auxiliar al trabajador en lo que vaya a llevar a cabo.

Por otra parte, la clasificación de un manual en las empresas, se genera desde el área administrativa ya que de ahí parte toda la organización del lugar de trabajo.

Los manuales pueden clasificarse de acuerdo a distintos criterios, comúnmente se clasifican de acuerdo a los departamentos que existen en una empresa. Por tal motivo, los manuales se clasifican de acuerdo a dos propósitos:

- 1) **Por su contenido.** Como su nombre lo indica, se refiere a los manuales que cubren una variedad de áreas, y se basan en propósitos y descripciones detalladas de un ámbito específico, para poder conocer todo acerca de la empresa. Estos tipos de manuales, brindan información histórica de la empresa, y son parte de la organización que debe existir.
- 2) **Por su función específica.** Son aquellos manuales que posee cada departamento en una empresa, incluyendo la labor de los trabajadores, es decir, incluyendo las manuales en los que aparece el personal y las actividades que deben desarrollar (Clasificación de los manuales, s.f).

La Tabla número 1, muestra el nombre de los manuales que hay de acuerdo a los dos propósitos mencionados anteriormente.

<b>Tabla 1. Clasificación de los manuales</b>	
<b>Por su contenido</b>	<b>Por su función específica</b>
M. De Historia de la Empresa Contiene de forma ordenada información referente al origen de la empresa, desde que surgió hasta la fecha actual, la misión y visión de la empresa y los objetivos.	M. De Ventas Está orientado al desempeño de las tareas de ventas para el personal comercial de la empresa.
M. De Organización Muestra la estructura organizacional de la empresa, en donde se hace una descripción de las funciones y responsabilidades de los distintos puestos de trabajo.	M. De Compras En este manual se definen distintos métodos de compras para una empresa, y al igual que el de ventas está dirigido para el personal comercial, o el personal que trabaja en esas áreas de la empresa.
M. De Políticas Maneja los lineamientos o políticas a seguir para las actividades de una empresa.	M. De Finanzas Muestra obligaciones e indicaciones financieras para quienes suministran y organizan la información financiera, de forma que se cuiden los bienes de la empresa.
M. De Procedimientos y Normas Es una guía que describe de forma sistemática como realizar las actividades del trabajo o bien se refiere a los procedimientos para el trabajo, y contiene un conjunto de definiciones operacionales.	M. De Personal Indica instrucciones para ayudar a las actividades del personal. Abarca aspectos como: reclutamiento y selección, lineamientos para el manejo de conflictos, políticas de personal, capacitación, etc.
M. De Contenido Múltiple. Este tipo de manual surge cuando no se justifica el uso de diversos manuales en la empresa, y se hace una combinación de dos o más manuales, dividiendo el mismo manual en distintos tomos.	M. De Créditos y Cobranzas Contiene aspectos para el control y cobro de diversas operaciones.
M. Del Empleado (o de puesto) Incorpora toda la información de interés para los trabajadores que comienzan a trabajar. En el manual están los objetivos de la empresa, las actividades a desarrollar, derechos y obligaciones del empleado, etc.	M. Técnico Como su nombre lo indica, menciona técnicas para una situación determinada, es decir, sirve como una guía para el personal responsable de una actividad.

Fuente: Elaboración propia con datos recuperados de:

<https://es.scribd.com/document/176912669/CLASIFICACION-DE-LOS-MANUALES>

Fecha: 3 de abril de 2019

Existen diversos tipos de manuales, sin embargo, hay cierta importancia en conocerlos, ya que de ello depende el contenido y propósito que se tenga en ciertas áreas, es decir, de acuerdo al departamento en el que se labore en una empresa.

Por otra parte, el manual de mantenimiento y operación no se encuentra dentro de esta clasificación, ya que es un escrito que sólo poseen las empresas dedicadas a la producción o venta de equipos, es decir, son fabricantes de equipo, y por tal motivo ellos pueden generar este manual para poder comercializar sus productos (en este caso máquinas industriales). El manual de mantenimiento y operación no entra dentro de la organización y procedimientos administrativos de una empresa, por lo tanto no es parte de la clasificación de manuales.

## **1.2 Mantenimiento**

### **1.2.1 Definición y tipos de mantenimiento**

La palabra mantenimiento se refiere a una acción que tiene como propósito *cuidar o preservar*; por lo que, si se habla del mantenimiento industrial, nos estamos refiriendo a la acción de conservar un equipo en buen estado mediante una serie de técnicas para impulsar la vida útil de cualquier máquina industrial.

Realizar mantenimiento tiene como propósito mantener en buen estado un equipo, siguiendo las siguientes características:

- ❖ Establecer vigilancia periódica para un equipo
- ❖ Aplicar acciones correctivas y preventivas
- ❖ Reconocer cuando un equipo aún tiene reparación o es necesario reemplazarlo
- ❖ Evitar paros innecesarios
- ❖ Evitar accidentes
- ❖ Reducir o evitar gastos innecesarios

Los equipos o máquinas industriales pueden ser comparados con el cuerpo humano, es decir, las máquinas al igual que los humanos emplean energía para llevar a cabo ciertas funciones, que en la industria se traducen como un proceso.

Nosotros al igual que una máquina industrial, necesitamos suficiente energía y una buena condición física para poder desempeñar todas nuestras actividades, sin embargo, si nos enfermamos o nuestra condición física no es la mejor, es evidente que la forma en que nos desempeñemos en nuestro día a día no será realizado de la misma manera, lo cual significa que necesitamos identificar que sucede en nuestro cuerpo, para lo cual recurrimos a un médico, y él para saber a detalle que nos sucede nos revisa o en su defecto manda a hacer una serie de estudios para encontrar que es lo que anda mal en nuestro cuerpo, posteriormente indica una serie de recomendaciones que debemos seguir y menciona cuales son los mejores medicamentos o tratamientos que nos ayudarán a mejorar; esto sería en el área de mantenimiento un **procedimiento correctivo**.

Por otra parte, cuando somos pequeños y conforme vamos creciendo nos indican que debemos tener ciertas vacunas para evitar riesgos de salud o algunas enfermedades, lo cual significa que estamos previniendo estas situaciones. Esto podría ser traducido a la industria como **mantenimiento preventivo**; por supuesto, todo esto en la industria se refiere a una inspección para aplicar **acciones preventivas** en los equipos industriales. Lo mismo sucede con los aparatos que empleamos y con los equipos de proceso, sólo que en este caso en lugar de solicitar un doctor, se recurre a un técnico en mantenimiento (especializado en el área), para que verifique y brinde opciones para reparar alguna falla que posiblemente ya existe en una máquina, o para poder prevenir problemas en un futuro.

Los tipos de mantenimiento que se pueden realizar están en función de ciertas características, como: 1) tipo de empresa, 2) propósito de la empresa 3) objetivos de la empresa, 4) tipos de equipos y 5) recursos necesarios.

De forma general se conocen 4 tipos de mantenimiento: **correctivo, preventivo, predictivo y modificativo**, pero estos tipos de mantenimiento tienen su diferencia en cuanto al tipo de tarea que se planea realizar. A continuación, se indican en la Tabla número 2, los tipos de mantenimiento de acuerdo a ciertas características:

<b>Tabla 2. Tipos de mantenimiento</b>	
<b>Según su objetivo</b>	
<b>Correctivo</b>	Como su nombre lo indica se refiere a las actividades encargadas de corregir los errores que se puedan presentar en los equipos. Básicamente consiste en la sustitución de piezas en un equipo cuando se presenta alguna anomalía o falla en cuanto al funcionamiento, cambiando las piezas se puede lograr una mejora en el equipo, evitando así un problema o avería.
<b>Preventivo</b>	Se refiere a la prevención de los errores en el equipo. Este tipo de mantenimiento se basa en las inspecciones de forma periódica para poder identificar el estado y funcionamiento del equipo. Las características en las que se basa la prevención se refieren a variables que son importantes en los equipos de procesos, como presión, temperatura, etc. Cuando se aplica este tipo de mantenimiento no necesariamente existe una falla en el equipo, simplemente se realiza con el propósito de prevenir posibles defectos, por lo que en los manuales pueden aparecer recomendaciones por parte del fabricante en un tiempo determinado para evitar posibles fallas. Ya que es un tipo de mantenimiento donde se establecen una serie de recomendaciones con cierta periodicidad, se sabe que es sistemático en cuanto a su contenido.
<b>Predictivo</b>	Se emplea para anticipar fallas de acuerdo a experiencias previas o en base a algún mantenimiento correctivo que ya se haya llevado a cabo, es decir, básicamente se predice que podría suceder si pasa algún tipo de problema en un equipo. Por ejemplo, este método es eficaz cuando lo que se requiere es reducir costos en la empresa y generar mayor competitividad, entonces para evitar que se genere algún error, se procede a cambiar las piezas con anticipación para que la máquina que está operando no comience a fallar y no entre en paro durante el proceso de producción. Para poder aplicar este tipo de mantenimiento se requiere de un buen análisis del estado del equipo, por lo que los encargados de realizar el mantenimiento necesitan conocimiento y práctica en este ámbito. La información que se necesita para solucionar una falla en este

	tipo de mantenimiento se basa en la información de los sistemas de Gestión, como datos almacenados en CRM <sup>1</sup> , ERP <sup>2</sup> , hojas de Excel, etc.
<b>Modificativo</b>	Es un tipo de mantenimiento moderno que se encarga de reparar fallas por la antigüedad de las máquinas ya que empiezan a pertenecer a un tipo de tecnología obsoleta. Se realizan procedimientos para adecuar elementos a nuevos requerimientos (productivos, medioambientales, económicos, etc).
<b>Según su aplicación</b>	
<b>Cero horas (mantenimiento Overhaul)</b>	Como su nombre lo indica, se deja sin funcionamiento el equipo (cero horas de operación), con la finalidad de poderlo revisar bien y corregir las fallas que se generan por desgaste y operación de la máquinas.
<b>En uso</b>	Al contrario de mantenimiento cero horas, en éste se busca realizar el mantenimiento aun cuando la máquina está operando. El mantenimiento en uso se puede realizar de esta forma porque no afecta la actividad de la máquina y se hace siempre y cuando la reparación o intervención en el equipo no sea un problema tan grave, es decir, algún ajuste de piezas o lubricación.
<b>De oportunidad</b>	Por ejemplo, si ya se estipularon ciertos días de operación para ciertas máquinas mientras otras tienen su período de limpieza o paro, o es temporada de baja producción, días no laborales u otro motivo en el que algunos equipos no estén en funcionamiento, se pueden aprovechar estos períodos para aplicar algún tipo de mantenimiento, identificando a este mantenimiento como oportunidad de aprovechamiento.
<b>Según el responsable</b>	
<b>Interno</b>	Se aplica cuando el mantenimiento no requiere tanta información o una reparación complicada, por lo que los propios empleados pueden realizar dicha tarea, por ejemplo: lubricación de alguna pieza, es decir, puede ser aplicado por el trabajador de la máquina, siempre y cuando sea un trabajo sencillo.
<b>Externo</b>	Se aplica cuando en una empresa los empleados no tienen el conocimiento suficiente de cómo realizar el mantenimiento por lo cual para la empresa es mejor opción recurrir a profesionales, ya sea un técnico en mantenimiento o el mismo fabricante del equipo, es por eso que es externo o subcontratado.

Fuente: Elaboración propia con datos recuperados de: <https://www.emprender-facil.com/es/tipos-de-mantenimiento-pyme/> Fecha: 3 de abril del 2019

<sup>1</sup> **ERP: Enterprise Resource Plannig** (sistema de planificación de recursos empresariales). Se refiere a un sistema informático que tiene como fin ayudar a los negocios a gestionar la producción, logística, inventario, distribución, factura y contabilidad. Son sistemas de gestión global de información que automatizan muchas de las prácticas asociadas con los aspectos operativos o productivos de una empresa.

<sup>2</sup> **CRM: Costumer Relationship Managment** (sistema para la administración de la relación con los usuarios). Se refiere a un software dedicado a relaciones con el cliente. Su función principal es tener toda la información disponible para los clientes. Los CRM, comprenden varias funcionalidades para gestionar las ventas y los clientes de una empresa: automatización y promoción de ventas, tecnologías data warehouse (almacén de datos), etc. (¿Qué son los sistemas ERP Y CRM?, 2017)

Es importante que exista un constante monitoreo en los equipos para identificar las fallas, pero también es relevante que exista una buena identificación del tipo de mantenimiento que se quiere aplicar. Algunos de los tipos de mantenimiento mencionados anteriormente dependen de otros, y es mejor identificar desde un inicio cual es la mejor alternativa para la situación a la que se quiera aplicar, ya que de esto depende como mejore o se corrija el problema en una máquina, para analizar e identificar si dicho problema traerá consigo implicaciones en cuanto a la parte económica, dado la falta de mantenimiento pertinente.

### **1.2.2 Antecedentes Históricos**

La necesidad de mitigar riesgos en la industria, conduce a crear una serie de reglas o procedimientos específicos dentro del lugar de proceso para evitar siniestros y cuidar tanto del personal, como de los equipos que puedan existir en una planta de proceso.

En la actualidad existen diversos medios para reducir problemas, evidentemente todo va a depender del tipo de riesgo que se quiera evitar. Una de las formas más sencillas de ayudar a prevenir riesgos en la industria y en el personal de trabajo, es un manual de mantenimiento y operación de los equipos. Para la elaboración de estos manuales, se identificaron diversos antecedentes que dieron lugar al mantenimiento y posteriormente a la elaboración de manuales. El mantenimiento surge como una actividad que procura minimizar averías o fallas en los equipos, y poco a poco ha evolucionado de acuerdo a las necesidades de las empresas.

Desde la época primitiva el hombre se preocupó por crear nuevas herramientas y mejorarlas, o por lo menos trato de conservarlas en buen estado. Antes del año 1750, las actividades de la población estaban destinadas en su mayoría a la agricultura, y los trabajos que se realizaban eran artesanales, por supuesto ya existían algunas máquinas que eran accionadas con ayuda de la mano de obra (personas) y que a su vez aprovechaban los recursos que tenían para hacer su trabajo. Básicamente la economía estaba basada en los trabajos agropecuarios y el

autoconsumo (no precisamente en la producción y venta de productos). Por otro lado, las ciudades eran pequeñas y poco desarrolladas durante esa época; no obstante, esta situación cambió con la invención de la máquina de vapor por el Ingeniero Mecánico James Watt (Mantenimiento Industrial: ¿Conoces el origen del mantenimiento preventivo?, 2017). Esta invención que dio paso al desarrollo de la primera Revolución Industrial, la cual nació en Gran Bretaña a mediados del siglo XVIII, pero cabe destacar que no fue la primera máquina de vapor. La primera máquina térmica fue inventada en el siglo I por el Ingeniero griego Herón de Alejandría, cuya denominación de esta máquina fue eolípila. A pesar de ello, en ese tiempo la máquina no fue tomada en serio o como una creación relevante, más bien sólo fue empleada para entretenimiento.

**Figura 1. Eolípila**



Rooney, A. (2013). La primera máquina térmica llamada eolípila. [Figura]. Recuperado de:  
<http://www.librosmaravillosos.com/lahistoriadela fisica/index.html>  
Fecha: 17 de abril de 2019

En los inicios de la Revolución Industrial, los propios operarios se encargaban del cuidado y las reparaciones de los equipos. El mantenimiento era básico y el operario era el responsable de solucionarlos porque era quien más conocía los equipos (Garrido, 2010, p.3). Sin embargo, a partir de la Revolución Industrial rápidamente se produjo un cambio en la sociedad, principalmente en la forma de comercializar y crear productos, es decir, la agricultura y actividades artesanales pasaron de ser la economía base de una pequeña población, a ser actividades poco remuneradas para

que la principal fuente de economía y trabajo dependiera de la industria y la producción, marcando así un punto de inflexión en la historia con la llegada de la Revolución Industrial.

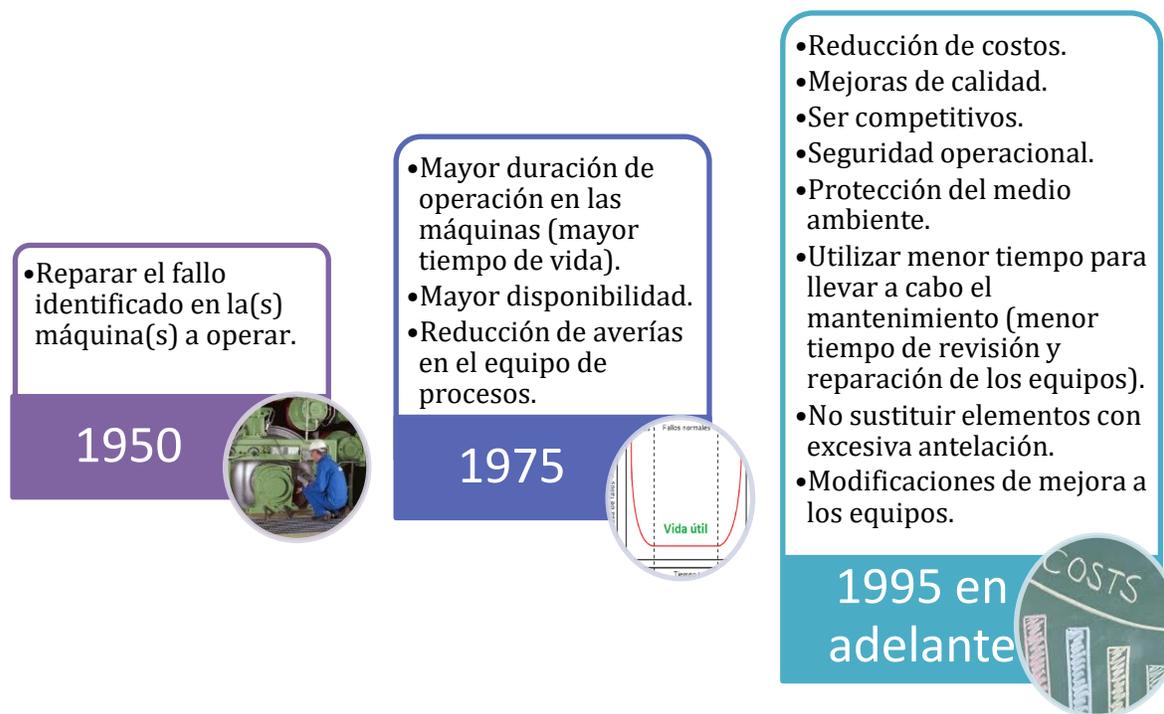
Pronto se derivaría el desarrollo de la industria minera y del carbón. Evidentemente comienzan a existir las fábricas y la explotación de recursos en las industrias, se sustituye la mano de obra por máquinas y evidentemente disminuyen las horas de producción de los nuevos productos a comercializar.

A finales del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX debido al nacimiento de máquinas en las industrias, surge la necesidad de repararlas para prolongar la vida útil que tenían y continuar con dicha producción (Breve historia del mantenimiento industrial, 2018). Es de este modo como se intensifica la actividad de identificar, controlar y reparar los fallos en las máquinas, y por ende evitar accidentes y retrasos en la producción.

Durante la Segunda Guerra Mundial aparece lo que se conoce como la segunda generación de mantenimiento y también el concepto de mantenimiento preventivo (Garrido, 2010). El mantenimiento fue teniendo evoluciones después de la Segunda Guerra Mundial, esto debido a distintos aspectos, ya que se generó desarrollo técnico en las máquinas, aumento la población (mayor demanda de productos), la tecnología mejoro y posteriormente se buscó la protección del medio ambiente. Por estos motivos el mantenimiento tuvo que evolucionar y mejorar de acuerdo a las exigencias que iban surgiendo en la industria. El conjunto de todas estas características trajeron consigo un mejoramiento continuo para poder cumplir con los avances de la industria.

El mantenimiento tuvo que evolucionar porque la preocupación por la durabilidad y la disponibilidad de las máquinas aumento más, con el propósito de evitar fallos catastróficos.

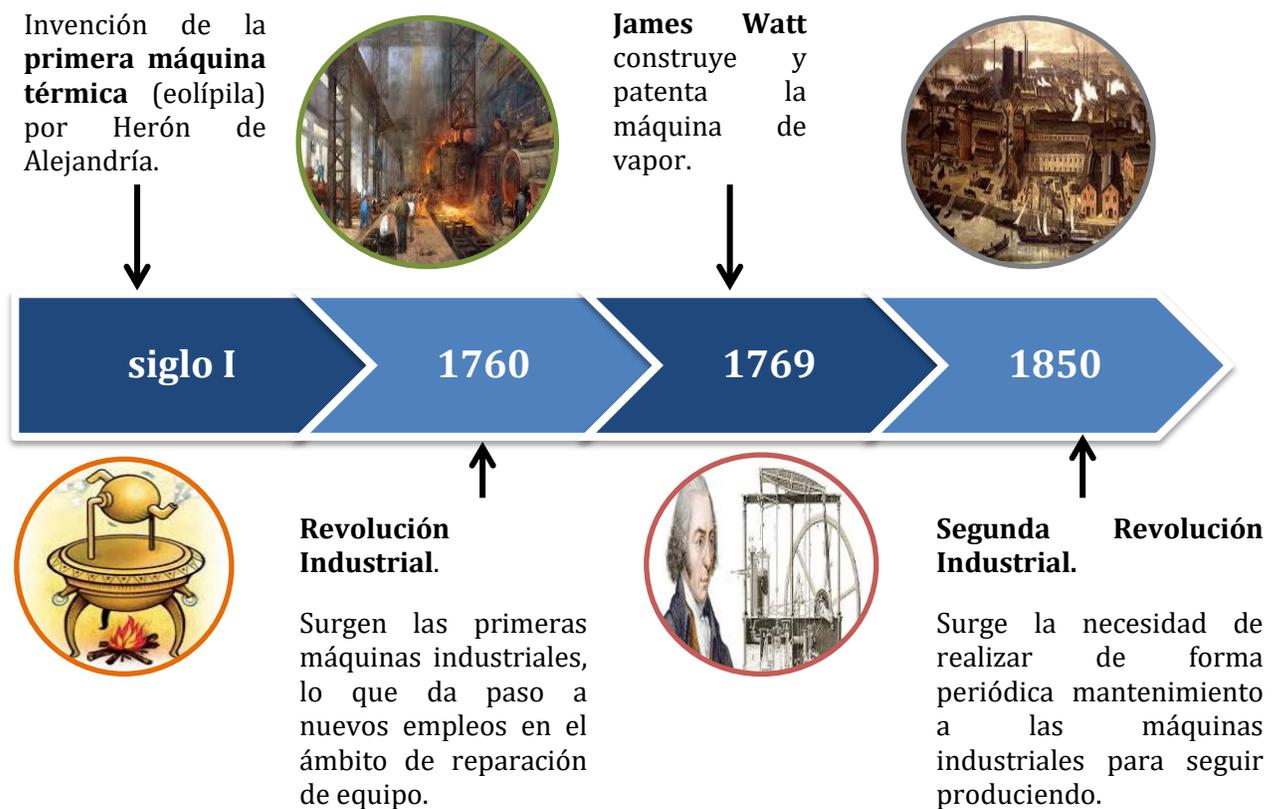
A partir de mediados del siglo XX, el mantenimiento comenzó a mejorar y con ello trajo consigo nuevas características para garantizar su aplicación en máquinas industriales.



**Esquema 1. Requisitos del mantenimiento a lo largo del tiempo**

Fuente: Evolución de los requisitos de mantenimiento. Recuperado de:  
<http://www.epetrg.edu.ar/apuntes/plaza/CAPITULO%201%20-%20Mant-Definiciones%20Objetivos.pdf>  
Fecha: 18 de abril de 2019

Para comprender mejor el proceso de evolución y origen del mantenimiento, se presenta la Línea de tiempo 1, que muestra los antecedentes históricos:



**Línea del tiempo 1. Antecedentes históricos del mantenimiento industrial**

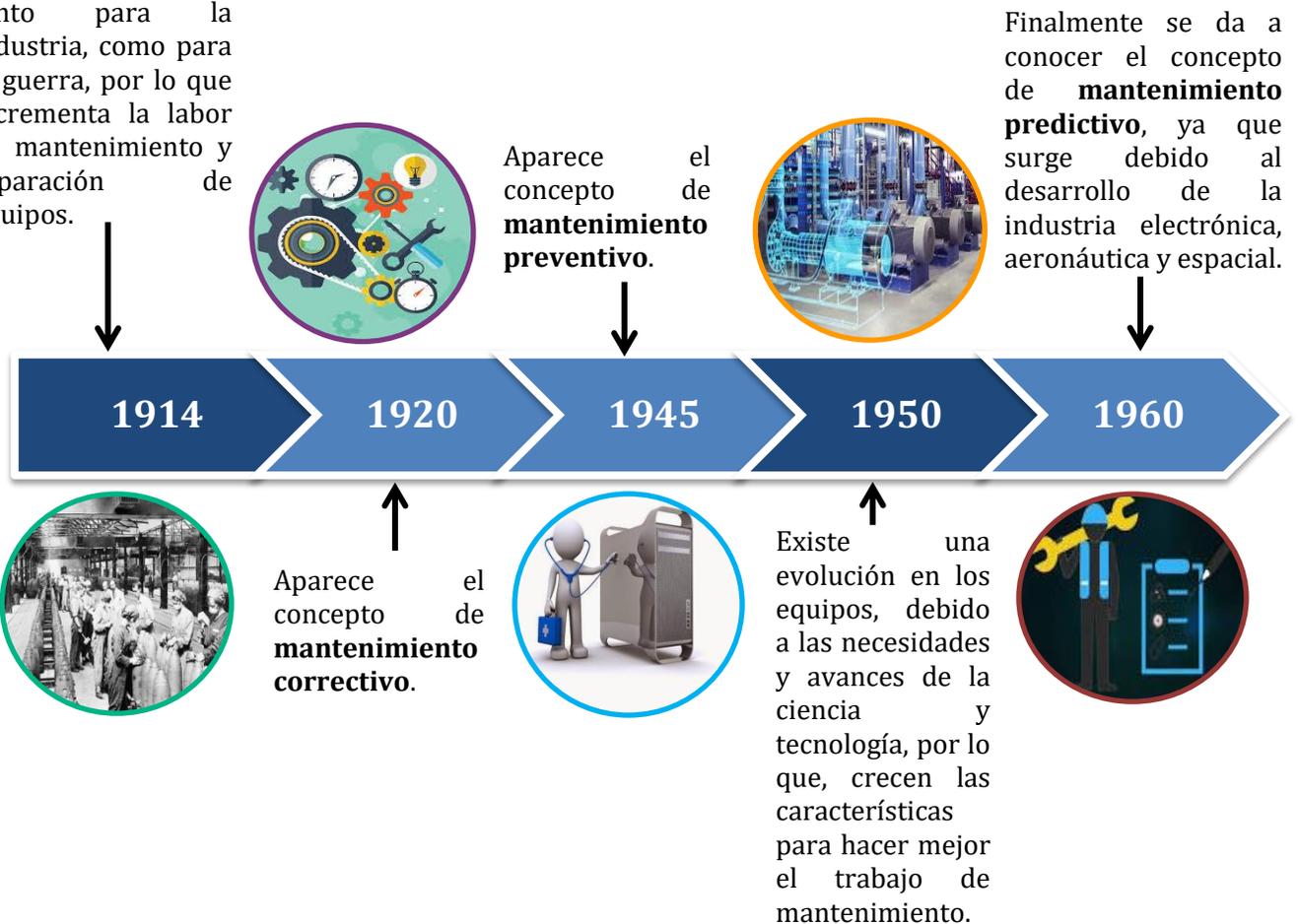
Fuente: Elaboración propia con datos recuperados de:

<http://www.grupoditecsa.com/en/mantenimiento-industrial-conoces-el-origen-del-mantenimiento-preventivo/>

Fecha: 22 de abril de 2019

**Primera Guerra Mundial.**

Nuevas máquinas tanto para la industria, como para la guerra, por lo que incrementa la labor de mantenimiento y reparación de equipos.



**Línea del tiempo 1 (Continuación). Antecedentes históricos del mantenimiento industrial**

Fuente: Elaboración propia con datos recuperados de:  
<http://www.grupoditecsa.com/en/mantenimiento-industrial-conoces-el-origen-del-mantenimiento-preventivo/>

Fecha: 22 de abril de 2019

### 1.3 Operación

La palabra operación viene del latín “*operativo*” y se refiere a la acción de hacer un trabajo.

En los manuales y en las industrias, esta palabra hace referencia a la acción de poner en marcha los equipos, con la finalidad de hacer un trabajo o de comenzar con un proceso de producción.

En un manual, se explica la secuencia de operación para poner en marcha un equipo, y es la forma rápida de conocer los pasos para llevar a cabo esta acción. El concepto de operación, es sustancial para los manuales, ya que es un método para guiar al operador que va a comenzar a utilizar un equipo.

La explicación de la operación para un equipo, es una de las partes valiosas del manual, porque debe ser escrita de forma ordenada y clara, de lo contrario el usuario podría cometer graves problemas que podrían convertirse en un accidente para los trabajadores.

Parte de la explicación de la secuencia de operación, es presentar planos o esquemas cuando el equipo está conectado a otros dispositivos, válvulas o accesorios, ya que en algunos casos para poder operar un equipo, se tienen que abrir o cerrar ciertas válvulas. En el caso del intercambiador de vidrio esto sucede, ya que para ponerlo en operación primero hay que revisar el esquema del equipo e identificar las válvulas que están involucradas, para poderlo operar.

### 1.4 Acerca del manual de mantenimiento y operación

Existen distintos tipos de manuales, sin embargo, los manuales de mantenimiento y operación son una guía o documento esencial en la industria ya que son desarrollados por personas con conocimientos en mantenimiento y su objetivo principal es proporcionar una serie de métodos aprobados por el fabricante, y que

deben brindar un nivel de seguridad aceptable tanto para el trabajador, como para el equipo en operación.

A diferencia de otro tipo de manuales que existen, este tipo de manual tiene un contenido específico tanto en su estructura, como a quien va dirigido, esto se debe a la base del conocimiento característico del equipo, realizado por el fabricante, con el propósito de que la información que se consulte sea confiable y fundamentada.

Por otra parte, a pesar de que es importante conocer los conceptos de **manual, mantenimiento y operación**, también es considerable conocer los fundamentos de un equipo, es decir, entender bajo qué tipo de fenómeno de transporte es que funciona el equipo, por ejemplo, para este caso es valioso definir algunos conceptos de transferencia de calor.

Aunque en el siguiente capítulo, no se hablará mucho sobre los mecanismos y ecuaciones de transferencia de calor, si es conveniente revisar los conceptos básicos del tema. Por supuesto, el Capítulo II está más enfocado en comprender que es y para qué sirve un intercambiador de calor.

## **CAPÍTULO II. EL INTERCAMBIADOR DE CALOR**

## 2.1 Transferencia de calor

El término **calor**, se refiere a la energía en tránsito de un cuerpo a otro a causa de una diferencia de temperatura. Por lo tanto, la transferencia de calor como su nombre lo indica, es un área de la ingeniería que estudia los mecanismos encargados de la transformación de energía, es decir, cuando existe una diferencia de temperaturas de un lugar a otro y es transferido.

Esta área de la ingeniería explica que cuando se tienen dos cuerpos a diferentes temperaturas, el de mayor temperatura transfiere su energía al de menor temperatura, hasta alcanzar el mismo valor, es decir, ya no existe una diferencia de temperaturas, por lo cual se ha alcanzado el equilibrio térmico. La transferencia de calor considera los cambios de temperatura con respecto al tiempo, es decir, que tan rápido se origina este fenómeno.

La transferencia de energía se manifiesta mediante tres mecanismos: conducción, convección y radiación. Cada uno tiene una forma particular de transferir energía y son parte del análisis de diversos problemas o situaciones en las que existe un cambio o variación de temperatura.

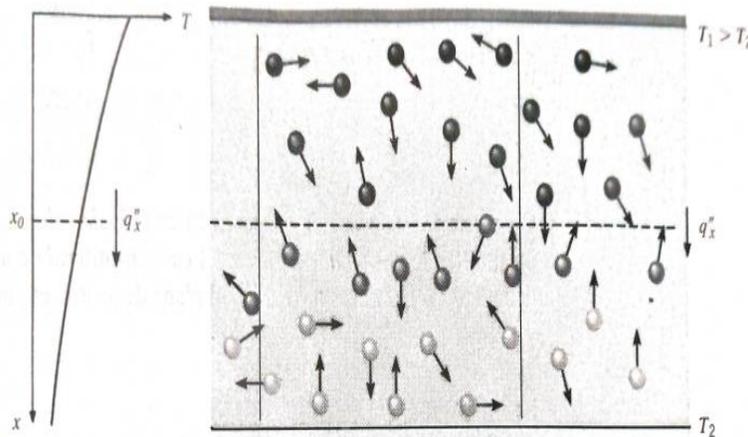
### 2.1.1 Mecanismos de transferencia de calor

#### CONDUCCIÓN

Es un mecanismo que generalmente se presenta en los sólidos. De manera más específica y no tan ambigua, la conducción se puede explicar a partir de la actividad atómica y molecular. “La conducción se considera como la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia debido a las interacciones entre las mismas” (Incropera & Dewitt, 1999, p.3). Es decir, la energía que se transfiere se da debido a la vibración entre partículas. Las moléculas que vibran transfieren energía a otras con menor energía (menor vibración). Por lo que si se tienen temperaturas más altas, existirá mayor energía molecular, por el contrario si existen temperaturas más bajas, la energía molecular es menor, y por

ende, existe transmisión de energía desde un fluido con temperatura alta a un fluido con temperatura menor (de las moléculas más energéticas a las menos energéticas). Un ejemplo de esto, se muestra en la Figura 2 en donde se representa dicha actividad molecular.

**Figura 2. Asociación de la transferencia de calor por conducción con la difusión debido a la actividad molecular**

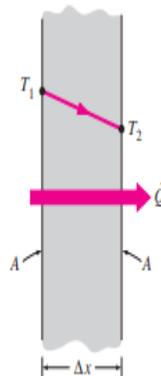


Incropera, F.P. (1999). Asociación de la transferencia de calor por conducción con la difusión debido a la actividad molecular. [Figura].

Fecha: 1 de mayo de 2019

La Figura 3, representa un ejemplo de conducción a través de una pared plana, en donde se puede observar que hay una disminución de temperatura y por supuesto hay un área y una distancia por la que se genera esta transferencia de calor a través de la pared plana. Esto quiere decir que la razón de transferencia de calor depende de: la configuración geométrica del objeto o medio (en este caso una pared plana), su espesor (la distancia en la que se transfiere el calor en la pared), el material del objeto y de la diferencia de temperatura a través de él ( $T_1$  y  $T_2$ ).

Figura 3. Conducción de calor a través de una pared plana



Çengel, Yunus A. autor, (2011). Conducción de calor a través de una pared plana. [Figura].  
 Recuperado de: [https://www.u-cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi\\_blog/r/Transferencia\\_de\\_Calor\\_y\\_Masa\\_-\\_Yunus\\_Cengel\\_-\\_Tercera\\_Edicion.pdf](https://www.u-cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi_blog/r/Transferencia_de_Calor_y_Masa_-_Yunus_Cengel_-_Tercera_Edicion.pdf)  
 Fecha: 1 de mayo de 2019

Dónde:

T1 y T2: Temperaturas

ΔX: Espesor

A: Área

Los primeros adelantos acerca de la conducción, fueron gracias al matemático francés Fourier, quien propuso la ley que hoy se conoce como la Ley de conducción de calor de Fourier. Esta ley explica cómo se transmite el calor de un cuerpo a otro, teniendo distintas temperaturas. Siempre que exista un delta de temperatura en un medio sólido, el calor será transferido de la región de mayor temperatura a la región de menor temperatura. Este podría ser el ejemplo claro de un horno (caliente en el interior y frío en la parte exterior). La velocidad a la que el calor se transfiere por conducción, q, es proporcional al gradiente de temperatura  $dT/dx$ , por el área transversal A, a través de la que se transfiere calor:

$$Q \propto A \frac{dT}{dx} \text{----- (1)}$$

$$Q = -kA \frac{dT}{dx} \text{----- (2)}$$

En donde:

Q: razón de la transferencia de calor, BTU/h o W

k: conductividad térmica del material, BTU/h-ft °F o W/m\*°C

dT: gradiente de temperatura, °F o °C

dx: distancia recorrida por el flujo, ft o m

A: área transversal a la dirección de transferencia de calor, ft<sup>2</sup> o m<sup>2</sup>

La ecuación (2) se conoce como la Ley de Fourier de conducción de calor.

## CONVECCIÓN

La convección es un proceso de transferencia de calor que se da entre un gas y un sólido o bien entre un sólido y un líquido.

El modo de transferencia de calor por convección en realidad consiste en dos mecanismos que operan de manera simultánea. El primero es la transferencia de energía por el movimiento molecular, es decir, el modo conductivo. Superpuesto a este modo se encuentra la transferencia de energía por el movimiento macroscópico de fracciones de fluido. (Kreith, Manglik & Bohn, 2010, p.17)

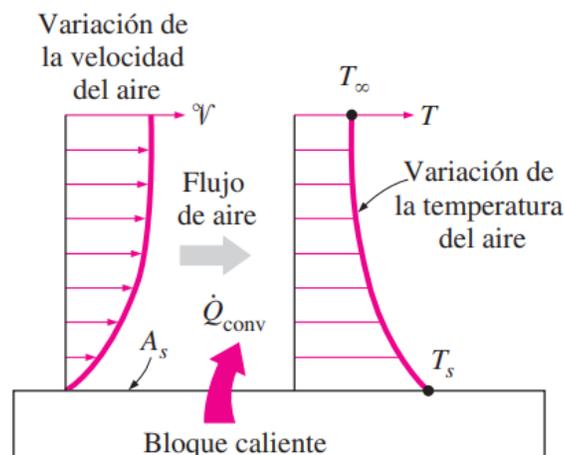
La convección se da cuando se tiene una superficie sólida en contacto con un líquido o un gas y existe una variación de temperaturas entre estas, es decir, la superficie posee un valor de temperatura menor al del líquido o gas en contacto con este. Esto significa que hay un fenómeno combinado para que ocurra la convección, es decir, está presente el fenómeno de conducción (la superficie de por medio a cierta temperatura) y un movimiento de fluidos (el líquido o el gas que está en contacto con la superficie).

Para entender dicho fenómeno, imaginemos que tenemos una superficie inclinada a una temperatura elevada y por ella pasa un fluido de menor temperatura, una vez que transcurre cierto tiempo, el fluido que está en contacto con dicha superficie se empieza a calentar (por conducción). Evidentemente entre más rápido es el

movimiento del fluido sobre la superficie, mayor es la transmisión de calor por convección.

La Figura 4, muestra un ejemplo de convección, en donde se observa que hay un bloque caliente a donde está llegando aire frío. La energía se transfiere al aire, por conducción. Enseguida, está energía es acarreada alejándola de la superficie, por convección (Cengel, 2007).

**Figura 4. Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire por convección**



Çengel, Yunus A. autor, (2011). Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire por convección. [Figura]. Recuperado de: [https://www.u-cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi\\_blog/r/Transferencia\\_de\\_Calor\\_y\\_Masa\\_-\\_Yunus\\_Cengel\\_-\\_Tercera\\_Edicion.pdf](https://www.u-cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi_blog/r/Transferencia_de_Calor_y_Masa_-_Yunus_Cengel_-_Tercera_Edicion.pdf)  
Fecha: 6 de mayo de 2019

Existen dos tipos de convección: forzada y natural. Para el primer caso del ejemplo en el que el movimiento del fluido se origina por fuerzas de empuje inducidas por una diferencia de densidades, hablamos de la convección natural. Ahora, si en el ejemplo se hubiera empleado un ventilador para mover el fluido, estaríamos forzando a que el fluido fluya sobre la superficie, por lo cual estaríamos refiriéndonos a la convección forzada.

La transferencia de calor por convección depende de 5 propiedades: viscosidad, conductividad térmica, densidad, calor específico, y por último de su velocidad.

La ecuación que se emplea para determinar la razón de transferencia de calor por convección, es la siguiente (la cual se expresa mediante la Ley de enfriamiento de Newton):

$$Q_{conv} = hA(T_s - T_{\infty})$$

Dónde:

Q: calor transferido de la superficie al fluido circulante, BTU/h o W

h: coeficiente convectivo de transferencia de calor, BTU/h-ft<sup>2</sup> °F o W/m<sup>2</sup> K

A (As): área de la superficie, ft<sup>2</sup> o m<sup>2</sup>

Ts: temperatura en la superficie, °F o °C

T<sub>∞</sub>: temperatura del fluido circundante o temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie, °F o °C

## RADIACIÓN

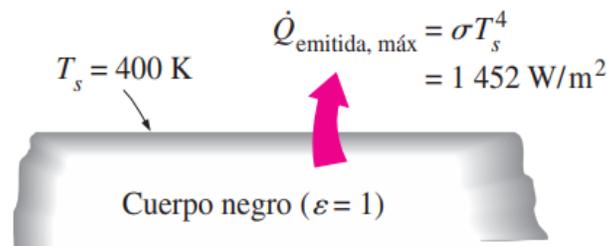
La radiación se presenta de forma muy distinta a los otros dos mecanismos anteriormente mencionados, ya que esta no requiere de algún tipo de medio para aparecer y se propaga por medio de ondas electromagnéticas.

Incropera y Dewitt (1999) indican: “La radiación térmica es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita. La energía del campo de radiación es transportada por ondas electromagnéticas” (p.8). Es por este motivo, que se sabe que la radiación no requiere de un medio para transferirse.

Este mecanismo es el más rápido y puede ocurrir en líquidos, sólidos y algunos gases. Se sabe que de los tres mecanismos, la radiación es la única que puede generarse en un espacio donde hay vacío. La radiación térmica es energía que se emite por la materia que se encuentra a cierta temperatura.

En la Figura 5, se observa un cuerpo negro que está emitiendo radiación, conocida como radiación del cuerpo negro.

**Figura 5. La radiación del cuerpo negro representa la cantidad máxima de radiación que puede ser emitida desde una superficie a una temperatura específica**



Çengel, Yunus A. autor, (2011). La radiación del cuerpo negro representa la cantidad máxima de radiación que puede ser emitida desde una superficie a una temperatura específica. [Figura].  
Recuperado de: [https://www.u-cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi\\_blog/r/Transferencia\\_de\\_Calor\\_y\\_Masa\\_-\\_Yunus\\_Cengel\\_-\\_Tercera\\_Edicion.pdf](https://www.u-cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi_blog/r/Transferencia_de_Calor_y_Masa_-_Yunus_Cengel_-_Tercera_Edicion.pdf)  
Fecha: 6 de mayo de 2019

La razón máxima de la radiación puede expresarse mediante la ecuación o Ley de Stephan-Boltzmann como:

$$e_b = \sigma T^4$$

Dónde:

$e_b$ : potencia emisiva del cuerpo negro

$\sigma$ : constante de Stephan-Boltzmann

T: temperatura en grados absolutos

Las escalas de temperatura que se emplean son Rankie y Kelvin.

Los valores de la constante de Stephan-Boltzman son:

$\sigma$ :  $0.1713 \times 10^{-8}$  BTU/h-ft<sup>2</sup> °R<sup>4</sup>

$\sigma$ :  $5.668 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>

La transferencia de calor está presente mediante sus tres diferentes mecanismos; se manifiesta en diversas actividades de la vida cotidiana y, aún más en la industria, es por eso que es interesante identificar su importancia para diversas aplicaciones.

### 2.1.2 Importancia de la transferencia de calor

La importancia de la transferencia de calor, reincide cuando se trata de hacer eficientes los procesos industriales, e incluso también en la vida cotidiana, ya que existe un impacto en los procesos relacionados con la energía, por lo que dicha ciencia cumple una amplia gama de tareas. Esta gama de tareas puede ir desde poder enfriar alguno de nuestros alimentos, hasta poder solucionar problemas complejos relacionados con la generación de energía nuclear, o mantener a cierta temperatura un edificio.

La prioridad de este fenómeno depende del lugar o el área de aplicación, es decir, los equipos que se emplean con el propósito de enfriar o calentar, tendrán otras características de acuerdo a la labor que se necesite realizar, ya que no son los mismos procesos que se llevan a cabo en una planta de alimentos que en una planta química o una planta de energía nuclear, o incluso a las necesidades de servicios que pueda tener un hotel. Por tal motivo, se debe saber en qué sección se trabaja para seleccionar el equipo correcto, por ejemplo: una caldera, un evaporador u otros, todo va a depender de la acción que se lleve a cabo.

Esta área tiene múltiples aplicaciones con la finalidad de crear diferentes productos o aparatos, por ejemplo, es importante conocer sus bases para el diseño de paneles solares, radiadores, calentadores, intercambiadores de calor entre otros productos.

Para la Ingeniería Química es importante porque para un proceso se puede determinar cuanta energía es necesaria suministrar o retirar en un determinado tiempo y porque además muchos de los equipos que se emplean en la industria, están diseñados bajo los principios de esta ciencia.

La transferencia de calor se encuentra en la mayoría de las cosas que empleamos, y no sólo los Ingenieros Químicos se enfocan en esta área, también están los ingenieros electricistas, los ingenieros civiles, ingenieros biomédicos, ingenieros metalúrgicos y cerámicos, ingenieros mecánicos, entre otros. La transferencia de

calor tiene una amplia aplicación, así como: diseño de equipos sofisticados para transferir calor, evaporación de alimentos, conservación de alimentos, sistemas de refrigeración en la industria de los metales, ahorro de energía, etc., y no se limita a una sola área, ya que es de interés para el estudio y análisis de muchas carreras que dependen de este conocimiento.

## 2.2 Equipos de Intercambio de calor

En los distintos tipos de industrias que existen, ya sea química, de alimentos, turismo, nuclear y otros tipos, existe la necesidad de transferir energía, como puede ser, calentar un fluido de un sitio a otro, y para poder realizar tal tarea se emplean dispositivos que se conocen como **intercambiadores de calor**. Para tener un conocimiento amplio sobre estos equipos, es relevante aprender sobre su funcionamiento y operación.

Un intercambiador de calor es un aparato que transfiere energía térmica desde un fluido de alta temperatura, hacia un fluido de baja temperatura, con ambos fluidos moviéndose a través del aparato. El intercambiador de calor es una placa o tubo metálico que favorece la transmisión de calor entre fluidos a diferente temperatura.

El rango de temperatura, las bases de los fluidos (líquidos o gaseosos), la cantidad de energía térmica que se deberá transferir y la caída de presión permitida para los fluidos caliente y frío, determinan la configuración del intercambiador de calor para una aplicación dada. (Karlekar & Desmond, 1985, p.685)

Las aplicaciones de este equipo son distintas, por ejemplo calentar y enfriar agua o aceites, para refrigeración de un producto o de algún almacén, entre otras; y dependen del tipo de industria y del tipo de operaciones que llevan a cabo para su producción. Algunos equipos característicos de intercambio de calor son:

- ❖ Condensador
- ❖ Enfriador
- ❖ Rehervidor (vaporizador)
- ❖ Calentador
- ❖ Torre de enfriamiento
- ❖ Soloaire

En la Tabla número 3, se indican algunas características de los equipos de intercambio de calor:

<b>Tabla 3. Equipos de intercambio de calor (por el servicio a emplear)</b>	
<b>Equipo</b>	<b>Definición y algunas funciones</b>
<b>Condensador</b>	Un condensador disipa el calor, y los vapores de proceso se convierten total o parcialmente en líquidos.
<b>Enfriador</b>	Es una unidad que enfría un fluido de proceso. Una corriente de proceso intercambia calor con agua o aire y no existe cambio de fase.
<b>Rehervidor (reboiler)</b>	También conocido como vaporizador, transforma el líquido a vapor. Estos dispositivos pueden proporcionar calor en el fondo de una torre de destilación. El líquido se calienta hasta hervirlo para finalmente generar vapores que regresan a la torre. Este proceso de vaporizar, puede ser parcial o completo.
<b>Calentador</b>	Es un intercambiador que aumenta la entalpía de una corriente, sin que se produzca un cambio de fase. Puede emplear vapor de agua o aceite caliente.
<b>Torre de enfriamiento</b>	Es un equipo que opera bajo el principio de enfriamiento evaporativo. En este proceso se utiliza agua como refrigerante.
<b>Soloaire</b>	Es un dispositivo que elimina el exceso de agua en el ambiente. Son empleados en las refinerías de petróleo y en la industria en general, para la refrigeración de un producto que circula por un radiador.

Fuente: Elaboración propia con datos recuperados de:

<https://operacionesunitarias1.files.wordpress.com/2011/07/unidad-iv-intercambiadores-de-calor.pdf>

Fecha: 10 de mayo de 2019

Este tipo de equipo es utilizado ampliamente en las industrias químicas y plantas de energía. Los intercambiadores de calor son empleados en los procesos de energía, petróleo, recuperación de calor, y otras situaciones, por eso son llamados de

distintas formas en la industria, porque cumplen un objetivo específico para favorecer un proceso.

Existe importancia en la transferencia de calor en relación al área de proceso en que se vaya a laborar, por tal razón se debe identificar la clasificación de dicho equipo para entender cómo es que opera y en qué áreas se pueden emplear.

### 2.2.1 Clasificación del intercambiador de calor

La clasificación del intercambiador de calor se puede establecer tomando en cuenta tres características:

- ❖ Diseño
- ❖ Dirección del flujo
- ❖ Número de pasos

La Tabla número 4 muestra los tipos de intercambiadores de calor que existen de acuerdo a las tres características mencionadas arriba.

<b>Tabla 4. Clasificación del Intercambiador de Calor</b>	
<b>Característica</b>	<b>Intercambiador de calor</b>
<b>Diseño</b>	Tubos Concéntricos Tubos y coraza De placas Regenerativos y no regenerativos
<b>Dirección de flujo</b>	Flujo Paralelo Contraflujo Flujo Cruzado
<b>Núm. De Pasos</b>	De un solo paso (o simple) Múltiples

Fuente: Elaboración propia con datos de: Incropera, Frank P., (1999). "Fundamentos de Transferencia de calor", 4ta. Ed., México D.F: PRENTICE HALL.

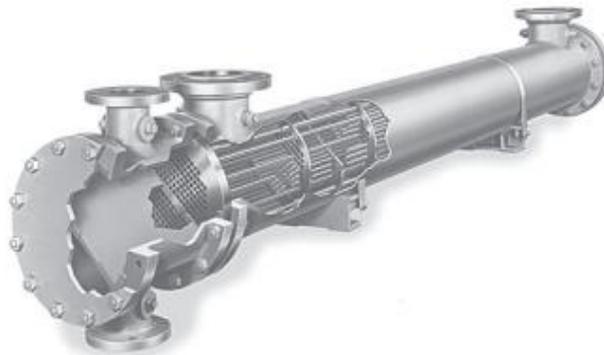
### 2.3 Intercambiador de Calor de tubos y coraza

El intercambiador de calor de tubos y coraza es uno de los más empleados en la industria y es la construcción más sencilla de intercambiadores de calor.

Recibe su nombre por el tipo de diseño que tiene, ya que consiste en un conjunto de tubos que se encuentran dentro de un contenedor denominado carcaza o coraza. Dentro de los tubos pasa fluido al igual que en la coraza, teniendo así un fluido interno y externo.

Este tipo de intercambiadores puede variar su forma dependiendo de las necesidades y especificaciones deseadas para un trabajo en particular. Dichas especificaciones son la caída de presión, temperatura, corrosión de fluidos, el tipo de mantenimiento, costo, etc. Los diseños se basan comúnmente en parámetros de la norma TEMA (tubular exchanger manufacturers association) para poder seleccionar el equipo adecuado.

**Figura 6. Intercambiador de calor de tubos y coraza**



Thulukkanam K. (2013). Sección de corte de un intercambiador de calor de carcasa y tubos. [Figura]

Recuperado de:

<https://www.pastefs.com/.../0/.../Heat+Exchanger+Design+Handbook%2C+2nd+Ed.pdf>

Fecha: 16 de mayo de 2019

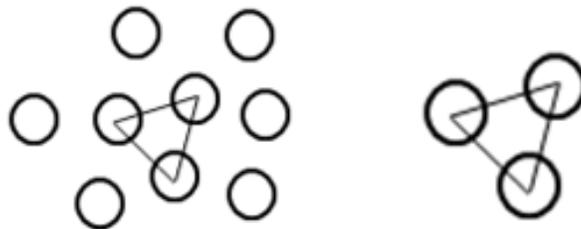
### **2.3.1 Partes del intercambiador de tubos y coraza**

El intercambiador de calor tiene muchos elementos que lo componen, algunas de las partes principales que posee este equipo se enuncian a continuación:

**Coraza.** Es un componente cilíndrico y su forma es importante para que se pueda colocar de forma adecuada el arreglo de tubos. La fabricación de esta parte del intercambiador depende en gran parte de cómo va a pasar el fluido, de la caída de

presión y del enfoque que se le va a dar al equipo, es decir, que aplicación va a tener o el funcionamiento.

**Tubos.** Definitivamente los tubos internos del intercambiador de calor son una parte y configuración importante para el funcionamiento del equipo, ya que la transferencia de calor tiene lugar a través de la superficie de los tubos. Los tubos pueden presentar distintas distribuciones o arreglos geométricos como: arreglo triangular rotado 60°, arreglo triangular 30°, arreglo cuadrado rotado 45° y arreglo cuadrado 90°. Dependiendo de la configuración geométrica, se obtiene una mayor o menor transferencia de calor, además también de esto depende el espaciamiento entre tubos.



**Figura 7. Arreglo Triangular 30°**  
Elaboración propia

**Deflectores o Baffles.** Estos se clasifican en dos tipos:

- 1) Longitudinal. Ayudan a controlar el flujo en la coraza.
- 2) Transversal. Existen dos tipos, deflectores de placa y deflectores de rejilla.

Por otra parte, los intercambiadores de tubos y coraza (o casco y tubo) se pueden identificar mediante tres letras conforme a TEMA (Ver Anexo I, pág. 87). Las tres letras indican lo siguiente:

**1era letra:** Es la indicativa del tipo de cabezal estacionario. Los tipo A (canal y cubierta desmontable) y B (casquete) son los más comunes.

**2da letra:** Es la indicativa del tipo de casco. La más común es la E (casco de un paso) y la F (casco de dos pasos). Los tipos G, H y J se utilizan para reducir pérdidas de presión en el casco. El tipo K es el tipo de rehervidor de caldera.

**3ra letra:** Nos indica el tipo de cabezal del extremo posterior, los de tipo S (cabezal flotante con dispositivo de apoyo), T (cabezal flotante sin contrabrida) y U (haz de tubo en U) son los más utilizados. El tipo U es el más económico, pero a la hora de mantenimiento necesita una gran variedad de tubos en stock (Diseño de equipos e instalaciones, 2019).

## 2.4 Errores operativos del intercambiador de calor

Ya se conocen los tipos de mantenimiento y la clasificación del intercambiador de calor, así mismo, las partes principales que conforman al intercambiador de calor de tubos y coraza. Después de saber todos estos fundamentos, ahora es importante identificar las principales situaciones que afectan este tipo de equipos, las más comunes se enuncian a continuación:

- ❖ Mecánicas
- ❖ Por corrosión (desgaste de partes del equipo)
- ❖ Incrustaciones de sólidos

Las **fallas mecánicas** se pueden presentar por diversos factores, pero, el principal factor se debe al golpe de agua o de vapor e incluso a un mal diseño del equipo, o debido a que el operador del equipo no respetó las condiciones de operación recomendadas durante su arranque, como pueden ser valores de: presión, temperatura, flujo, potencia del equipo, etc.

También los factores químicos afectan de forma considerable a este tipo de equipos, debido a los fluidos empleados para calentar (generalmente agua, la cual contiene hidrógeno, oxígeno, cloruros, etc.), ya que se manifiesta **la corrosión** en el material del equipo, reduciendo así el espesor de paredes e incluso propiciando picaduras que comprometen la estructura del equipo. Básicamente la corrosión genera un

deterioro en el material de algún tipo de máquina, y es peligroso porque se pueden generar accidentes. A pesar de ello, no es el único factor químico que afecta al equipo, ya que también influye la forma en que se limpia un intercambiador de calor.

Por último, **las incrustaciones** son provocadas por los fluidos que entran al equipo, es decir, existe un proceso en el que el material no deseado se deposita sobre la pared o superficie del equipo (incrustación). Para este tipo de problema, hay que identificar la solución química adecuada, para hacer la limpieza pertinente, por lo que es importante considerar en el equipo los siguientes aspectos:

- a) El tipo de material
- b) Conocer el fluido que ingresa para su operación
- c) Establecer un período de limpieza

La limpieza de este tipo de equipo es muy valiosa, ya que se eliminan todos los depósitos o incrustaciones que se adhieren y se acumulan durante su operación; de lo contrario se almacenarían los sólidos en el equipo, y por ende, significaría una resistencia adicional para la transferencia de calor.

Los intercambiadores de calor se pueden limpiar mediante métodos químicos o mecánicos, esto depende de la selección que realice el usuario del equipo, para realizar el método de limpieza más apropiado.

Los métodos de limpieza que se emplean son:

- Limpieza química
- Limpieza mecánica
- Limpieza con agua y arena
- Limpieza con agua a alta presión

La limpieza química consiste en utilizar un solvente adecuado para remover los depósitos o incrustaciones.

La limpieza mecánica consiste en utilizar un mandril por el interior de los tubos con el fin de remover los depósitos o incrustaciones.

La limpieza con agua y arena consiste en utilizar un retrolavado, inyectar reversamente una mezcla de agua y arena. El agua incrementa la velocidad del fluido y la arena provee una acción abrasiva.

La limpieza a alta presión, es el método más utilizado, ya que es efectivo para remover ensuciamiento, incrustaciones y productos de corrosión. Combina presión y volumen de agua (Villarroel, 2008.).

Otras formas de limpiar dicho equipo consisten en:

1. Circular agua tibia limpia o un producto de limpieza por la carcasa y por los tubos para eliminar depósitos (la mejor opción para limpieza de un intercambiador de material de vidrio).
2. Uso de limpiadores de tubos para suciedades en el interior de los tubos del intercambiador de calor.
3. Cepillos helicoidales de alambre para la extracción de incrustaciones.

Cabe destacar que la limpieza química debe realizarse por una empresa experta en el tema, es decir, que sepan acerca de agentes de limpieza para evitar corrosión (en el caso de un intercambiador de metal). Después de la limpieza química, se debe realizar un enjuague con agua limpia para retirar toda la solución química del equipo.

## **CAPÍTULO III. IMPORTANCIA DEL MANUAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN**

### 3.1 Importancia de un manual de mantenimiento y operación

La importancia de este tipo de manual se presenta cuando es necesario verificar ciertas especificaciones de un equipo, por ejemplo: potencia de operación, presión de operación del equipo, medidas, partes, entre otras. Tener a la mano este tipo de instrumento, puede mejorar el trabajo y operación que se esté realizando, ya que se puede contar con datos confiables para corroborar que todo está en orden en cuanto al funcionamiento de una máquina, o bien para saber si es necesario realizar ajustes para el equipo.

Por otro lado, su importancia se orienta a la parte económica dentro de la industria, ya que al llevar a cabo los procedimientos correspondientes y pertinentes para prolongar el funcionamiento y vida útil de un equipo se ahorra otro tipo de gastos, por ejemplo: a) pagarle a un técnico para reparación de un equipo o, b) comprar un equipo nuevo; lo cual evidentemente genera gastos y pérdidas para la empresa.

El manual de operación y mantenimiento debe ser una guía útil para evitar reparaciones periódicas en un equipo y por otra parte, debe entenderse que es el que puede guiar al operador para poner en marcha algún equipo correspondiente a un proceso.

Al no seguir de forma correcta los pasos y sugerencias de un manual, pueden existir consecuencias como: **pérdida de tiempo, esfuerzo, dinero y accidentes.**

En un manual se pueden encontrar los detalles y procedimientos recomendados para operar la unidad, es por eso que es importante conservar el manual.

Se podrían enumerar distintas razones por las que un manual es importante, pero las más esenciales son las siguientes:

- 1) Este escrito contiene los datos técnicos más relevantes sobre la unidad a emplear.

- 2) En el manual se cubre la información general del equipo (lo más relevante), como: partes del equipo, generalidades, principio de operación, limpieza, entre otras.
- 3) Se menciona como se debe operar el equipo, así como su cuidado y período de mantenimiento.
- 4) Muestra datos sobre medidas del equipo, se establece el equipo de seguridad para poder operar la unidad e indica las precauciones para operar un equipo.

Este tipo de manuales, persiguen referencias reales de expertos de acuerdo a sus experiencias en el mantenimiento y operación de equipos.

Gestionar el conocimiento dentro de esta área puede asegurar una mejor organización para una empresa y evitar afectaciones en otros ámbitos, por ejemplo: en la producción de la planta, seguridad del trabajador, etc.

Con la implementación de un manual, no sólo existirá una evolución en la operación de los equipos a manipular, sino que también podríamos estar contribuyendo a la seguridad de los trabajadores que interactúan con los equipos de producción.

Por otra parte, es relevante que los técnicos o especialistas en mantenimiento estén en continua capacitación (Ver Anexo II, pág. 88). No se debe confundir el hecho de que por tener un manual destinado al trabajador se van a solucionar todos los problemas referentes de los equipos a operar, siempre debe existir el compromiso por parte del trabajador de conocer las posibles soluciones en caso de fallas o averías en algún equipo, debido a que van existir situaciones en que el manual no sea la mejor herramienta para poder solucionar el problema que se haya encontrado en el equipo. Lo que es cierto, es que el manual puede ayudarnos a identificar los riesgos con el equipo, tales como: falta de piezas en el equipo, ajuste de piezas, remplazo de partes en el equipo, etc., con la finalidad de prevenir algún accidente.

Confirmar el buen estado de una máquina industrial, de alguna manera establece la seguridad del trabajador encargado de operar el equipo. Cuando el manual del equipo es claro y directo en cuanto a sus técnicas, se puede garantizar que el

trabajador podrá realizar sus actividades de forma óptima sin afectar al equipo, y por ende, sin que posteriormente él operador u otros compañeros sufran algún accidente por no haber prestado atención a las indicaciones y advertencias.

Es muy común creer que se conoce un producto cuando en otras ocasiones el personal se ha relacionado con equipos similares, a pesar de ello, no siempre las condiciones de operación pueden ser las mismas. Por ejemplo, puede que en una empresa se quiera cambiar un equipo antiguo por otro completamente nuevo (en buen estado), ya que dicho equipo no cumple con su función de operación, pero el fabricante ha mejorado ese mismo equipo, ya que tiene otro tipo de piezas y a su vez el material es distinto; es decir, el manual se modificará, por el simple hecho de que el equipo ha sido mejorado (comúnmente esto sucede cuando hay nuevas necesidades en la industria y se tiene que adaptar el equipo a situaciones actuales o avanzadas). Por lo cual, a pesar de estar familiarizados con la operación y el mantenimiento del equipo, hay que recurrir al manual, por lo menos para reconocer que el equipo que se vaya a adquirir cumpla con las mismas características.

Por supuesto, un manual no es todo en cuanto a la seguridad del personal, pero si incentiva el cuidado de los operadores, por lo menos indicándoles los peligros o advertencias en los equipos, así mismo mencionando que el trabajador debe portar su equipo de seguridad personal.

Un manual de este tipo debe especificar algunas advertencias para el trabajador, obligando al usuario a ser responsable de sí mismo antes de poner en marcha algún equipo. Por ejemplo, mencionar en el manual que es necesario el uso de lentes, o tapones para auditivos, o indicar que tipo de sustancias son las correctas para emplear en el equipo y que este funcione correctamente. Ese tipo de detalles en un manual, pueden marcar una gran diferencia entre operar de forma adecuada un equipo y evitar algún problema con el mismo, o generar un problema de funcionamiento del equipo. Aunque los manuales no aseguran que no existirán fallas

después de unos años, si es posible que esos defectos en el equipo sean reducidos así como los riesgos de accidentes hacia el personal.

El mantenimiento ha evolucionado, por toda la experiencia que se ha generado alrededor de este tema, y toda esa experiencia se puede convertir en la información más sustancial para escribir en un manual. Son instrucciones que tienen bases sólidas para que el trabajador pueda sentirse más seguro con el equipo de proceso, y aunque no brinda todas las herramientas en cuanto a técnicas de mantenimiento o seguridad industrial, si genera confianza en el operador para conocer un equipo.

### 3.2 Contenido de un manual de mantenimiento y operación

Antes de redactar la parte importante de este tipo de manuales, es decir, las secciones que hablan de la operación y mantenimiento de un equipo, se deben explicar otros aspectos, de modo que el lector pueda conocer toda la información y términos básicos del equipo que va a operar. Por lo que este tipo de manuales contiene un índice específico para el usuario a quien va dirigido, con el propósito de que los procedimientos de mantenimiento y operación del equipo sean rápidos y sencillos de realizar. De forma general los manuales deben abarcar el siguiente contenido que se muestra en los ejemplos de las Tablas 5, 6, 7 y 8:

Tabla 5. Contenido de un manual de mantenimiento y operación (opción 1)		
Capítulos		Descripción
I	Generalidades	Se da una breve explicación del porque se está elaborando el manual y hacia quien va dirigido.
II	Montaje del Equipo	Describe las partes del equipo y como se debe realizar el montaje del equipo.
III	Condiciones permitidas del funcionamiento	Aparecen parámetros de medición, como presión y temperaturas que son óptimas para operar el equipo.
IV	Funcionamiento y puesta en marcha	Contiene el principio de operación del equipo y los pasos o procedimientos para poder operarlo.
V	Limpieza del equipo	Establece recomendaciones de limpieza.

Fuente: Elaboración propia con datos recuperados de:

<http://www.jnegre.es/Descargas/Vahterus/Manual%20mantenimiento%20Vahterus%20ES.pdf>

Fecha: 14 de junio de 2019

**Tabla 6. Contenido de un manual de mantenimiento y operación (opción 2)**

Capítulos		Descripción
<b>I</b>	Descripción General y principios de operación	Hace referencia a la aplicación del manual, para qué sirve el equipo, partes que del equipo, etc.
<b>II</b>	Secuencia o instrucciones para el arranque de Operación	Detalla las etapas para operar el equipo.
<b>III</b>	Procedimientos para los ajustes	Ajustes en el equipo, es decir, ajuste o acomodo de piezas, como se debe de realizar, etc.
<b>IV</b>	Inspección y mantenimiento	Menciona las técnicas de mantenimiento que se deben realizar al equipo.

Fuente: Elaboración propia con datos recuperados de: Manual de operación, mantenimiento y repuestos de 125 a 350 HP. Número de catálogo 750-97. Cleaver Brooks. Export Department P.O. BOX 421, MIL WAUEKEE, WIS. 53201.

**Tabla 7. Contenido de un manual de mantenimiento y operación (opción 3)**

Capítulos		Descripción
<b>I</b>	Elementos básicos de la operación del equipo	Principios básicos de operación para el equipo. De forma breve describe los pasos para poder operar el equipo.
<b>II</b>	Cuidado y requerimientos	Describe de forma sencilla los cuidados y el tipo de limpieza que se debe realizar al equipo.
<b>III</b>	Instalación, operación y ajustes	Esta sección explica las etapas de instalación y puesta en marcha del equipo.
<b>IV</b>	Partes	Aparece una lista de las partes y materiales del equipo, como información para el operador del equipo, así mismo esquemas del equipo para hacer una descripción detallada.
<b>V</b>	Inspección y mantenimiento	Identifica los periodos de inspección (semanal, mensual, etc.) y el mantenimiento para el equipo.

Fuente: Elaboración propia con datos recuperados de: Manual de operación, servicio y partes de 800 a 1500 HP. Número de catálogo: 750-158. Cleaver Brooks, Modelo CBL.

La opción 4 (Tabla número 8), muestra un contenido más extenso, es decir, que tiene más capítulos debido a los requerimientos del equipo:

<b>Tabla 8. Contenido de un manual de mantenimiento y operación (opción 4)</b>		
<b>Capítulos</b>		<b>Descripción</b>
<b>I</b>	Descripción general del producto	Menciona el principio de operación y da una definición del equipo.
<b>II</b>	Descripción de la puesta en servicio	Se enlistan los requisitos de instalación, de transporte y alojamiento del equipo.
<b>III</b>	Descripción del puesto de trabajo	Indica la labor del trabajador al recibir el equipo, para lo cual el responsable debe verificar que no haya alguna falla en el equipo. Así mismo se especifica la forma de guardar el equipo (si es que se requiere).
<b>IV</b>	Exigencias de seguridad	En esta parte se dirigen al operador para que cumpla una serie de reglas para su seguridad y la del equipo.
<b>V</b>	Límites de la máquina por uso previsto y mal uso razonablemente previsibles	Existen posibles recomendaciones para el uso del equipo, y prohibiciones para el trabajador que interactúa con la máquina.
<b>VI</b>	Señalización	Se da explicación a las posibles señalizaciones que puede tener el equipo. Aparecen letreros en el manual para indicar algún peligro.
<b>VII</b>	Mantenimiento	Procedimiento de mantenimiento para todo el equipo. Comienzan a aparecer los pasos para el cuidado del equipo.
<b>VIII</b>	Formación	Los instaladores y usuarios del equipo deben tener una formación o capacitación específica para llevar a cabo sus responsabilidades de forma correcta. En esta sección mencionan que tipo de formación deben tener los trabajadores.
<b>IX</b>	Responsabilidades	Indica las responsabilidades del vendedor, propietario y operador de la máquina.

Fuente: Elaboración propia con datos recuperados de: Manual de instrucciones, uso y mantenimiento. Recuperado de: <https://www.xemagalicia.com/Manual-Instrucciones.pdf>  
 Fecha: 25 de junio de 2019

La opción 4 (Tabla número 8), muestra capítulos en los que ya se incluye la labor de los responsables del equipo, es decir, va desde la parte de la recepción y venta de equipo, hasta la parte en la que hace la instalación, puesta en marcha y mantenimiento del equipo.

Generalmente el contenido de un manual viene establecido por los capítulos mencionados en las Tablas 5, 6, 7 y 8; sin embargo, la gran mayoría de estos manuales aparte de mostrar esos capítulos, mencionan en las primeras páginas el nombre de la empresa y el modelo del equipo que está promocionando la empresa, esto generalmente puede aparecer desde la portada del manual o en una segunda página.

Debido a que la elaboración del manual de operación y mantenimiento del intercambiador de calor de vidrio no está siendo realizado por parte de un fabricante que provenga de alguna empresa, se omiten los datos de nombre de la empresa, clave del equipo, núm. De catálogo etc., y en su lugar se debe redactar en la portada la fecha de emisión del manual y el nombre del autor. (Ver portada del manual, Capítulo IV)

Como puede observarse en las cuatro opciones, el contenido del manual es muy importante, porque a partir de los títulos que se asignen, se desarrollaran todas las advertencias, los pasos para operar el equipo y la parte para dar mantenimiento y corregir algunos detalles en los equipos.

La estructura de un manual siempre debe llevar un orden y la información debe ser breve y clara. Si se omiten secciones en el manual que quizás no se observaron al momento de redactarlo, se puede generar un problema para el trabajador que este leyendo las instrucciones que aparecen en dicho escrito, y esto puede generar un accidente. Es por eso que el desarrollo de los títulos y subtítulos de un manual, ya deben estar bien identificados y se debe contar con información para la parte de la redacción, de lo contrario, la información podría no coincidir con los nombres de las

secciones del manual y podría no quedar claro el propósito e información que se encuentra en dicho texto.

En la Tabla número 9, se muestra la opción de contenido del manual de mantenimiento y operación del intercambiador de calor de vidrio.

<b>Tabla 9. Contenido de un manual de mantenimiento y operación (opción para el manual del ICV)</b>		
<b>Capítulos</b>		<b>Descripción</b>
<b>I</b>	Descripción General y principio de operación del ICV	Se menciona de manera general de que trata el manual, para qué sirve el equipo, partes que del equipo, sustancias recomendadas para su uso etc., así como el principio o fundamento teórico de operación del equipo.
<b>II</b>	Instrucciones para la operación y paro del ICV	Detalla las etapas para operar el equipo, y muestra un esquema de operación del equipo, así como una tabla de válvulas e instrumentos para la correcta identificación de cada uno de estos.
<b>III</b>	Inspección y mantenimiento	Menciona la frecuencia o el período para la limpieza del equipo, indicando el tipo de solución a emplear, así como también las indicaciones para el mantenimiento que se debe realizar al equipo.

Fuente: Elaboración propia

Así como hay un contenido para el manual, existen ciertas advertencias que no se indican en el índice, como pueden ser letreros indicando peligro, advertencia o algún símbolo o dibujo para evitar ciertas acciones durante la operación de un equipo; y estos avisos se presentan en la mayoría de los capítulos, principalmente en los que hablan de montaje de equipo, limpieza, operación y mantenimiento. A continuación, la siguiente sección de este capítulo se centra en los avisos y advertencias que nos indican peligros y algunas medidas de seguridad adecuadas para operar el equipo.

### **3.3 Aspectos de seguridad del manual de mantenimiento y operación**

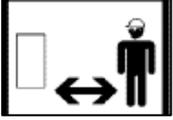
Estos aspectos tienen que ver con todo el contenido que hay en un manual, es decir aquellas breves notas y letreros del manual que advierten al trabajador de ciertos riesgos que puedan comprometerlo a él y a su trabajo.

Cuando tenemos en cuenta la seguridad en el mantenimiento debemos realizar la prevención de los posibles riesgos ocasionados por las actividades habituales (Carroza, 2007).

Esta serie de notas y advertencias deben ser especificadas de acuerdo a la manera en que opera el equipo. El fabricante del equipo debe advertir al operador de los riesgos que puede enfrentar si no pone atención a su trabajo y si no hace uso de un equipo de seguridad adecuado. Por lo general, estas notas se hacen a lo largo de todo el manual, y el fabricante debe identificar cada uno de los posibles riesgos, es decir, si el equipo opera a altas temperaturas, utiliza algún reactivo que puede ser tóxico o inflamable, etc., por lo que debe anunciarlo añadiendo alguna nota y especificación que lleve alguna leyenda o dibujo que indique que algo es peligroso.

Es muy fácil encontrar cada una de estas advertencias y notas, depende del autor donde va a colocar estos avisos, ya que pueden colocarse sólo en las primeras páginas del manual, o si es necesario en cada uno de los capítulos donde se presente alguna acción con el equipo a operar, con la finalidad de mencionar que está bien usar durante el trabajo con el equipo y que no hacer para evitar accidentes.

A continuación en la Tabla número 10 aparecen una serie de títulos e imágenes que se emplean en los manuales:

Tabla 10. Avisos y advertencias de seguridad en un manual de mantenimiento y operación	
Aviso/Advertencia/Símbolo	Significado
	Este símbolo da un mensaje de alerta, le indica al trabajador que debe estar alerta, prestar atención, ya que puede estar en riesgo su seguridad. Esta leyenda aparece junto con los demás símbolos y en todo el manual.
	Indica una alerta de posible explosión. Esta alerta se pone para indicar que hay ciertas sustancias que no se deben introducir al equipo o manejar cerca del equipo, porque se puede generar una explosión.
	Indica que debe existir un espacio adecuado entre el equipo y el trabajador, para poder pasar por los pasillos, y así operar el equipo o también para realizar alguna reparación.
	El símbolo del libro le indica al lector, que debe leer todas las reglas del manual antes de operar el equipo, con la finalidad de evitar accidentes. Le señala al trabajador que no debe operar el equipo a menos que haya comprendido todas las secciones del manual, ya que él debe ser responsable de su equipo y de su propia seguridad. Este símbolo generalmente aparece casi al principio del manual.
	Básicamente son todos los símbolos del equipo de seguridad que debe portar el trabajador, para poder hacer sus actividades, o bien, para poder operar las máquinas, limpiar o dar mantenimiento a un equipo y evitar accidentes. El equipo de seguridad más empleado es: <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Casco</li> <li>❖ Chaleco o en algunos casos un overol o bata blanca (depende del tipo de industria y actividad a realizar)</li> <li>❖ Lentes o googles de seguridad</li> <li>❖ Tapones para los oídos o auriculares</li> <li>❖ Guantes</li> <li>❖ Botas de casquillo, etc.</li> </ul> Pueden existir otros tipos de equipo de seguridad para el personal, pero eso depende del tipo de trabajo que se vaya a realizar, y eso se debe indicar en el manual.
	Estas imágenes hacen una prohibición al trabajador, indican que el personal no debe fumar o trabajar cerca de alguna chispa, ya que podría provocar un incendio por hacer esto mientras esta en su horario de trabajo.

Fuente: Elaboración propia con datos de:

<http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20141105-35201-43810>

Fecha: 15 de julio de 2019

Los símbolos que se observan en la Tabla número 10, pueden ser parte del manual, aunque no son los únicos símbolos, pueden agregarse otros y diferentes tipos de advertencias, por supuesto, como se mencionó en secciones anteriores, todo dependerá del tipo de equipo, de su aplicación y del tipo de industria, para que el fabricante proporcione ciertas características al equipo y por ende al manual.

Es importante que tanto el fabricante diseñe un buen manual de operación y mantenimiento (que es una guía rápida para el manejo de equipo), como que el operador o trabajador lea cuidadosamente todas las instrucciones y las analice para que su trabajo sea bien realizado.

### **3.4 Uso de herramientas adecuadas para el mantenimiento de equipos**

La actividad de mantenimiento va acompañada de la reparación y ajustes de piezas en algunos equipos. Para poder hacer reparación o ajustes de piezas, es necesario el uso de herramientas, y por supuesto, para saber qué tipo de herramientas y materiales se van a emplear, es fundamental identificar el problema. Una vez que se conoce el problema, se puede elaborar una lista de herramientas y material, para proceder a realizar el mantenimiento adecuado.

Si se conoce el equipo y las posibles fallas antes de que surja algún inconveniente, se pueden pensar en las herramientas necesarias para dar solución a estas situaciones, y el operador podrá contar con el material adecuado para hacer el mantenimiento pertinente al equipo que este revisando.

Algunos manuales dan recomendaciones de herramientas para realizar el mantenimiento o para algún ajuste de piezas, ya que el operador podría seleccionar las herramientas equivocadas.

Existen tres categorías de herramientas: 1) manuales, 2) eléctricas y 3) neumáticas. El uso de estas, depende tanto del tipo de reparación como del equipo.

Las herramientas que se utilizan para algún ajuste de piezas para el intercambiador de calor de vidrio, pertenecen a la categoría de manuales y se muestran en la Tabla número 11:

<b>Tabla 11. Herramientas para ajustes</b>	
<b>Matraca</b>	Este tipo de llave, es empleada para hacer el torque de los espárragos, y generalmente son utilizadas en los talleres de mantenimiento.
<b>Llave española</b>	Al igual que la matraca, esta llave también es empleada para el torque de espárragos.
<b>Perico</b>	Es empleada como herramienta ajustable para las mangueras de vapor.
<b>Desarmador</b>	Es utilizado para apretar las abrazaderas de las mangueras que están conectadas al intercambiador de calor de vidrio.

Fuente: Elaboración propia



Foto 1. Herramientas para ajustes de piezas

## **CAPÍTULO IV. MANUAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE VIDRIO**

# INTERCAMBIADOR DE CALOR DE VIDRIO DE TUBOS Y CORAZA

## MANUAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN

Presión de operación permitida del  
equipo: De 0.8 kg/cm<sup>2</sup> a 1 kg/cm<sup>2</sup>

Tipo de vidrio del equipo: Boro silicato



**Fecha de emisión:** Octubre de 2019

**Elaborado por:** Tovar Salas Esmeralda Monserrat

**Conserve este manual para posibles consultas**

## Contenido

CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN GENERAL Y PRINCIPIO DEL ICV .....	1
A. General.....	1
B. El intercambiador de calor de vidrio .....	1
C. Partes y especificaciones del equipo.....	2
D. Válvulas e instrumentos empleados en la operación del equipo .....	4
E. Principio teórico.....	6
CAPÍTULO 2. INSTRUCCIONES PARA LA OPERACIÓN Y PARO .....	7
A. General.....	7
B. Secuencia de operación (bosquejo).....	7
C. Instrucciones para la operación y paro del ICV .....	9
CAPÍTULO 3. INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO .....	12
A. General.....	12
B. Limpieza del equipo.....	13
C. Mantenimiento del ICV .....	14
ANEXOS DEL MANUAL .....	17
ANEXO A. Foto del intercambiador de calor de tubos y coraza de material de vidrio .....	18
ANEXO B. Foto de la bitácora del intercambiador de calor de vidrio .....	19
ANEXO C. Check list para el intercambiador de calor de vidrio .....	20
ANEXO D. Información acerca del material Nylamid .....	21
ANEXO E. Información acerca de la solución de piedra dura.....	22
ANEXO F. Aceite para lubricar espárragos y tuercas del ICV .....	23
ANEXO G. Componentes de los cabezales del ICV.....	24
ANEXO H. Plano con partes y medidas del quipo.....	25

**MANUAL DIRIGIDO PARA:** Los usuarios y personal técnico de planta piloto.

Este manual de mantenimiento y operación, presenta información que les será de utilidad a los usuarios que se encarguen de la operación e inspección del intercambiador de calor de vidrio de planta piloto. (Ver foto del equipo en anexo A)

Estudie cuidadosamente su contenido. El equipo funcionará correctamente, si se siguen las instrucciones para su operación y mantenimiento.

El intercambiador de calor de vidrio fue diseñado para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Campus II, para la realización de prácticas de planta. Por tal motivo, los usuarios deben conocer los pasos para la operación y mantenimiento de este equipo.

Se recomienda que se mantenga un registro mensual o en su defecto semestral referente al estado del equipo, también se recomienda tener un programa de capacitación. Los procedimientos de inspección mensual o semestral, servirán de guía para cualquier investigación o ajuste necesario en el equipo. Cualquier observación después de su operación deberá ser registrada en la Bitácora del equipo (Ver anexo B) y en el Check list (Ver anexo C). La Bitácora deberá solicitarla con quien este encargado de la planta piloto.

NOTA: Vea el Anexo B para conocer los datos que se piden registrar en la Bitácora del equipo.

## **MEDIDAS DE SEGURIDAD**

Los accidentes relacionados con la operación y mantenimiento de un equipo, se deben a que no se presta atención suficiente a las precauciones y/o reglas básicas de seguridad. Estos accidentes pueden ser evitados si el operador esta alerta e identifica una situación de riesgo o peligro antes de que ocurra un accidente.

La operación, lubricación, limpieza y mantenimiento incorrectos de este equipo, pueden ser peligrosos y provocar accidentes.

Antes de proceder a la operación y procedimientos relacionados al mantenimiento del equipo, es importante que lea y comprenda las siguientes medidas de seguridad. Si no sigue estas medidas, podría afectar al equipo o a la persona que lo opere.

Se requiere que comprenda y analice toda la información de este manual, para poder continuar con el arranque y mantenimiento del equipo.

Este equipo sólo puede ser operado por el personal que tenga un conocimiento sólido en el funcionamiento práctico del equipo.

Los símbolos que se emplearán en este manual son los siguientes:



Tabla A. Equipo de seguridad	
	Bata de algodón
	Bota industrial
	Guantes de asbesto
	Lentes de seguridad
	Casco

Por su seguridad utilice el equipo recomendado, ya que durante la operación del equipo, se trabaja con el servicio de vapor, por ello es importante el uso de guantes asbesto y bata de algodón, para evitar quemaduras.

Recuerde que debe prestar atención a cada parte del manual, para evitar accidentes. Utilice su equipo personal de seguridad para la operación y mantenimiento del equipo, cuando se indique en los apartados del manual.



**Imagen 1. Representación en 3D del intercambiador de calor de tubos y coraza de vidrio**

El intercambiador de calor de vidrio de tubos y coraza de material de vidrio, fue diseñado de tal forma que los usuarios pudieran observar su funcionamiento interno. El equipo opera como condensador, usando vapor y agua.

## CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN GENERAL Y PRINCIPIO DEL ICV

	Pág.
A. General	1
B. El intercambiador de calor de vidrio	1
C. Partes y especificaciones del equipo	2
D. Válvulas e instrumentos empleados en la operación del equipo	4
E. Principio teórico	6

### A. General

¡La información general de este manual, se aplica únicamente a este equipo! Este capítulo abarca todos los detalles relacionados al intercambiador de calor de vidrio, por lo que deberá revisar cada apartado para la identificación de partes del equipo, los servicios que se emplean para su operación y para conocer los principales usos.

### B. El intercambiador de calor de vidrio

El intercambiador de calor de tubos y coraza, es una estructura de vidrio que favorece la transmisión de calor entre fluidos a diferente temperatura. Se conoce con dicho nombre, por su estructura: coraza y tubos.

Algunos intercambiadores de calor, están diseñados con material de vidrio, y son empleados como condensadores en industrias farmacéuticas. Debido al tipo de material con el que está fabricado, es resistente a la corrosión, y se emplea vapor y agua para su operación.

El intercambiador de calor de vidrio de tubos y coraza ubicado en planta piloto, se encuentra montado sobre una estructura metálica de tipo tubular y se encuentra en posición horizontal, de otro modo el equipo no podría ser operado o podría sufrir algún daño.

### C. Partes y especificaciones del equipo

El intercambiador de calor de tubos y coraza, de material de vidrio de boro silicato, es un equipo que permite observar lo que sucede en el interior de la coraza y tubos. El vidrio de boro silicato con el que está fabricado el intercambiador, es un vidrio que resiste ataques químicos de diversos productos, además facilita la toma de decisiones para la realización del mantenimiento. El nombre comercial de este tipo de vidrio se conoce como: QVF, DURAN ó PYREX. El nombre comercial del vidrio del intercambiador de calor es QVF.

El cabezal de entrada al equipo es de metal, y tiene forma cónica, mientras que el cabezal de salida también es de vidrio. El equipo cuenta con siete tubos correspondientes a un arreglo geométrico de tipo triangular, también tiene tres espejos de porcelana y uno de nylamid blanco (Ver información de material de nylamid en el Anexo D).

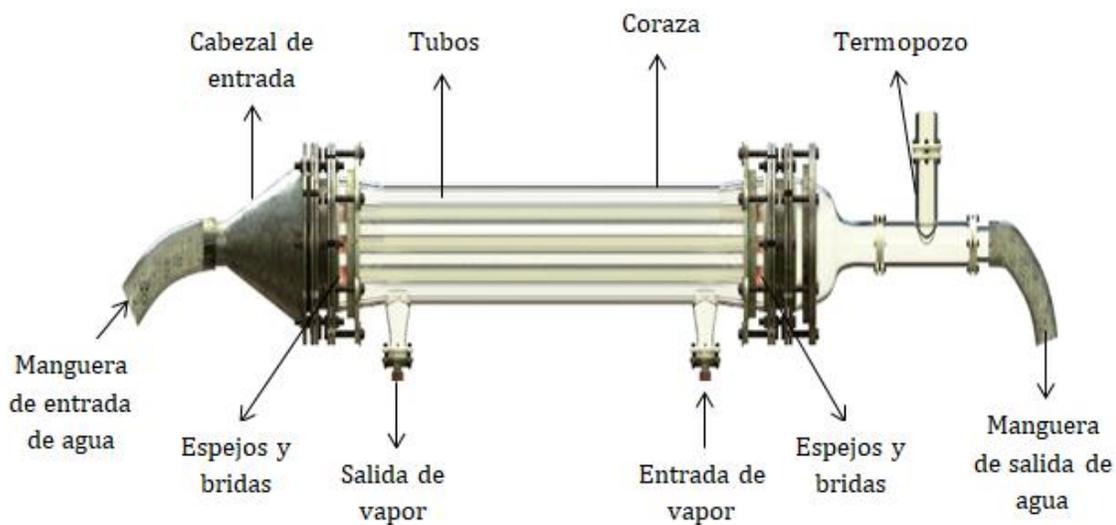
El equipo se encuentra en la planta piloto de la FES Zaragoza, y presenta las siguientes dimensiones, enlistadas en la Tabla número 1:

<b>Tabla 1. Dimensiones del ICV</b>	
<b>Sección</b>	<b>Dimensión (m)</b>
Diámetro exterior de la coraza	0.354
Longitud de la coraza	0.89
Longitud de tubos	1
Diámetro interno de tubos	0.016
Diámetro externo de tubos	0.018
Longitud de las bridas al termopar	0.085
Longitud entre las conexiones de las mangueras	0.663
Altura del termopar	0.153
Entrada de vapor (circunferencia de las boquillas)	0.028

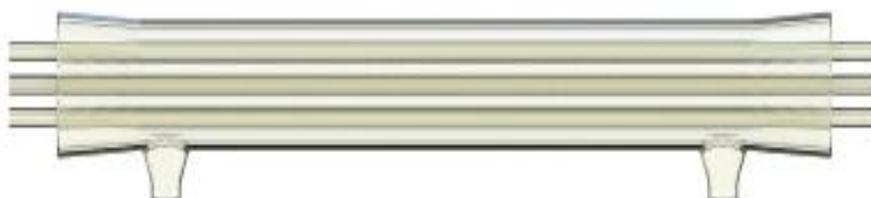
Por otra parte, algunas de las sustancias que se pueden utilizar con el vidrio de borosilicato se enuncian en la Tabla número 2:

<b>Tabla 2. Sustancias recomendadas y no recomendadas en el uso del vidrio de boro silicato</b>	
<b>Recomendado para:</b>	<b>Sustancias que causan corrosión:</b>
Agua desionizada	Ácido fluorhídrico
Soluciones salinas	Ácido fosfórico
Halógenos (cloro y bromo)	Soluciones causticas
La mayoría de ácidos	

Las partes del intercambiador de vidrio, se muestran en la Imagen 2, 3,4 y 5:



**Imagen 2. Partes del intercambiador de calor de vidrio**



**Imagen 3. Coraza y tubos del ICV**



**Imagen 4. Conjunto de espárragos, juntas, empaques, sellos térmicos, bridas, tuercas y espejos**



**Imagen 5. Cabezal de salida y entrada del ICV**

En el Anexo G, se presenta de una forma más detallada el conjunto de espárragos, juntas, empaques, sellos térmicos, bridas y espejos de la Imagen número 4.

En el Anexo H podrá encontrar otro plano en donde se muestran las medidas de la coraza y los tubos del equipo.

#### **D. Válvulas e instrumentos empleados en la operación del equipo**

El intercambiador está acompañado de ciertos instrumentos y válvulas para su operación, por lo que es necesario que los identifique y conozca antes de operar el equipo. Las válvulas e instrumentos aparecen en la Tabla número 3:

**Tabla 3. Instrumentos y válvulas**

Instrumento o Válvula	Descripción	Imagen del instrumento o válvula
Válvula de compuerta	Esta válvula tiene un funcionamiento ON-OFF, ya que este tipo de válvula no permite regular el flujo, es decir, se encuentra completamente abierta o cerrada durante la operación de algún proceso.	
Válvula de esfera	Es una válvula con cuerpo de una sola pieza, de pequeña dimensión y paso reducido. Esta válvula principalmente es utilizada para el suministro de vapor al ICV.	
Válvula de aguja	Es la válvula de vástago cónico, ubicada entre el termómetro y el manómetro de carátula. Con esta válvula y con ayuda del manómetro, se ajusta la presión de vapor en el equipo. NOTA: Se recomienda trabajar el sistema a una presión de vapor de no más 1 kg/cm <sup>2</sup> .	
Válvula reguladora de presión	Este tipo de válvula se emplea cuando se requiere una presión constante o fija (de <i>consigna</i> ), evita daños y brinda una regulación homogénea en la presión de un fluido. NOTA: Esta válvula ya se encuentra regulada a una presión de 2 kg/cm <sup>2</sup> .	
Trampa de Vapor	Es una válvula que a la presencia de vapor se abre y se utiliza para direccionar el flujo correspondiente a la salida del condensado.	
Rotámetro	Indica por medio de una lectura, el flujo entrante al sistema. Este instrumento ayuda a medir el caudal de agua (alimentación) que entra al equipo. Cuenta con una escala específica para facilitar la lectura del flujo, y presenta una forma de tubo cónico.	
Termómetro	Es un instrumento correspondiente a la medición de temperatura, que presenta una escala de 0 a 200 °C; y se encuentran localizados a la entrada del intercambiador, y a la derecha de la válvula de aguja.	
Manómetro	Es un instrumento correspondiente a la medición de presión, que presenta una escala de 0 a 4 kg/cm <sup>2</sup> ; y se encuentra a la izquierda de la válvula de aguja.	

Cada una de las válvulas e instrumentos mostrados en la Tabla 3, son parte del procedimiento de operación para el ICV, por lo que es fundamental identificarlos antes de realizar alguna actividad experimental con el equipo. De este modo, el usuario podrá operarlo sin dificultad.

### **E. Principio teórico**

El principio de un intercambiador de calor, se basa en la transferencia de energía que se genera dentro del equipo, en forma de calor de un medio a otro.

Las dos corrientes de flujo que se mueven por el equipo, lo hacen en contracorriente. De este modo el fluido de agua fría, se calienta hasta alcanzar la temperatura del fluido con mayor temperatura.

## CAPÍTULO 2. INSTRUCCIONES PARA LA OPERACIÓN Y PARO

	Pág.
A. General	7
B. Secuencia de operación (Bosquejo)	7
C. Instrucciones para la operación del ICV	9

### A. General

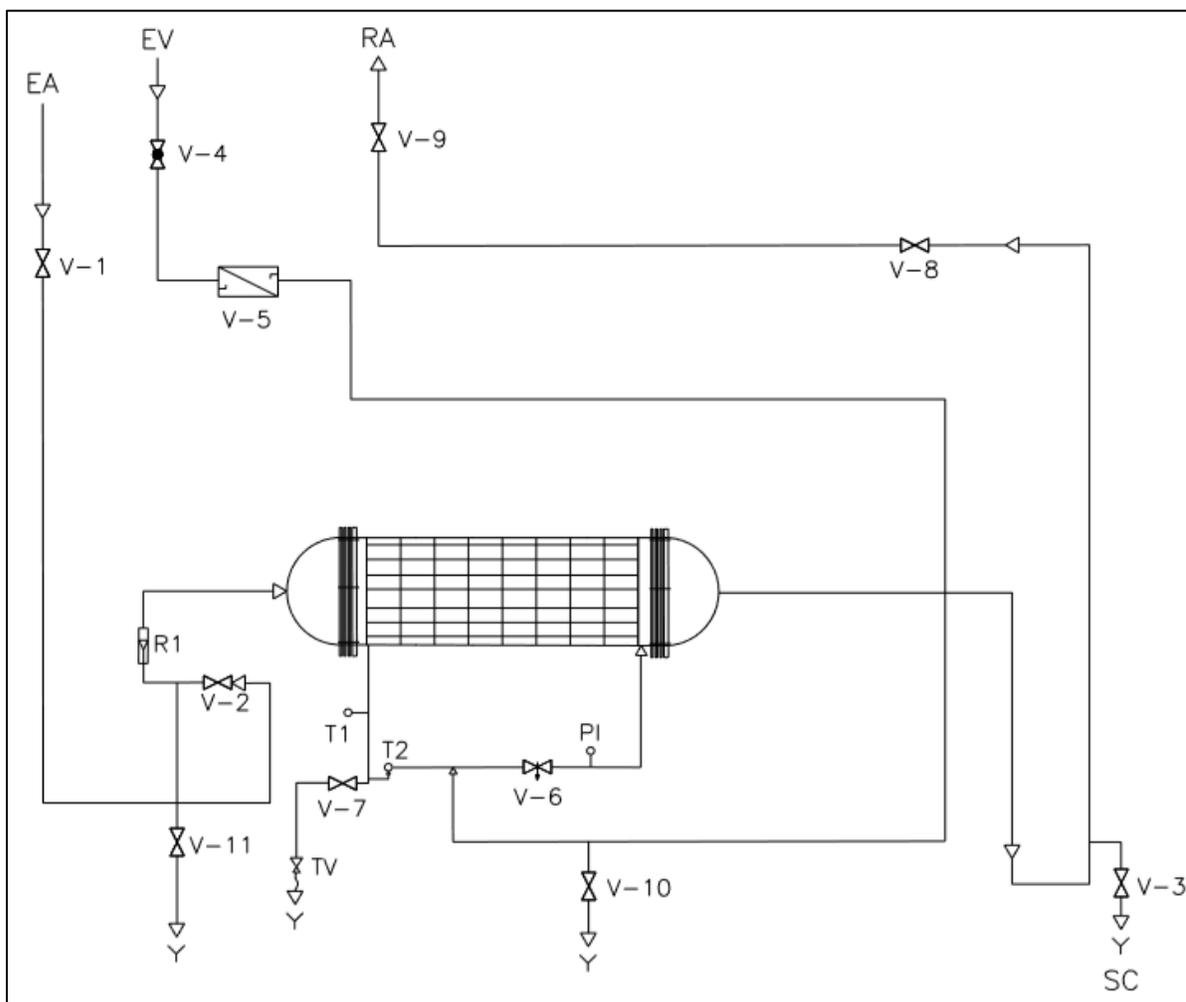
Este capítulo esboza mediante un esquema de operación y una secuencia de pasos, el procedimiento para operar el intercambiador de calor de tubos y coraza. Cabe mencionar, que para la operación del equipo, se ocupan dos servicios: agua de enfriamiento y vapor proveniente del generador.

### B. Secuencia de operación (bosquejo)

A continuación, en la Tabla 4 se identificará cada una de las válvulas, instrumentos, entradas y salidas de servicios, que aparecen en el Esquema número 1, para la operación del ICV.

<b>Tabla 4. Código de válvulas, instrumentos, entradas y salidas de servicios para la operación del ICV</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Válvula , accesorio, entrada o salida de servicio</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Código</b>
1	Rotámetro	858 GPH	R1
8	Válvula de compuerta	No aplica	V-1, V-2, V-3, V-7, V-8, V-9, V-10 y V-11
1	Válvula de esfera	No aplica	V-4
1	Válvula reguladora de presión	No aplica	V-5
1	Válvula de aguja	425 kg/cm <sup>2</sup>	V-6
2	Manómetro de carátula	0-2 kg/cm <sup>2</sup>	PI
2	Termómetro de carátula	0-200 °C	T1 y T2
1	Trampa de vapor	No aplica	TV
-	Entrada de agua fría proveniente de Torre de enfriamiento	No aplica	EA
-	Retorno de agua a la Torre de E.	No aplica	RA
-	Entrada de vapor al ICV	No aplica	EV
-	Salida de agua caliente	No aplica	SC

Para comprender de forma rápida como operar el intercambiador de calor de vidrio, primero se debe de familiarizar con el Esquema 1 (Esquema de operación del ICV), basándose en la Tabla número 4 (pág. 7), para el reconocimiento de cada una de las válvulas e instrumentos pertenecientes al ICV.



**Esquema 1. Esquema de operación del ICV**

### C. Instrucciones para la operación y paro del ICV

- En las instrucciones de esta sección, se asume que la instalación del equipo ya está hecha.
- Se asume que el usuario ya se familiarizó con el Esquema 1 para la operación del equipo, identificando los instrumentos y válvulas que se emplean para la operación del equipo.
- Lea detenidamente estas instrucciones para la operación del equipo, hasta que se entiendan perfectamente.

**¡ADVERTENCIA!**

La operación de este equipo conlleva la apertura y cierre de válvulas, control presión, y el uso de servicio de vapor del generador, por lo que antes de comenzar debe asegurarse de que todas las válvulas estén completamente cerradas, y no existan fugas (líquido) en el equipo o en las mangueras de entrada y salida, y es importante el uso de guantes de asbesto para evitar quemaduras.

Antes de comenzar con la operatividad del equipo, debe portar con el equipo de seguridad correspondiente, que aparece a continuación:

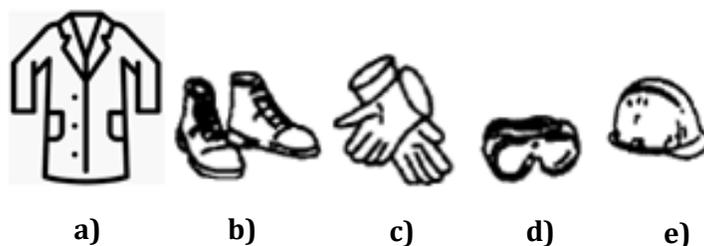


Ilustración 1. Equipo de Seguridad:

a) Bata, b) Botas industriales, c) Guantes de asbesto, d) Lentes de seguridad y e) Casco

Bajo ningún motivo puede operar o dar mantenimiento al ICV sin el equipo correspondiente de seguridad.

**a) Operación del equipo:**

1. Revisar que todas las válvulas estén completamente cerradas antes de poner en marcha el equipo.
2. Encender la bomba correspondiente de la torre de enfriamiento, para el suministro de agua al ICV.
3. Abrir suministro de agua de la torre de enfriamiento por medio de la válvula de compuerta V-1 (Tubería de entrada de agua proveniente de la Torre de enfriamiento). **Ver págs. 7 y 8.**
3. Alinear las válvulas de torre de enfriamiento, de salida y retorno.
4. Calibración del rotámetro. Modificar el flujo correspondiente de agua de acuerdo a determinaciones experimentales o de acuerdo al flujo requerido, con ayuda de la válvula de compuerta V-2 (ubicada debajo del rotámetro).
5. Apertura de la válvula V-3, localizada cerca de la rejilla de desagüe.
6. Abrir la válvula V-4 para el suministro de vapor al intercambiador de calor.
7. Con ayuda de la válvula V-6 y el manómetro, ajustar la presión de vapor en el equipo a  $0.8 \text{ kg/cm}^2$  o máximo a  $1 \text{ kg/cm}^2$  (manométrica).
8. El condensado es descargado mediante la trampa de vapor.
9. Finalizando la operación del equipo, las válvulas V-8 y V-9 se abren para regresar el agua a la torre de enfriamiento.
10. Finalmente después de haber operado el equipo, se recomienda drenar totalmente, a partir de las válvulas V-3 y V-10, con la finalidad de evitar incrustaciones en el intercambiador de calor.

**b) Paro del equipo**

1. Cerrar el suministro de vapor por medio de la válvula V-4 y V-6, verificando que el equipo ya no indique lectura a partir del manómetro y a su vez revisando que descienda la temperatura indicada en el termómetro de carátula y así alcanzar la temperatura ambiente.
2. Permitir la recirculación de agua.
3. Dejar de recircular el agua, hasta que la temperatura en la coraza sea igual a la temperatura ambiente.
4. Cerrar las válvulas de entrada de agua V-1 y V-2.
5. Abrir V3, V-7, V-10 y V-11 para drenar totalmente el equipo.
6. Cerrar válvulas V-8 y V-9 (válvulas correspondientes del retorno a la torre de enfriamiento).

Nota: Registrar en Bitácora la información de la operación del equipo, después de usarlo. (Ver el Anexo B)

### **CAPÍTULO 3. INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO**

	Pág.
A. General	12
B. Limpieza del equipo	13
C. Mantenimiento del ICV	14

#### **A. General**

Un programa de mantenimiento organizado, evita interrupciones innecesarias o reparaciones costosas, aumentando la seguridad y a su vez proporciona ayuda a los usuarios encargados de esta tarea; por lo cual, debe establecerse un plan para la inspección junto con una lista de recomendaciones para tener un registro mensual o semestral para el equipo; esto representa una mejora de la funcionalidad y operatividad.

Aunque este tipo de intercambiador de calor de vidrio, no requiere de un mantenimiento amplio, no evita la responsabilidad de esta tarea. Recuerde que el buen manejo y limpieza, prolonga la vida útil del equipo.

El usuario responsable de esta actividad, debe tener conocimiento de lo que va a realizar. También se debe mantener el área o lugar de trabajo libre, es decir, sin obstrucciones para la operación.

De acuerdo a la operatividad del equipo se deben identificar lecturas óptimas de presión, ya que de no ser así esto debe alertar al usuario en una posible falla de acuerdo al mecanismo en la funcionalidad del equipo.

## B. Limpieza del equipo

La limpieza del equipo es de suma importancia para evitar las incrustaciones, ya que se eliminan todos los depósitos que se adhieren y acumulan durante su operación.

A continuación se indica la forma adecuada de limpiar el equipo:

a) Cuerpo del intercambiador: coraza, tubos y cabezales.

**Frecuencia de la limpieza rutinaria:** Al término de cada práctica drenar completamente el equipo, mangueras y tuberías.

**Frecuencia de la limpieza profunda:** Al término del semestre. Si el material de vidrio presenta suciedad o incrustación, emplee una solución limpiadora para el equipo: Solución de piedra dura al 3%. (Ver Anexo E)

Esta limpieza puede hacerse sin desmontar el equipo o desarmarlo, bombeando la solución y pasando el flujo por coraza, tubos y por toda el área interna del intercambiador, ya sea en flujo paralelo o en contraflujo según sea el caso, y posteriormente se hace circular agua de red para enjuagar el equipo.

Recomendación: El limpiador desincrustante para vidrio, es un producto de empleo delicado, por lo que se sugiere que sólo se realice **un lavado** con la solución, y posteriormente se realicen **enjuagues** con agua de red, para retirar la solución en la superficie a tratar.

### **C. Mantenimiento del ICV**

El tipo de mantenimiento al que se refiere este apartado será de tipo preventivo y/o correctivo.

#### **A. Coraza y tubos**

La coraza y los tubos deben ser inspeccionados, para identificar si existen residuos adheridos en la superficie. Si es el caso, revise la sección B de este manual, para hacer la limpieza correspondiente.

En el caso de que alguno de los tubos del equipo tenga que ser retirado, desmontar los espárragos y las bridas de los cabezales del ICV, específicamente del cabezal cónico de metal, de esta manera podrá retirar los tubos del equipo. Es importante que esta labor la realice alguien que sepa retirar los tubos, para evitar que alguno de rompa.

#### **B. Bridas de acero inoxidable con espárragos**

Las bridas son componentes de los cabezales, las cuales facilitan el ensamble del equipo, el mantenimiento, reparación y limpieza.

Inspeccione que todas las bridas estén bien colocadas, y que los espárragos estén lo suficientemente ajustados para que no existan fugas en el equipo o algún incidente.

- Apretar o cambiar los espárragos:

Con ayuda de la matraca, ajuste o cambie los espárragos que se encuentran en los cabezales de entrada y salida del ICV.

Para lograr la instalación segura y rápida de los espárragos siga estos pasos:

1) Identifique la medida de la rosca del espárrago y busque el dado instalador que se ajuste a su medida.

2) Coloque el esparrago donde se instalará, y con ayuda de una llave (matraca o una llave española), ajuste el espárrago hasta el torque requerido. El ajuste y cambio de espárragos se realiza para asegurar la unión entre la brida con los cabezales.

- Lubricación de espárragos y tuercas

Para la lubricación de espárragos y tuercas, utilice de preferencia el Aceite WD40 La lubricación debe ser realizada cuando se empiece a complicar el ajuste o torque de las piezas. (Ver Anexo F para conocer las características del aceite).

NOTA: No existe un tiempo determinado para hacer la lubricación y cambio de espárragos en el equipo, el usuario debe estar pendiente de la operación, el estado de este tipo de piezas, para identificar el momento pertinente de lubricación, cambio o ajuste de dichas piezas.

### Espejos

Esta parte del equipo ayuda a separar los fluidos de la coraza y los tubos. Funciona como soporte al arreglo de los tubos. El equipo cuenta con cuatro espejos.

En caso de que se necesitará retirar los espejos para cambiarlos por otros, debe proceder a retirar los espárragos y las bridas del equipo, en el cabezal donde se encuentre posicionado el espejo. Esto facilita que el usuario pueda retirar los espejos de forma más sencilla.

Al igual que los espárragos, no existe un tiempo determinado para cambiar los espejos, esto dependerá de la inspección y funcionamiento del equipo, para identificar cuando se debe realizar dicho cambio.

NOTA: Es conveniente cambiar los espejos por unos de material de porcelana o nylamid, y evitar el remplazó de espejos de material de PET, debido a que el material no podría resistir altas temperaturas.

### C. Mangueras de agua

El equipo cuenta con cuatro mangueras de agua. En el caso en que el usuario observe fugas en alguna de las mangueras, tendrá que suspender la operación del equipo, para poder retirar las mangueras y cambiarlas. Una vez que se intercambian las mangueras, se colocan en las entradas correspondientes al equipo (entrada y salida de agua y vapor), es importante que opere el equipo para identificar si las mangueras están bien colocadas y no existen fugas.

NOTA: En el caso de la manguera que entra al cabezal de entrada y salida del ICV, si se desean cambiar, seleccione una manguera de 1 ½ pulgada, de material de plástico tramado.

---

## **ANEXOS DEL MANUAL**

### **ANEXO A.**

Foto del intercambiador de calor de tubos y coraza de material de vidrio

### **ANEXO B.**

Foto de la bitácora del intercambiador de calor de vidrio

### **ANEXO C.**

Check list para el intercambiador de calor de vidrio

### **ANEXO D.**

Información acerca del material Nylamid

### **ANEXO E.**

Información acerca de la solución de piedra dura

### **ANEXO F.**

Aceite para lubricar espárragos y tuercas del ICV

### **ANEXO G.**

Componentes de los cabezales del ICV

### **ANEXO H.**

Plano con partes y medidas del equipo

ANEXO A. Foto del intercambiador de calor de tubos y coraza de material de vidrio



ANEXO B. Foto de la bitácora del intercambiador de calor de vidrio



La bitácora se pide con el encargado o el técnico de planta que esté disponible.

Los datos que se tienen que anotar en la bitácora son:

- 1) Fecha
- 2) Hora
- 3) Grupo
- 4) Nombre del asesor
- 5) Observaciones

ANEXO C. Check list para el intercambiador de calor de vidrio

		<b>PROCESO DE INSPECCIÓN DE EQUIPO PARA MANTENIMIENTO</b>					
		<b>LISTA DE CHEQUEO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE VIDRIO</b>					
		(CHECK LIST)					
		<b>No. DE FOLIO DE LISTA DE CHEQUEO: 001</b>					
Fecha de inspección:		Nombre de la persona que inspecciona:					
Lugar de inspección: FES Zaragoza, Campus 2. Planta P.		Nombre del responsable del área:					
PARTES A INSPECCIONAR		OBSERVACIONES			VALORACIONES		
					1	2	3
1	Coraza						
2	Tubos						
3	Mangueras de entrada y salida de agua						
4	Espejos						
5	Bridas y espárragos						

**VALORACIONES**

1: Buenas condiciones  
 2: Necesita mantenimiento o limpieza  
 3: Cambio/Repuesto de pieza

#### ANEXO D. Información acerca del material Nylamid

El nylamid pertenece a la familia de las Poliamidas (PA) Nylon. Su combinación de propiedades mecánicas y eléctricas y su amplia gama de presentaciones y medidas, lo han hecho el material ideal para la fabricación de diversas piezas en el ramo industrial.

##### **Características del nylamid:**

- Gran resistencia térmica y al desgaste
- Buenas propiedades mecánicas y eléctricas
- Amplio rango de presentaciones y medidas

##### **Tipos de nylamid:**

- Color natural o blanco. Es el más usado en la industria, puede trabajar en contacto directo con alimentos.
- Color verde. Autolubricado con aceite, permite el suave deslizamiento de los con los que esté en contacto, sus propiedades, resistencia térmica de 93°C.
- Color azul. Su estabilidad térmica permite que su rigidez se conserve por mayor tiempo a temperaturas de 127°C, favoreciendo la operación de piezas sometidas a condiciones más severas de calor.
- Color negro. Las partículas de molibdeno (MoS<sub>2</sub>) dispersas homogéneamente en su estructura, mejoran su resistencia natural al desgaste, conservando sus propiedades, reduciendo o eliminando el consumo de lubricantes. Brinda colusiones en lugares donde se restringe o dificulta el uso de aceites o grasas, también ofrece una resistencia térmica de 93°C y una amplia disponibilidad de medidas. (*Descripciones y aplicaciones del nylamid, s.f.*)



**Foto 1. Espejo de nylamid**

#### ANEXO E. Información acerca de la solución de piedra dura

Es un poderoso desincrustante que remueve fácilmente depósitos minerales y otras impurezas profundamente incrustadas en cristales y superficies de acero inoxidable por salpicaduras de agua.

También funciona como desincrustante de sales minerales en vidrio.

Elimina fácilmente las asperezas y opacidad en los cristales.

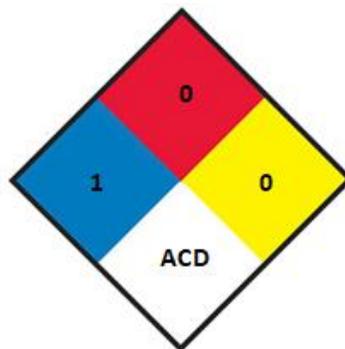
La acción desincrustante de **piedra dura** es completamente libre de ácidos nítrico, fosfórico y clorhídrico.

#### **Lugares y usos recomendados para la Sol. De piedra dura:**

Aplique para desincrustar edificios, albercas, superficies de acero inoxidable (cocinas, maquinaria y equipo), tuberías de cobre o plástico externas, automóviles, mamparas, vidrios, etc.

#### **Componentes de la piedra dura:**

Surfactantes aniónicos y no iónicos, ácidos, secuestrantes y humectantes.



**Diamante de seguridad de solución de piedra dura**

ANEXO F. Aceite para lubricar espárragos y tuercas del ICV

WD-40 es una marca comercial de aceite. Es un aceite que protege piezas, maquinaria o herramientas metálicas, contra el ácido y la corrosión. De este modo, se puede aflojar cualquier mecanismo de rotación en las piezas oxidadas, para que puedan ser ajustadas fácilmente. Además de proteger contra la corrosión ayuda a limpiar y a mantener brillantes las piezas metálicas sin dañarlas y eliminando suciedad.

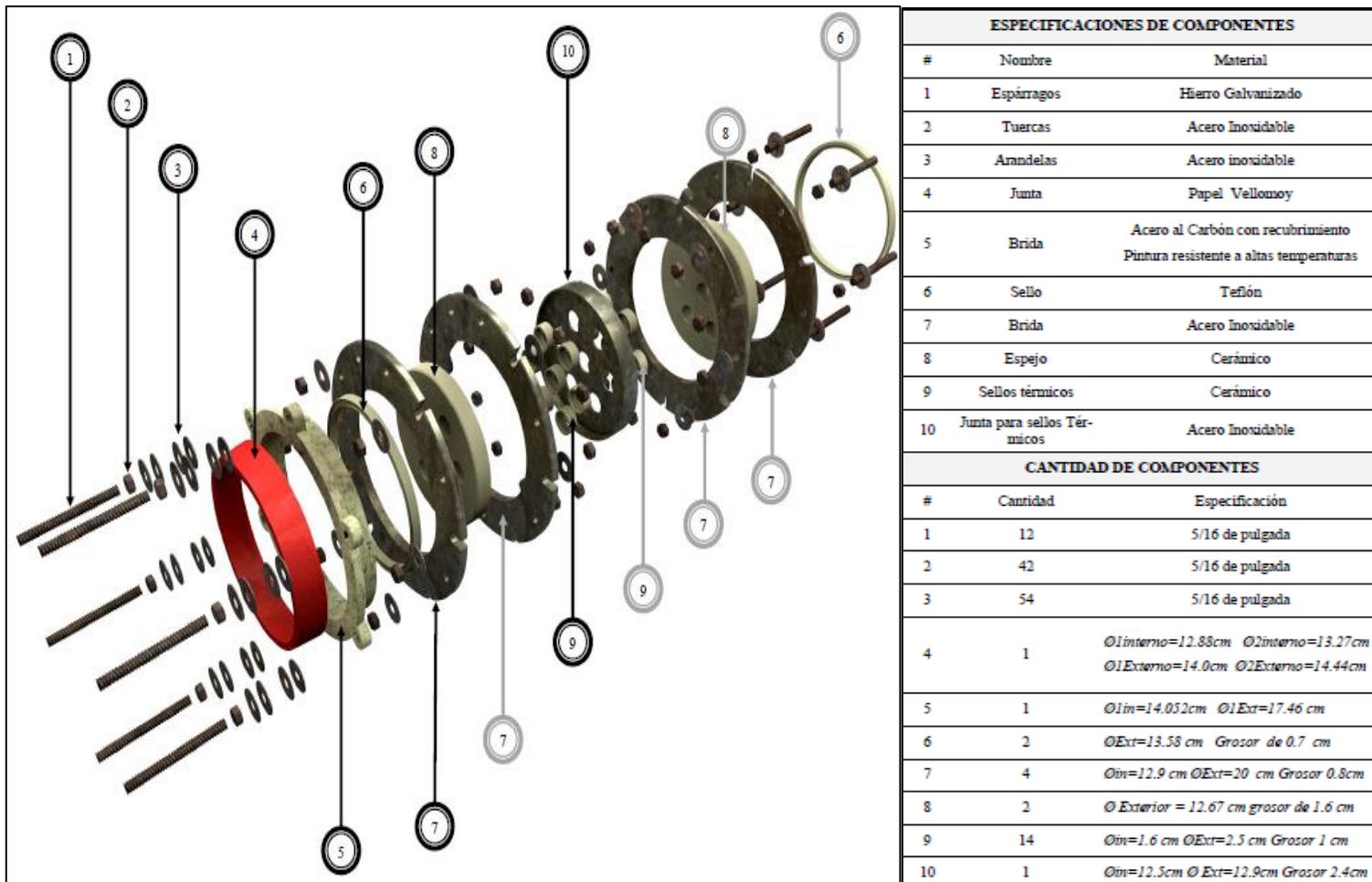
Composición del aceite:

- 50% Stoddard solvente
- 25% gas de petróleo líquido
- 15+% aceite mineral
- 5-% ingredientes inertes (WD-40, Recuperado de <https://www.wd40.com>)



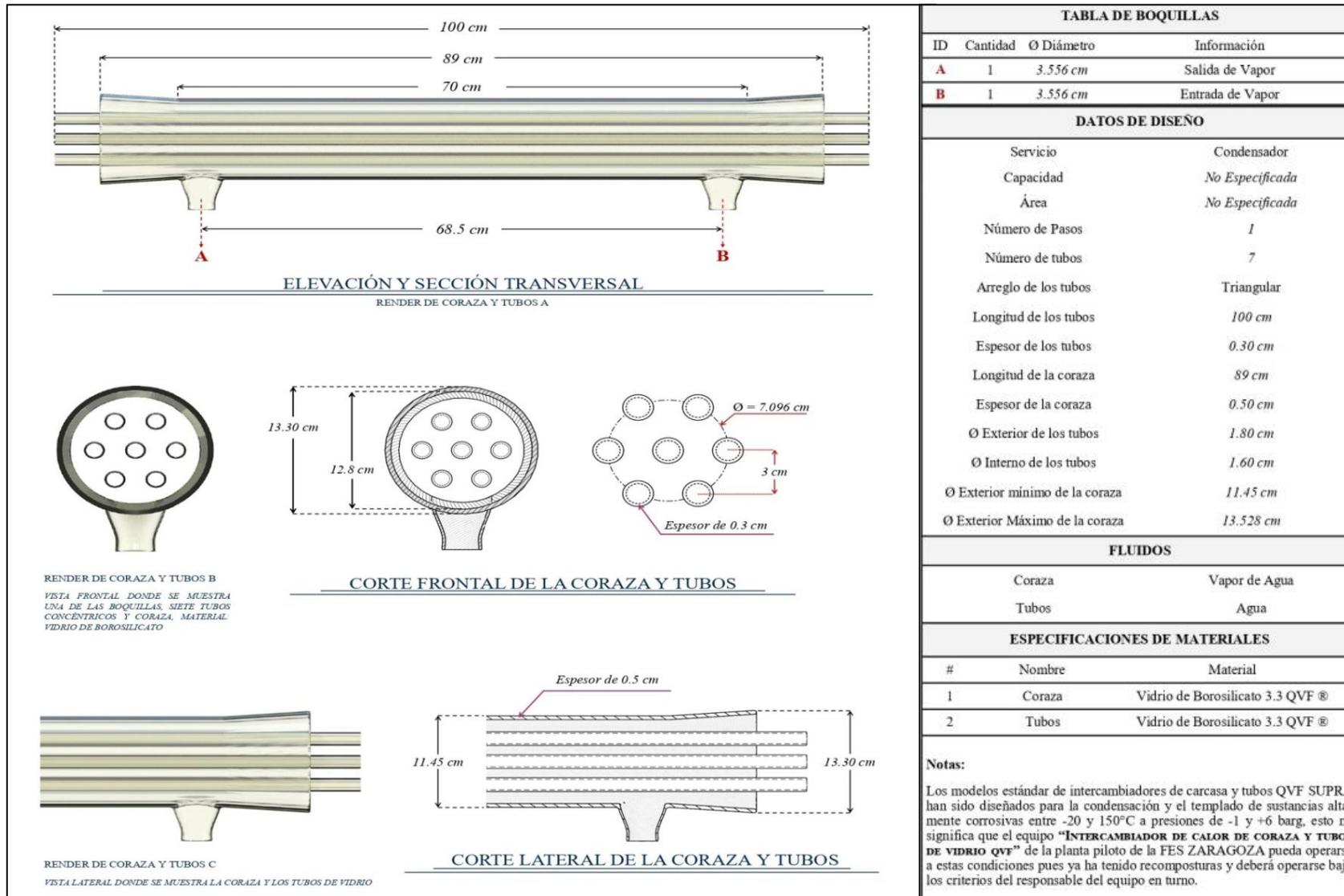
Foto 2. Aceite WD-40

ANEXO G. Componentes de los cabezales del ICV



ESPECIFICACIONES DE COMPONENTES		
#	Nombre	Material
1	Espárragos	Hierro Galvanizado
2	Tuercas	Acero Inoxidable
3	Arandelas	Acero inoxidable
4	Junta	Papel Vellomoy
5	Brida	Acero al Carbón con recubrimiento Pintura resistente a altas temperaturas
6	Sello	Teflón
7	Brida	Acero inoxidable
8	Espejo	Cerámico
9	Sellos térmicos	Cerámico
10	Junta para sellos Térmicos	Acero inoxidable
CANTIDAD DE COMPONENTES		
#	Cantidad	Especificación
1	12	5/16 de pulgada
2	42	5/16 de pulgada
3	54	5/16 de pulgada
4	1	$\text{O}1_{\text{interno}}=12.88\text{cm}$ $\text{O}2_{\text{interno}}=13.27\text{cm}$ $\text{O}1_{\text{Externo}}=14.0\text{cm}$ $\text{O}2_{\text{Externo}}=14.44\text{cm}$
5	1	$\text{O}1_{\text{in}}=14.052\text{cm}$ $\text{O}1_{\text{Ext}}=17.46\text{cm}$
6	2	$\text{O}Ext=13.58\text{cm}$ Grosor de 0.7 cm
7	4	$\text{O}in=12.9\text{cm}$ $\text{O}Ext=20\text{cm}$ Grosor 0.8cm
8	2	$\text{O}Exterior = 12.67\text{cm}$ grosor de 1.6 cm
9	14	$\text{O}in=1.6\text{cm}$ $\text{O}Ext=2.5\text{cm}$ Grosor 1 cm
10	1	$\text{O}in=12.5\text{cm}$ $\text{O}Ext=12.9\text{cm}$ Grosor 2.4cm

ANEXO H. Plano con partes y medidas del quipo



## **CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES

La elaboración de este tipo de manual, ayuda a diversos usuarios en la operación de equipos; a su vez para fomentar el cuidado y limpieza de los mismos, lo cual representa un mayor desarrollo y participación para el Ingeniero Químico, ampliando la gama de actividades y oportunidades que desempeña en la industria, como el dimensionamiento, cálculo y/o montaje de equipos, de igual manera permite la planeación, corrección o elaboración de mejoras que ayuden al trabajo del equipo.

Tomando en consideración los objetivos planteados al inicio del presente trabajo, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- El desarrollo del manual de mantenimiento y operación para el intercambiador de calor de tubos y coraza de vidrio, se logró presentar con un contenido de tres capítulos, integrando información referente a la operación, limpieza y mantenimiento del equipo. Por lo que este manual, puede ser implementado como ayuda dentro de los protocolos usados para el desarrollo de la carrera de Ingeniería Química.
- Pese a que no existe suficiente información acerca del desarrollo de este modelo de manual, esta investigación permitió establecer los conceptos básicos relacionados a los manuales de operación y mantenimiento, de este modo se desarrolló dicho manual para el ICV. Esto significa que la elaboración de manuales representa un área de oportunidad para los estudiantes de Ingeniería Química, ya que podrían identificar por sí mismos, si la limpieza, operatividad y mantenimiento del equipo son las adecuadas; además el desarrollo del manual obligaría al ingeniero a aprender a desarrollar y analizar planos o esquemas de operación de equipo.
- Con este trabajo de tesis, se identifica que el manual de mantenimiento y operación puede ser importante para el desarrollo profesional del Ingeniero Químico, ya que puede aplicar sus conocimientos para el manejo correcto de

- equipos o para el desarrollo de prácticas de planta (análisis de proceso). Por otro lado, su implementación puede favorecer la identificación de partes que conforman a un equipo y todo lo que implica su operación, teniendo en cuenta que los usuarios aprenderán a identificar todas las válvulas e instrumentos necesarios para la operación adecuada de algún tipo de equipo, no solamente el intercambiador de calor de vidrio.
- Se identifica que el manual le puede servir al Ingeniero Químico, para que se involucre y aprenda acerca de las medidas correctivas y preventivas que puede aplicar para mejorar la operatividad del equipo. De este modo se fomenta la toma de decisiones a la hora de aplicar algún ajuste, o para decidir si un equipo aún es apto para dicho proceso o análisis.
  - Una de las actividades que puede cubrir el profesionalista de Ingeniería Química es el manejo y control de plantas de proceso, lo que significa que el ingeniero es responsable de cumplir con dos tareas: la operación y mantenimiento de equipo. En el primer capítulo de la tesis, se mencionaron los tipos de manuales que existen para una empresa, sin embargo, el manual de mantenimiento y operación no aparece dentro de dicha clasificación. Esto significa que el ingeniero podría aprender sobre la elaboración de manuales de mantenimiento y operación, así mismo ser capaz de desarrollar ciertas habilidades como: **controlar, supervisar y coordinar** una adecuada operación de equipos, además de facilitar el análisis para la implementación de programas de mantenimiento y medidas para la mejora de equipos.
  - Finalmente se identifica que el manual de mantenimiento y operación del ICV presentado, no sólo muestra información acerca del equipo, sino que puede servir como referente para la realización de otros manuales de equipo de planta, o para investigaciones acerca del mantenimiento industrial dirigido a Ingenieros Químicos, o bien para elaborar un trabajo en el que se explique cómo se debe realizar un manual de mantenimiento y operación.

## REFERENCIAS

- Karlekar, B.V., & Desmond, R.M. (1985). *Transferencia de Calor*, (2ª ed.). México D.F: Nueva Editorial Interamericana.
- Çengel, Y.A. (2007). *Transferencia de calor y masa: fundamentos y aplicaciones* (3ª ed.). México D.F: McGraw-Hill/Interamericana de México
- Incropera, F.P., & De Witt, D.P. (1999). *Fundamentos de Transferencia de calor*, (4ª ed.). México D.F: PRENTICE HALL.
- Kreith, F., Manglik R.M., & Bohn M.S. (2010). *Principios de Transferencia de Calor*. Recuperado de:  
<https://books.google.com.mx/books?id=xr4uAzjOquoC&printsec=frontcover&dq=transferencia+de+calor>
- Álvarez T.M.G., (1996). *Manual para elaborar manuales de políticas y procedimientos*. México D.F.
- James R.W., Charles E.W., & Robert E.W., (2011). *Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa*, (2ª ed.). México D.F: Limusa
- Marín, H.J.M & Guillén L.S. (2013). *Diseño y cálculo de intercambiadores de calor monofásicos*. Recuperado de: <https://books.google.com.mx/books>
- Domínguez, H. A. (2013). *Diseño de un calentador solar de aire para aplicaciones de secado* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Cd. De México, México.
- Sánchez, M. F. T., Pérez G. A, Sancho B. J. L. & Rodríguez C. P. J., (2007). *Mantenimiento mecánico de máquinas*, 2da. Ed., Universidad Jaume I. Servicio de comunicación y publicaciones.
- Flores, G. R. (2007). *Fabricación y validación experimental de un intercambiador de tubos y coraza* (Tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, ESIME, Cd. De México, México.

- Mendoza, M. K. Desarrollo de un software para el diseño térmico de un intercambiador de calor (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Cd. De México, México.
- Martínez, H. D. F. (2017). Diseño de software para intercambiadores de calor de coraza y tubos con cinco sustancias diferentes (Tesis de pregrado). Universidad de los libertadores, Bogota, Colombia.
- Manual de operación, mantenimiento y repuestos de 125 a 350 HP. Número de catálogo 750-97. Cleaver Brooks. Export Department P.O. BOX 421, MILWAUKEE, WIS. 53201.

**Referencias de internet:**

- Polo D. (2014). *Emprender fácil*. Madrid, España. Tipos de Mantenimiento para los equipos de tu empresa. Recuperado de: <https://www.emprender-facil.com/es/tipos-de-mantenimiento-pyme/>  
Fecha: 3 de abril de 2019
- Capítulo 1. Mantenimiento-Definiciones y objetivos. Recuperado de: <http://www.epetrg.edu.ar/apuntes/plaza/CAPITULO%201%20-%20Mant-Definiciones%20Objetivos.pdf>  
Fecha: 18 de abril de 2019
- Soluciones Industriales y medioambientales (2017). Ditecsa. Sevilla, España. *Mantenimiento Industrial. ¿Conoces el origen del mantenimiento preventivo?* Recuperado de: <http://www.grupoditecsa.com/en/mantenimiento-industrial-conoces-el-origen-del-mantenimiento-preventivo/>  
Fecha: 22 de abril de 2019
- Garrido, S. (s.f). *La contratación del mantenimiento industrial*. Recuperado de: <https://books.google.com.mx/books?id=uHwbkryXvWAC&printsec=frontcover&dq=mantenimiento+industrial>  
Fecha: 24 de abril de 2019

- Unidad Núm. 4. Intercambiadores de calor. Recuperado de:  
<https://operacionesunitarias1.files.wordpress.com/2011/07/unidad-iv-intercambiadores-de-calor.pdf>  
Fecha: 23 de mayo de 2019
- Tecnología de procesos NORMAG (2012). Recuperado de:  
[http://www.normag-glas.de/es/katalog\\_neu/prozess/ES\\_6\\_WAERMEUEBERTRAGER.PF.pdf](http://www.normag-glas.de/es/katalog_neu/prozess/ES_6_WAERMEUEBERTRAGER.PF.pdf)  
Fecha: 10 de junio de 2019
- Manual de mantenimiento y funcionamiento. Recuperado de:  
<http://www.jnegre.es/Descargas/Vahterus/Manual%20mantenimiento%20Vahterus%20ES.pdf>  
Fecha: 14 de junio de 2019
- Intercambiadores de calor de Carcasa y Tubos, Parte I: Configuración TEMA, tubos, placa tubular y tapas palana (s.f). Recuperado de:  
<http://santiagogarciagarrido.com/component/content/article/7-libros/75-ingenieria->  
Fecha: 22 de junio de 2019
- Garrido, S. (2017). El mantenimiento sistemático, ni eficaz ni eficiente. Revista Digital sobre mantenimiento IRIM, 1, 31. Recuperado de:  
[http://renovetec.com/irim/revista/REVISTA\\_IRIM\\_NUMERO6\\_v1.pdf](http://renovetec.com/irim/revista/REVISTA_IRIM_NUMERO6_v1.pdf)  
Fecha: 24 de junio de 2019
- Abad, M. (2017). Teamleader. ¿ERP O CRM? Recuperado de:  
<https://blog.teamleader.es/erp-crm-significado-y-diferencias>  
Fecha: 28 de junio de 2019
- Manual de operación y mantenimiento (2015). Recuperado de:  
<http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20141105-35201-43810>  
Fecha: 15 de julio de 2019

- Carroza, I. (Septiembre 2017). XING. Seguridad e higiene en el mantenimiento. Plan de mantenimiento. Recuperado de: <https://www.xing.com/communities/posts/seguridad-e-higiene-en-el-mantenimiento-plan-de-mantenimiento-1004888099>  
Fecha: 15 de julio de 2019
- Villarroel, H. (Febrero 2014). Limpieza de intercambiadores de calor tubo y carcasa (Diapositivas con SlideShare). Recuperado de: <https://es.slideshare.net/henry44/limpieza-de-intercambiadores-de-calor>  
Fecha: 10 de septiembre de 2019
- Levinson (2019). Descripciones y aplicaciones del Nylamid. Recuperado de: <https://www.aceroslevinson.com/plasticos/nylamid/>  
Fecha: 8 de octubre de 2019

**Esquema de operación del ICV y Tablas:**

Elaborados por: Tovar Salas Esmeralda Monserrat

**Referencia de planos e imágenes en 3D:**

Planos de Anexos G y H, e imágenes en 3D de partes del ICV, elaborados por: Valentino Salado Erick Giovanni

**Referencia de procedimiento de operación y esquema de operación del intercambiador de calor de vidrio:**

Proyecto PAPIME PE-105818, Elaboración de manuales de mantenimiento y operación de equipos en planta piloto de la carrera de Ingeniería Química.

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los manuales.....	4
Tabla 2. Tipos de mantenimiento .....	7
Tabla 3. Equipos de intercambio de calor (por el servicio a emplear) .....	27
Tabla 4. Clasificación del Intercambiador de Calor .....	28
Tabla 5. Contenido de un manual de mantenimiento y operación (opción 1).....	38
Tabla 6. Contenido de un manual de mantenimiento y operación (opción 2).....	39
Tabla 7. Contenido de un manual de mantenimiento y operación (opción 3).....	39
Tabla 8. Contenido de un manual de mantenimiento y operación (opción 4).....	40
Tabla 9. Contenido de un manual de mantenimiento y operación (opción para el manual del ICV) .....	42
Tabla 10. Avisos y advertencias de seguridad en un manual de mantenimiento y operación .....	44
Tabla 11. Herramientas para ajustes .....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Eolípila.....	10
Figura 2. Asociación de la transferencia de calor por conducción con la difusión debido a la actividad molecular.....	19
Figura 3. Conducción de calor a través de una pared plana.....	20
Figura 4. Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire por convección .....	22
Figura 5. La radiación del cuerpo negro representa la cantidad máxima de radiación que puede ser emitida desde una superficie a una temperatura específica .....	24
Figura 6. Intercambiador de calor de tubos y coraza .....	29
Figura 7. Arreglo Triangular 30° .....	30

---

## **ANEXOS**

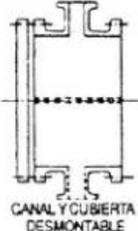
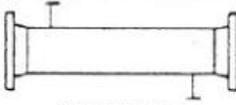
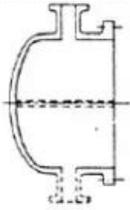
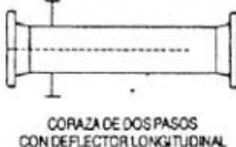
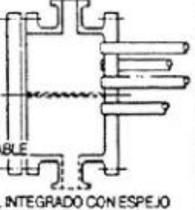
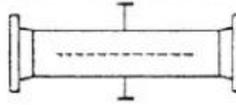
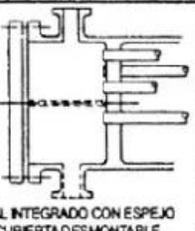
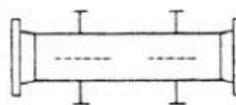
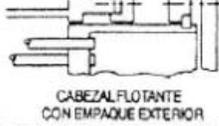
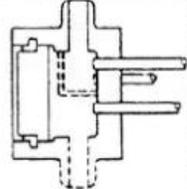
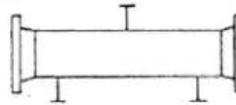
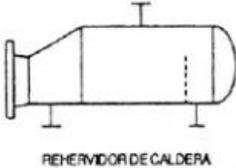
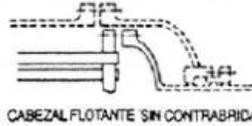
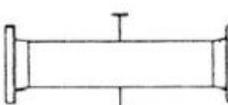
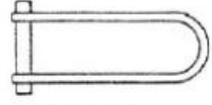
### **Anexo I**

Tipos de cabezales y corazas para Intercambiadores de Calor de  
Tubos y Coraza de acuerdo a “TEMA”

### **Anexo II**

Formato de capacitación para los usuarios que operan el ICV

**Anexo I.** Tipos de cabezales y corazas para Intercambiadores de Calor de Tubos y coraza de acuerdo a “TEMA”

	TIPOS DE CABEZAL ESTACIONARIO, EXTREMO FRONTAL		TIPOS DE CORAZAS		TIPOS DE CABEZALES, EXTREMO POSTERIOR
<b>A</b>	 CANAL Y CUBIERTA DESMONTABLE	<b>E</b>	 CORAZA DE UN PASO	<b>L</b>	 DE ESPEJO FLUJO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "A"
<b>B</b>	 CASQUETE (CUBIERTA INTEGRADA)	<b>F</b>	 CORAZA DE DOS PASOS CON DEFLECTOR LONGITUDINAL	<b>M</b>	 DE ESPEJO FLUJO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "B"
<b>C</b>	 SOLÓ HAZ DE TUBOS DESMONTABLE CANAL INTEGRADO CON ESPEJO Y CUBIERTA DESMONTABLE	<b>G</b>	 DE FLUJO PARTIDO	<b>N</b>	 DE ESPEJO FLUJO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "N"
<b>N</b>	 CANAL INTEGRADO CON ESPEJO Y CUBIERTA DESMONTABLE	<b>H</b>	 DE FLUJO PARTIDO DOBLE	<b>P</b>	 CABEZAL FLOTANTE CON EMPAQUE EXTERIOR
<b>D</b>	 CIERRE ESPECIAL A ALTA PRESIÓN	<b>J</b>	 DE FLUJO DIVIDIDO	<b>S</b>	 CABEZAL FLOTANTE CON DISPOSITIVO DE APOYO
		<b>K</b>	 REHERVIDOR DE CALDERA	<b>T</b>	 CABEZAL FLOTANTE SIN CONTRABRIDA
		<b>X</b>	 FLUJO CRUZADO	<b>U</b>	 HAZ DE TUBO EN U
				<b>W</b>	 ESPEJO FLOTANTE SELLADO EXTERNAMENTE

Fuente: Intercambiadores de calor. Recuperado de:  
<https://operacionesunitarias1.files.wordpress.com/2011/07/unidad-iv-intercambiadores-de-calor.pdf>

Fecha: 23 de mayo de 2019

**Anexo II. Formato de capacitación para usuarios que operan el ICV**

 <b>Tema: Identificación de problemas operativos para el ICV y Cuidados de limpieza para vidrio de borosilicato</b> 			
Nombre del capacitador:			
Período de la capacitación:			
Objetivos de la capacitación:			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lograr que el usuario identifique los problemas operativos en un intercambiador de calor de vidrio</li> <li>2. Que los usuarios aprendan sobre el cuidado de material de vidrio de borosilicato para una adecuada limpieza.</li> </ol>			
TEMA	OBJETIVO	CONTENIDO	HERRAMIENTAS
Tipos de factores operativos que afectan el funcionamiento en un intercambiador de calor vidrio	Identificar de los errores o problemas más comunes en el equipo para mejorar su operación.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Factores mecánicos</li> <li>2. Factores por corrosión</li> <li>3. Factores por incrustaciones de sólidos</li> </ol>	Guía de trabajo Cañón Laptop Pantalla
Técnicas de mantenimiento preventivo para evitar errores en el equipo	Aprender a establecer técnicas de prevención en el equipo para prolongar su vida útil y evitar poner en paro fuera de servicio el equipo.	-Definición de mantenimiento preventivo -Técnicas de mantenimiento preventivo	Guía de trabajo Cañón Laptop Pantalla
Características y ventajas del uso de vidrio de borosilicato	Conocer los usos y aplicaciones del material de vidrio de borosilicato	-Tipos de vidrio empleados para la industria -Características del vidrio de borosilicato -Ventajas del uso del vidrio de borosilicato	Guía de trabajo Cañón Laptop Pantalla
Identificación de sustancias corrosivas para el vidrio de borosilicato	Identificar las sustancias que no se deben usar en el vidrio de borosilicato, para evitar problemas de corrosión en el equipo a operar.	-Identificación de sustancias que causan corrosión en el borosilicato, y análisis de sus propiedades.	Guía de trabajo Cañón Laptop Pantalla
Métodos y recomendaciones de limpieza vidrio de borosilicato	Conocer los métodos y sustancias adecuadas para realizar la limpieza del vidrio de borosilicato	-Limpieza mecánica -Limpieza química	Guía de trabajo Cañón Laptop Pantalla

NOTA: Las actividades y programas de capacitación se deben realizar cada 2 años como mínimo.

Fuente: Elaboración propia