

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



**TESIS:**

**“Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

AUTORES:

DANNY JAVIER CHÁVEZ SUAREZ  
AMADEO ACOSTA CULQUI  
DAVID HERBERT PANDURO VELA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

Iquitos – Perú  
2016

**MIEMBROS DEL JURADO**

  
.....  
**Ing. ANDRÉS ELISEO GUITIERREZ GUIMARAES.**

**Reg. CIP N°20867**

**Presidente**

  
.....  
**Ing. JORGE ARMANDO VÁSQUEZ PINEDO, Mgr.**


**Reg. CIP N°32634**

**Miembro**

  
.....  
**Ing. GABRIEL EMILIO VARGAS ARANA, Dr.**

**Reg. CIP N°147224**

**Miembro**

  
.....  
**Ing. JORGE ENRIQUE CORNEJO ORBE.**

**Reg. CIP N°93663**

**Asesor**

## **DEDICATORIAS**

A Dios que nos ha dado la vida, la fuerza y la gracia para estar aquí. A nuestros queridos padres por dejar en nosotros la sabiduría y el conocimiento para poder triunfar en la vida; a nuestras queridas madres que luchan día a día para nosotros seamos grandes profesionales y hombres de bien; a nuestros hermanos por el apoyo y el cariño incondicional; y a nuestros demás amigos y familiares.

**Los Autores.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana por brindarnos la oportunidad de forjarnos como profesional para así poder superarnos en la vida, y poner en práctica los conocimientos adquiridos dentro de él.

A Dios por darnos la salud y la fuerza para seguir adelante en este camino de lucha.

A nuestros padres, hermanos y amigos que siempre están pendientes de nosotros, con su apoyo incondicional en los momentos difíciles.

**Los Autores.**

# ÍNDICE

	Pág.
<b>PÁGINA DE JURADO Y ASESOR.....</b>	<b>i</b>
<b>DEDICATORIAS.....</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>iii</b>
<b>PÁGINA DE CONTENIDO.....</b>	<b>iv</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>viii</b>
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>ix</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>xi</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>xii</b>
<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ESTRUCTURA</b>	
<b>Capítulo I: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>01</b>
1.1 Introducción.....	01
1.2 Definición.....	01
1.3 Teoría de la destilación con relación a la purificación de las aguas.....	02
1.3.1 Generalidades.....	02
1.3.2 Agua destilada.....	03
1.3.3 Limitaciones del método purificación por destilación.....	04
1.3.4 Importancia del agua pura.....	05
1.3.5 Tipos de columnas de destilación de agua.....	05

1.4 Transferencia de calor en la destilación.....	07
1.4.1 Conducción de calor.....	07
1.4.2 Convección.....	09
1.4.3 Radiación.....	10
1.5 Transferencia de calor en líquidos en ebullición.....	11
1.5.1 Ebullición en recintos cerrados.....	12
1.5.2 Correlaciones de ebullición de los fluidos puros en recintos cerrados....	14
1.6 Transferencia de calor con cambio de fase.....	23
1.6.1 Ebullición.....	23
1.6.2 Condensación.....	24
1.6.3 Parámetros adimensionales en ebullición y condensación.....	25
1.7 Variables y aplicaciones más importantes del proceso.....	26
1.7.1 Variables más importantes del proceso.....	26
1.7.2 Aplicaciones más importantes del proceso.....	27
1.8 Descripción de los equipos principales y herramientas utilizadas en el proceso.....	31
1.8.1 Descripción general del condensador multitubular.....	31
1.8.2 Composición del condensador.....	33
1.9 Posibilidades de uso del equipo en la industria.....	35

## **Capítulo II: CONDICIONES Y CALCULOS DE DISEÑO.....37**

2.1 Condiciones iniciales a considerar en el diseño.....	37
2.1.1 Definición del tamaño del equipo.....	37
2.1.2 Condiciones preliminares de operación.....	37
2.2 Base de cálculo y capacidad.....	37
2.3 Definición de las partes fundamentales.....	38

2.3.1	Diseño del hervidor.....	38
2.4	Diseño de condensador de casco y haz de tubos .....	41
2.4.1	Diseño térmico del condensador multitubular.....	41
<b>Capítulo III: SELECCIÓN DEL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO.....</b>		<b>47</b>
3.	Selección de materiales.....	47
<b>Capítulo IV: CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL EQUIPO.....</b>		<b>52</b>
4.1	Materiales empleados.....	52
4.2	Descripción y especificaciones de los componentes del equipo.....	52
4.2.1	Hervidor-Evaporador.....	53
4.2.2	Condensadores.....	53
4.3	Ensamblaje y despiece.....	55
4.4	Disposición adecuada del equipo en el laboratorio.....	59
<b>Capítulo V: EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE CONTROL DEL EQUIPO.....</b>		<b>60</b>
5.1	Descripción del funcionamiento del equipo.....	60
5.2	Ensayos y pruebas de funcionamiento del equipo.....	60
5.3	Cálculo y análisis de los resultados obtenidos.....	60
5.4	Determinación de las condiciones óptimas de funcionamiento del equipo.....	61

5.5 Manual de instrucciones para el funcionamiento del equipo.....	62
5.6 Aspectos de higiene y seguridad industrial.....	63
5.7 Posibilidades de automatizar.....	64
<b>Capítulo VI: ANÁLISIS DE COSTOS.....</b>	<b>65</b>
<b>Capítulo VII: RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>70</b>
<b>Capítulo VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>85</b>
<b>Capítulos IX: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO I: CLASIFICACIÓN DE ACEROS INOXIDABLES.....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO II: AISLANTE TÉRMICO Y SUS CARACTERÍSTICA.....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXO III: DESTILADOR DE AGUA COMERCIAL 2004.....</b>	<b>99</b>



## **RESUMEN**

En el presente trabajo se diseñó y construyó un equipo de destilación batch con condensador multitubular para la obtención de agua destilada.

El sistema consta de un hervidor, un cuello de cisne y un condensador multitubular.

Para la prueba de operatividad del equipo se hizo fluir agua de la red pública, con características y análisis preestablecidos, que previamente fue depositada en el hervidor.

Se midió la temperatura del agua a la entrada y de salida del destilador, así como también se analizó el producto obtenido cuyos resultados se compararon con los parámetros establecidos de una muestra patrón de agua destilada para verificar la idoneidad del producto obtenido (agua destilada).

Además el presente trabajo cuenta con un plano donde se muestra el despiece y ensamblaje del equipo donde se puede observar todos los componentes del sistema. También se muestra el sistema eléctrico (resistencia) utilizado como fuente de calentamiento y el área de trabajo del equipo. Así mismo, se elaboró el manual de instrucciones para el funcionamiento del equipo.

## **I. ANTECEDENTES**

Como antecedentes, el problema nos conduce hacer un diagnóstico de la Facultad de Ingeniería Química, que luego de varios años de creada, aún no cuenta con laboratorios bien implementados.

Actualmente se cuenta con una infraestructura necesaria para el proyecto de implementación, que a nivel Nacional se lleva a cabo en todas las facultades de Ingeniería Química.

Actualmente disponemos de algunos equipos malogrados y oxidados, ubicados en áreas dispersas que no están adecuadas a los avances tecnológicos, por lo que se plantea que se unifique en un área determinada.

Agrupando operaciones fines y construyendo nuevos equipos para que la formación del estudiante sea formalmente posible y adicionalmente brindar servicios a las empresas que los requieran.

Este conjunto de nuevos equipos va a requerir la formulación de un conjunto de prácticas que dará lugar a que los estudiantes tengan una visión completa de las operaciones y procesos unitarios.

De acuerdo a la revisión bibliográfica efectuada, existen varios trabajos de tesis de Diseño y Construcción de equipos específicamente para trabajos similares al que se pretende realizar, los cuales se refieren a continuación.

RODRIGUEZ, RIVERA y VILLACORTA realizaron un trabajo de “Diseño y CONSTRUCCION E INSTALACION DE UN EVAPORADOR DE DOBLE EFECTO”

FERNANDEZ, MELENDEZ y SALINAS. Realizaron un trabajo de “Diseño, construcción e instalación de un equipo para la medición de la capacidad calórica de alimentos líquidos.

SALAS, realizó un trabajo de Diseño y Construcción de un equipo con modelo matemático para calcular la capacidad calorífica de alimentos líquidos

PAIMA y RAMOS realizaron un trabajo de Diseño, Construcción e instalación de un equipo para medir la conductividad térmica de alimentos sólidos y pastosos.

RUIZ y LOPEZ realizaron un trabajo de Diseño construcción e instalación de un equipo portátil de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor.

GUERRA, MONTALVAN y REATEGUI. Realizaron un trabajo de Diseño, Construcción e instalación de una caldera para la generación de vapor de agua, empleando energía eléctrica.

## INTRODUCCIÓN

Dada la importancia de las operaciones unitarias en el desarrollo de los procesos productivos, y en particular de la destilación; operación de separación que se aplica, por ejemplo, en el fraccionamiento del petróleo para producir sus derivados, en la separación del alcohol del agua de los procesos de fermentación, del benceno, tolueno, etc.

las variables que gobiernan esta operación, han sido estudiadas con profundidad, tema que no se pondrá en discusión; el trabajo de investigación se ha orientado al diseño y construcción de un equipo modular donde se realiza la destilación del agua ( $H_2O$  de caño), para obtener agua destilada, por destilación diferencial y la evaluación posterior de su eficiencia de dicho equipo.

el equipo construido se utilizará en la implementación del laboratorio de operaciones unitarias, para realizar trabajos académicos (enseñanza) y de investigación; así mismo, será base para la construcción de equipos similares que se ofertará a otras universidades.

en el presente trabajo de tesis se plantea, el diseño y construcción y la instalación de un equipo, para obtener "agua destilada". para esto se aplicará los mecanismos básicos de transferencia de calor.

para diseñar el equipo, básicamente se tiene en cuenta el proceso que se llevará a cabo en el mismo. Este proceso consiste en calentar agua de caño (red pública o pozo) desde una temperatura inicial (entre  $25^{\circ}C$  a  $30^{\circ}C$ ), hasta la temperatura final ( $100^{\circ}C$ ) de ebullición.

## **II. OBJETIVOS:**

### **GENERAL:**

- Diseñar, construir e instalar un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.

### **ESPECÍFICOS:**

- Determinar los parámetros de diseño del equipo.
- Seleccionar el material del equipo.
- Construir e instalar el equipo de destilación.
- Determinar los parámetros de operación del equipo.
- Elaborar el manual de instrucciones para el funcionamiento de equipo.

### **III. JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad la facultad de Ingeniería Química (FIQ) de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana (UNAP) no cuenta o están en desuso los equipos que sirvan para obtener agua destilada, esto impide a los estudiantes y docentes de la FIQ-UNAP realizar investigación tecnológica, donde se haga aplicación directa de los cursos de termodinámica, Mecánica de fluidos y Transferencia de Calor.

Tratando de dar solución a la problemática se plantea el trabajo de Tesis Titulado: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”; construir equipos siempre será una buena iniciativa porque la facultad de Ingeniería Química (F.I.Q.), necesita implementar su laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias ya que los presupuestos asignados son insuficientes para financiar nuevos equipos.

Por este motivo creemos que se justifica este proyecto como tesis.

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

## **CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.**

### **1.0 DESTILACIÓN.**

#### **1.1 INTRODUCCIÓN.**

La destilación es el método de separación de sustancias químicas puras, más antiguo e importante que se conoce. La época más activa de esta área de investigación fue en torno a los años 70. No obstante, hoy en día es un área de investigación relevante, con una gran acogida tanto en el ámbito industrial como en el universitario.

La destilación es la separación de una mezcla líquida por vaporización parcial de la misma; la fracción vaporizada se condensa y se recupera como líquido. La forma de destilación más antigua es la que se realiza para obtener bebidas alcohólicas. Así, al calentar una mezcla que contiene agua y alcohol, los componentes más livianos, en este caso el alcohol, se concentran en el destilado. Las columnas de destilación, elementos utilizados para llevar a cabo este proceso, son el resultado de la evolución tecnológica en la que se hace exactamente lo mismo sólo que de una manera más eficaz: a través de una serie de etapas hay evaporaciones y condensaciones escalonadas, acopladas entre sí.

#### **1.2 DEFINICIÓN.**

La destilación se define como un proceso en el cual una mezcla de vapor o líquida de dos o más sustancias es separado en sus componentes de pureza deseada, por la aplicación o remoción de calor.

La destilación es el método universal de purificación para líquidos así como de separación de sustancias, este procedimiento involucra la conversión de un líquido al estado de vapor por medio de aplicación de calor y después la condensación de los vapores a un líquido que se recoge en un recipiente, la temperatura a la cual

***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

destila un líquido es una constante a presión dada conocida como punto de ebullición y sirve como criterio de pureza.

La destilación está basada en el hecho de que el vapor de una mezcla hirviendo es más rico en componentes de bajo punto de ebullición. En consecuencia, cuando el vapor es enfriado y condensado, el condensado contendrá los componentes más volátiles. Al mismo tiempo, la mezcla original contendrá en más cantidad los componentes menos volátiles.

Las columnas de destilación son diseñadas para alcanzar esta separación de manera eficiente. Aunque mucha gente tiene una idea aceptable de lo que significa “destilación”, hay aspectos importantes que merecen ser destacados:

- La destilación es la técnica de separación más común.
- Consume cantidades enormes de energía en requerimientos de calor y enfriamiento.
- Constituyen más del 50% de los costos de operación de planta.

La mejor manera de reducir los costos de operación de las existentes unidades, es mejorar la eficiencia y operación mediante procesos de optimización y control. Para alcanzar esta mejora, es esencial un conocimiento profundo de los principios de destilación y cómo están diseñados los sistemas de destilación.

## **1.3 TEORIA DE LA DESTILACIÓN CON RELACIÓN A LA PURIFICACIÓN DE LAS AGUAS.**

### **1.3.1 GENERALIDADES.**

La destilación es el método clásico de purificación del agua; es el método más viejo de purificación empleado en los laboratorios. Como sugiere el nombre, en el proceso se calienta y vaporiza agua pasando a vapor y se condensa el vapor para



***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

producir agua de una calidad superior a la que se emplea para la destilación. Las impurezas no volátiles en el agua se quedan en el destilador durante el proceso. Con objeto de evitar la corrosión metálica y contaminación del agua que se destila, los destiladores se hacen de acero inoxidable o cobre plateado con estaño. En los últimos años, se dispone de destiladores completamente de vidrio. El agua destilada en vidrio está también libre de trazas de metales, las cuales se arrastran algunas veces al destilar con destiladores metálicos.

La destilación del agua es el proceso de agua hirviendo en un compartimiento que resulta en la creación de vapor. A medida que se levanta el vapor, este pasa a través de serpentinas refrescantes y se acumula como agua pura. Todos los contaminantes son abandonados detrás en el tanque de hervir y los gases se vaporizan en las temperaturas más bajas. Al punto que hierve el agua son liberados a través de orificios para el volátil gas. Esencialmente, la destilación duplica el ciclo de la madre naturaleza de evaporación y precipitación. Es altamente eficaz en remover todos los Inorgánicos, Orgánicos y Contaminantes Radionucleotides. Éstos incluyen metales pesados, Amoníaco, Nitrato, Cloruro, Fluoruro, Radio 226, Contaminantes orgánicos industriales y Agentes contaminadores. La destilación es también altamente eficaz en remover insecticidas comúnmente usados, herbicidas, y Plomo; así como también, todas las bacterias y virus.

### **1.3.2 AGUA DESTILADA**

El agua destilada es aquella cuya composición se basa en la unidad de moléculas de H<sub>2</sub>O. Es aquella a la que se le han eliminado las impurezas e iones mediante destilación. La destilación es un método en desuso para la producción de agua pura a nivel industrial. Esta consiste en separar los componentes líquidos de una mezcla,

***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

El agua destilada es agua que ha sido hervida en un aparato llamado “alambique”, y luego recondensada en una unidad enfriadora (“condensadora”) para devolver el agua al estado líquido. La destilación se usa para purificar el agua. Los contaminantes disueltos tales como sales se quedan en el tanque donde el agua hierve mientras que el vapor de agua se eleva hacia fuera. Puede no funcionar si los contaminantes son volátiles de forma que también hiervan y recondensan, como si se tuviese algo de alcohol disuelto.

### **1.3.3 LIMITACIONES DEL MÉTODO PURIFICACIÓN POR DESTILACIÓN.**

Aunque la destilación disfruta de gran popularidad, está lejos de ser un método ideal de purificación para el laboratorio. Este método tiene varias limitaciones, las cuales pueden resumirse como sigue:

**a.-)** La purificación implica sólo la eliminación de las materias no volátiles. Muchos materiales volátiles se arrastran en el proceso de destilación. Las impurezas líquidas, con el mismo punto de ebullición que el agua, se evaporan y condensan junto con el agua destilada. Algunos compuestos orgánicos con puntos de ebullición mucho más altos que 100°C también pueden destilarse y condensarse con el vapor según el proceso denominado “destilación por arrastre de vapor”.

**b.-)** La destilación implica una agitación rápida dentro del destilador, esto produce gotas muy pequeñas de agua que llegan al receptor sin estar realmente destiladas. El problema se ha resuelto en cierta extensión mediante la instalación de deflectores; no obstante, no se puede eliminar completamente.

**c.-)** En el proceso de destilación, las materias no volátiles se quedan en el destilador. Estos materiales se acumulan cada día en el destilador y pueden causar una serie de problemas:

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

\* El agua en el destilador se concentra más y más con las impurezas no volátiles cada día y las pocas gotas no destiladas que pasan por el condensador pueden contener grandes cantidades de impurezas.

\* El destilador requiere una limpieza cada pocos meses. El intervalo entre limpiezas dependerá de la naturaleza del suministro del agua de la ciudad.

\* El material incrustado puede formar una capa de costra en el destilador y causar corrosión y desmenuzamiento.

#### **1.3.4 IMPORTANCIA DEL AGUA PURA.**

Solamente el oxígeno es más esencial que el agua en sostener la vida de todos los organismos vivos. Los seres humanos pueden vivir por varias semanas sin alimento, pero apenas algunos sin el agua. Esto no nos sorprende cuando consideramos que casi 3/4 de nuestro cuerpo está compuesto de agua. Porque el agua es tan esencial para el sano mantenimiento de nuestros huesos, tejidos finos y músculos. Es importante que bebamos agua pura y libre de contaminantes a como sea posible.

#### **1.3.5 TIPOS DE COLUMNAS DE DESTILACIÓN DE AGUA.**

Hay varios tipos de columnas de destilación, cada una diseñada para un determinado tipo de separación y cada una difiere de la otra en términos de complejidad.

Una manera de clasificar las columnas de destilación es observar cómo operan.

Por tanto tenemos:

- Columnas batch.
- Columnas continuas.

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

La elección de uno u otro tipo de destilación depende a menudo de la clase de industria y de la cantidad a procesar. Cuando se trata de destilar grandes volúmenes, las operaciones continuas son las más convenientes. En cambio, cuando las cantidades son más pequeñas, como es el caso en la industria alimenticia, alcoholera, farmacéutica, de química fina (aditiva, aromatizante), o de las muy especializadas, se prefiere la destilación batch.

### **1.3.5.1 COLUMNAS BATCH.**

En una operación batch, la alimentación a la columna es introducida por lotes. Esto es, la columna se carga con un lote y es entonces cuando se lleva a cabo el proceso de destilación. Cuando el objetivo deseado es alcanzado, se introduce el siguiente lote de alimentación.

### **1.3.5.2 COLUMNAS CONTINUAS.**

En contraste con el tipo anterior de columnas, una columna continua recibe un flujo de alimentación continuo. No ocurren interrupciones a menos que se presenten problemas con la columna o en los alrededores de las unidades de proceso. Estas son capaces de manejar grandes cantidades de materia prima y son las más comunes de los dos tipos.

## **TIPOS DE COLUMNAS CONTINUAS**

Las columnas continuas pueden ser convenientemente clasificadas de acuerdo a:

- a) La naturaleza del flujo de alimentación que se está procesando:
  - Columnas binarias: el flujo de alimentación contiene solo dos componentes.
  - Columna multicomponente: el flujo de alimentación contiene más de dos componentes.
- b) El número de flujos de productos que posea:
  - Columna multiproducto: columna que tiene más de dos flujos de productos.

***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

c) Los dispositivos internos:

- Columna de platos: donde platos de varios diseños son usados para manejar el líquido, de manera que se provea un mejor contacto líquido-vapor, y por tanto una mejor separación.
- Columna de relleno: donde en lugar de platos, se usan rellenos para acentuar el contacto líquido-vapor.

## **1.4 TRANSFERENCIA DE CALOR EN LA DESTILACIÓN.**

Al diseñar un proceso es necesario estudiar los principios básicos que rigen la transferencia de calor entre los sistemas. Prácticamente, todas las operaciones que tienen lugar en la industria química conllevan a la producción o absorción de energía en forma de calor. En los procesos industriales se gasta mucho dinero calentando fluidos y, en muchas ocasiones, se hace necesario recuperar el calor con el objeto de ahorrar combustible.

La forma en que el calor se transfiere así como la diversidad de los dispositivos en los cuales estos fenómenos suceden hace que el campo de las aplicaciones sea bastante extenso.

La transferencia de calor entre (por lo menos) dos cuerpos que están en contacto a diferentes temperaturas se da desde el objeto de mayor temperatura hacia el de menor temperatura. En consecuencia, la temperatura del primer objeto decrece mientras que la del segundo se incrementa. Los mecanismos de transferencia de calor son: conducción, convección y radiación. Estos mecanismos pueden presentarse, en un determinado proceso, en forma paralela o aislada es decir, que puede haber transferencia de calor de distintas formas simultáneamente o solo de una forma.

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

### **1.4.1 CONDUCCIÓN DE CALOR.**

La conducción de calor o transmisión de calor por conducción es un proceso de transmisión de calor basado en el contacto directo entre los cuerpos, sin intercambio de materia, por el que el calor fluye desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura que está en contacto con el primero. La propiedad física de los materiales que determina su capacidad para conducir el calor es la conductividad térmica. La propiedad inversa de la conductividad térmica es la resistividad térmica, que es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor.

La transmisión de calor por conducción, entre dos cuerpos o entre diferentes partes de un cuerpo, es el intercambio de energía interna, que es una combinación de la energía cinética y energía potencial de sus partículas microscópicas: moléculas, átomos y electrones. La conductividad térmica de la materia depende de su estructura microscópica: en un fluido se debe principalmente a colisiones aleatorias de las moléculas; en un sólido depende del intercambio de electrones libres (principalmente en metales) o de los modos de vibración de sus partículas microscópicas (dominante en los materiales no metálicos).

Para el caso simplificado de flujo de calor estacionario en una sola dirección, el calor transmitido es proporcional al área perpendicular al flujo de calor, a la conductividad del material y a la diferencia de temperatura, y es inversamente proporcional al espesor:

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{kA}{x}(T_1 - T_2)$$

donde:

$\frac{Q}{\Delta t}$  es el calor transmitido por unidad de tiempo.

$k$  (o  $\lambda$ ) es la conductividad térmica.

$A$  es el área de la superficie de contacto.

$(T_1 - T_2)$  es la diferencia de temperatura entre el foco caliente y el frío.

$x$  es el espesor del material.

### **1.4.2 CONVECCIÓN.**

La convección es una de las tres formas de transferencia de calor. Se caracteriza porque se produce por medio de un fluido (líquido o gas) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. La convección se produce únicamente por medio de materiales, la evaporación del agua o fluidos. La convección en sí, es el transporte de calor por medio del movimiento del fluido. Por ejemplo, al trasegarlo mediante bombas o al calentar agua en una cacerola: el agua en contacto con la base de la cacerola asciende, mientras que el agua de la superficie, desciende, ocupando el lugar que dejó la caliente.

La transferencia de calor implica el transporte de calor en un volumen y la mezcla de elementos macroscópicos de porciones calientes y frías de un gas o un líquido. Incluye también el intercambio de energía entre una superficie sólida y un fluido o por medio de una bomba, un ventilador u otro dispositivo mecánico (convección mecánica, forzada o asistida).

**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

En la transferencia de calor libre o natural, un fluido es más caliente o más frío. En contacto con una superficie sólida, causa una circulación debido a las diferencias de densidades que resultan del gradiente de temperaturas en el fluido.

La transferencia de calor por convección se expresa con la Ley del enfriamiento de Newton:

$$\frac{dQ}{dt} = hA_s(T_s - T_{inf})$$

Donde  $h$  es el coeficiente de convección (o coeficiente de película),  $A_s$  es el área del cuerpo en contacto con el fluido,  $T_s$  es la temperatura en la superficie del cuerpo y  $T_{inf}$  es la temperatura del fluido lejos del cuerpo.

### **1.4.3 RADIACIÓN.**

Se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivas. En ausencia de un medio, existe una transferencia neta de calor por radiación entre dos superficies a diferentes temperaturas, debido a que todas las superficies con temperatura finita emiten energía en forma de ondas electromagnéticas. El calor emitido por una superficie en la unidad de tiempo, viene dado por la ley de Stefan-Boltzmann.



*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

$$P = \alpha (\sigma T^4) S$$

donde

- $P$  es la potencia radiada.
- $\alpha$  es un coeficiente que depende de la naturaleza del cuerpo;  $\alpha = 1$  para un cuerpo negro perfecto.
- $S$  es el área de la superficie que radia.
- $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann, que tiene un valor de  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
- $T$  es la temperatura absoluta.

## 1.5 TRANSFERENCIA DE CALOR A LÍQUIDOS EN EBULLICIÓN.

La ebullición es un proceso de cambio de fase en donde las burbujas se forman en la superficie de calentamiento y/o en una capa de líquido sobrecalentada cerca de la superficie de calentamiento. Se denomina ebullición en recintos cerrados, cuando los procesos de ebullición se encuentran referidos a ebullición en convección natural, estando el líquido cerrado en un recipiente y se denomina ebullición forzada al líquido que fluye sobre la superficie de calentamiento por medio de una bomba u otro medio.

En ebullición forzada, se asume que existen dos fenómenos de ebullición: ebullición nucleada y ebullición convectiva. El primer proceso se tiende a calcular a partir de correlaciones de ebullición en recintos cerrados, y la ebullición convectiva, tiende a calcularse a partir de correlaciones de simple fase multiplicadas por un factor de aumento.

A continuación se muestran las gráficas de: (temperatura, en las etapas de calentamiento y evaporación) y (masa de agua evaporada en la etapa de evaporación); ambas variables como funciones del tiempo.

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

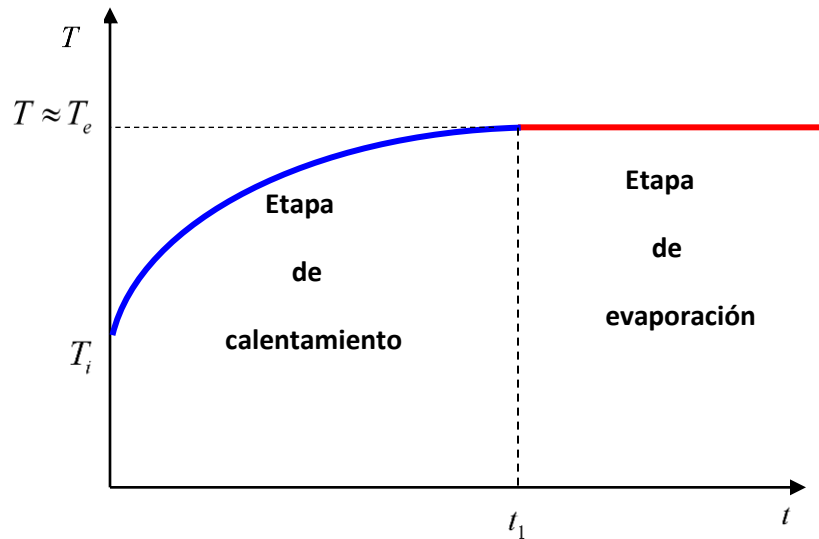


Figura 1. Representación gráfica de la temperatura en las etapas de calentamiento y evaporación

### 1.5.1 EBULLICION EN RECINTOS CERRADOS.

La Figura 2. muestra cualitativamente la curva de ebullición típica que se obtiene en ebullición en recintos cerrados representando el flujo de calor frente a la diferencia de temperaturas entre la pared y el líquido.

Cuando el flujo de calor aumenta, el primer modo de transferencia de calor que aparece en presencia de un campo gravitatorio es la convección natural. En un punto determinado de sobrecalentamiento de la pared (punto A), las burbujas de vapor aparecen en la superficie del líquido. Este punto se denomina el punto de inicio de la ebullición. Las burbujas se forman en las cavidades o en las fisuras de la superficie, que contienen núcleos de vapor. En líquidos que son capaces de mojar bien la superficie el punto de inicio de la ebullición nucleada se retrasa. En

**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

estos líquidos, la generación de burbujas causa una reducción de la temperatura superficial mientras que el flujo de calor se mantiene constante aunque este comportamiento no se observa cuando se reduce el flujo de calor mostrándose efectos de histéresis.

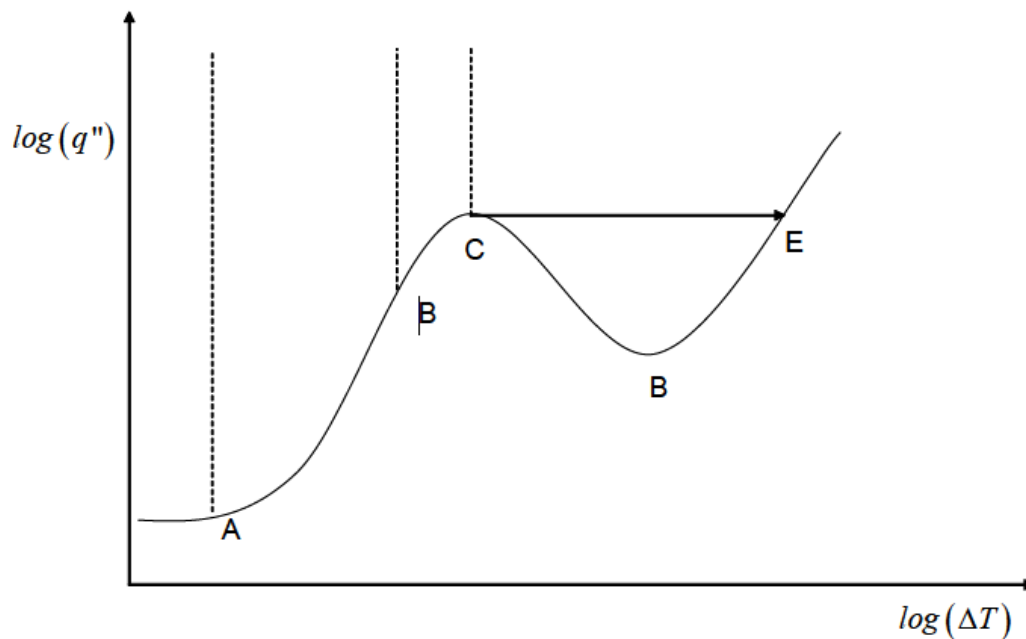


Figura 2. Curva de ebullición nucleada en recintos cerrados representando el flujo de calor frente a la temperatura.

Después de la primera generación de burbujas se encuentra un fuerte aumento de la pendiente de la curva de ebullición conforme el flujo de calor se eleva. En la ebullición nucleada parcial (Curva AB) se generan burbujas discretas en sitios de nucleación en la superficie de calentamiento. La transición de las burbujas aisladas al desarrollo total de la ebullición sucede cuando se produce la coalescencia de las mismas. En esta región el vapor tiende a dejar la superficie de calentamiento en la forma de chorros. A partir de esta región la pendiente de la curva de ebullición tiende a decrecer hasta la región de transición de la ebullición,

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

cuando se alcanza el flujo de calor crítico. Después de alcanzar el flujo de calor crítico de ebullición, la superficie se cubre con vapor, y la superficie se cubre de vapor, de forma que la temperatura de la superficie aumenta rápidamente.

### **1.5.2 CORRELACIONES DE EBULLICIÓN DE FLUIDOS PUROS EN RECINTOS CERRADOS.**

Durante los últimos 70 años se han llevado a cabo muchos estudios del proceso de ebullición nucleada con componentes puros. Esto ha permitido ampliar el conocimiento de los procesos físicos que se producen en la generación de burbujas en ebullición, aunque todavía no se han podido establecer modelos teóricos que predigan los coeficientes con suficiente exactitud, debido principalmente a la cantidad de parámetros de influencia en este tipo de ebullición. Por ello la mayoría de trabajos presentan correlaciones que se basan en resultados experimentales. Estas correlaciones muestran que el coeficiente de transferencia de calor en ebullición depende del flujo de calor, la presión, las propiedades del fluido y de algunas características de la superficie de calentamiento (rugosidad, orientación, forma, propiedades termofísicas, etc.). La mayoría de estas correlaciones predicen muy bien los resultados experimentales correlacionados, aunque también es cierto que se encuentran diferencias importantes entre los resultados experimentales de diversas fuentes.

#### **A. CORRELACIÓN DE MOSTINSKI.**

Mostinski (1963) aplicó el principio de los estados correspondientes para correlacionar datos experimentales de ebullición nucleada y llegó a una correlación simple sin dependencia de las características de la superficie ni de las propiedades del fluido.

**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

La correlación de presión reducida adimensional se describe por Eq. (1).

$$\alpha_{pool} = 3.596 \times 10^{-5} P_C^{0.69} q^{n0.7} F_P \quad \text{Eq. (1)}$$

Donde la presión crítica se calcula en kPa. Los efectos de la presión en la ebullición nucleada son correlacionados utilizando el factor  $F_P$ , determinado mediante la ecuación Eq. (2)

$$F_P = 1.8(p_r)^{0.17} + 4(p_r)^{1.2} + 10(p_r)^{10} \quad \text{Eq. (2)}$$

Con:  $p_r$  presión reducida del fluido [ $P_{sat}/P_C$ ]

## **B. CORRELACIÓN DE COOPER.**

Cooper (1984) presentó la siguiente correlación de presión reducida, que incorpora además la información de rugosidad de la superficie y el peso molecular del fluido. Cuando se desconoce la rugosidad de la superficie se aconseja utilizar un valor de 1  $\mu\text{m}$ .

$$\alpha_{pool} = 55 \cdot (p_r)^{0.12 - 0.043 \ln(R_p)} (-\log p_r)^{-0.55} M^{-0.5} q^{n0.67} \quad \text{Eq. (3)}$$

Con:  $M$  masa molecular de la sustancia [kmol/kg]

**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

### **C. CORRELACIONES DE STEPHAN ABDELSALAM.**

La correlación de Stephan y Abdelsalam (1980) es una de las correlaciones más referenciada en los trabajos de ebullición nucleada. Utilizando un método de regresión múltiple correlacionaron gran cantidad de datos experimentales, con características geométricas de la superficie de calentamiento similares, agrupando las propiedades termofísicas de los fluidos en números adimensionales. Como resultado de la regresión obtuvieron correlaciones individuales para cuatro tipos de fluidos (agua, orgánicos, refrigerantes y criogénicos) que reproducían los datos experimentales con un error medio inferior al 15%. También presentaron una expresión general válida para todos los fluidos. En este caso el error medio era inferior al 25 %.

La correlación aplicable para el agua es:

$$\frac{\alpha_{pool} D_0}{\lambda_L} = 0.246 \cdot 10^7 \left( \frac{q'' D_0}{\lambda_l} \right)^{0.673} \left( \frac{\Delta h_{fg} D_0^2}{\kappa_l^2} \right)^{-1.58} \left( \frac{Cp_l T_{sat} D_0}{\kappa_l^2} \right)^{1.26} \left( \frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_l} \right)^{5.22} \quad \text{Eq. (4)}$$

El ángulo de contacto  $\beta$ , es en el caso del agua de 45 °.

### **D. CORRELACIONES DE GORENFLO.**

El diámetro de partida de las burbujas  $D_0$  se calcula mediante la ecuación de Fritz (1935). Eq. (5)

$$D_0 = 0.0146 \cdot \beta \cdot \left[ \frac{2\sigma}{g(\rho_l - \rho_v)} \right]^{1/2} \quad \text{Eq. (5)}$$

**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

Gorenflo (1997) propuso una correlación dependiente de la presión reducida que utiliza un valor experimental del coeficiente de ebullición nucleada específico de cada fluido medido en una condiciones de referencia: una presión reducida de  $p_{r0} = 0.1$ , una rugosidad de  $R_{a0} = 0.4 \mu\text{m}$  y un flujo de calor de  $q_0 = 20.000 \text{ W/m}^2$ . La expresión para calcular el coeficiente de ebullición nucleada en otras condiciones es:

$$\frac{\alpha_{pool}}{\alpha_0} = \left(\frac{q''}{q_0''}\right)^n (p_r) \cdot F(p_r) \cdot \left(\frac{R_a}{R_{a0}}\right)^{0.133} \quad \text{Eq. (6)}$$

Donde el factor de corrección de la presión sigue la misma expresión para todos los fluidos excepto para el agua. La expresión de los factores de corrección de la presión y los valores de los coeficientes de ebullición nucleada en las condiciones de referencia para el agua se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Obtención de los factores de Eq. (6) para los fluidos agua y amoniaco

Fluido	$F(p_r)$	$n(p_r)$	$\alpha_0 (\text{W/m}^2)$
Amoniaco	$F(p_r) = 1.2 \cdot p_r^{0.27} + \left(2.5 + \frac{1}{1-p_r}\right) \cdot p_r$	$n(p_r) = 0.9 - 0.3 \cdot p_r^{0.15}$	7000
Agua	$F(p_r) = 1.73 \cdot p_r^{0.27} + \left(6.1 + \frac{0.68}{1-p_r}\right) \cdot p_r^2$	$n(p_r) = 0.9 - 0.3 \cdot p_r^{0.3}$	5600

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

### 1.5.2.1 EBULLICIÓN FORZADA.

El proceso de transmisión de calor en ebullición forzada es un fenómeno complejo, en el que intervienen una serie de patrones de flujo, que caracterizan la transferencia de calor. Dado que los patrones de flujo se ven influenciados por la geometría de la superficie donde se produce la ebullición, se ha creado una simplificación que permite obtener resultados aceptables, y con continuas evoluciones se ha estado utilizando a lo largo de los últimos 40 años.

Esta simplificación consiste en considerar dos términos de ebullición, la ebullición nucleada y ebullición convectiva. A lo largo de los años se han propuesto diferentes formas de establecer la transición de uno a otro fenómeno, y éstos se pueden agrupar correlaciones de superposición (Chen (1963)), correlaciones de efectos separados (Shah (1982)) y correlaciones de tipo asintótico (Steiner y Taborek (1992)). Fuera de esta clasificación, se encuentra el modelo de Kandlikar (1990), que separa zonas de dominancia de los fenómenos, y en cada una de estas zonas considera la influencia de los efectos convectivos y de nucleación. Aparte del modelo de Kandlikar el resto de los modelos pueden ser generalizados por medio de la Eq.(7), donde el exponente se modifica en función del modelo. De esta forma, para  $n=1$ , tendríamos un modelo de superposición, para  $n=\infty$  tendríamos un modelo de efectos separados, y para otros valores de  $n$  tendríamos un modelo de tipo asintótico, aunque generalmente se suele utilizar  $n=3$ .

$$\alpha_{TP} = \sqrt[n]{(\alpha_{nb})^n + (F\alpha_l)^n} \quad \text{Eq. (7)}$$

En la Eq. (7) el factor  $F$ , se denomina el factor de aumento de la ebullición convectiva, el término  $\alpha_l$  es el coeficiente de transferencia de calor del líquido. El



*Tesis: "Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana".*

término de ebullición nucleada  $\alpha_{nb}$  de la Eq. (7) suele calcularse por medio de ecuaciones de ebullición en recintos cerrados, e incluso ser afectados por un término S, denominado factor de supresión de la ebullición nucleada, según Eq. (8).

$$\alpha_{nb} = S \cdot \alpha_{pool} \quad \text{Eq. (8)}$$

### **1.5.2.2 CORRELACIONES DE EBULLICIÓN FORZADA DE FLUIDOS PUROS.**

#### **A. CORRELACIÓN DE CHEN.**

La correlación de Chen (1963) puede ser considerada la correlación más referenciada en los estudios de ebullición.

En este modelo se postula que los fenómenos de transferencia de calor en ebullición, pueden ser entendidos como una superposición de dos fenómenos: transmisión de calor de tipo convectivo, y el fenómeno de transferencia de calor en ebullición nucleada.

La expresión del modelo de superposición propuesto responde a Eq. (9).

$$q'' = q''_{conv} + q''_{nb} = S \cdot \alpha_{pool} \cdot (T_w - T_l) + F(Pr) \cdot \alpha_l \cdot (T_w - T_l) \quad \text{Eq. (9)}$$

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

## **B. CORRELACIÓN DE SHAH.**

La correlación de Shah (1976), y Shah (1982) se propuso en primer lugar de forma gráfica y posteriormente propuso las fórmulas que permitían la obtención numérica de los coeficientes. Shah establece tres regiones de ebullición: una primera donde predomina la ebullición nucleada, la segunda, donde la generación de burbujas se ve suprimida y los efectos de ebullición convectiva comienzan a estar presentes, y la tercera donde predomina la ebullición convectiva.

La expresión general de Shah tiene la forma siguiente. Eq. (10).

$$\psi = \frac{\alpha_{TP}}{\alpha_{LO}} = f(Co, Bo, Fr_l) \quad \text{Eq. (10)}$$

## **C. CORRELACIÓN DE GUNGOR Y WINTERTON.**

La correlación de Gungor y Winterton (1986) es una modificación de la correlación de Chen. Para esta correlación utilizaron 3700 puntos experimentales de fluidos como agua refrigerantes y etilenglicol.

$$\alpha_{tp} = S\alpha_{pool} + E\alpha_l \quad \text{Eq. (11)}$$

**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

## **D. CORRELACIÓN DE LIU Y WINTERTON.**

La correlación de Liu y Winterton (1991) permite obtener coeficientes de transferencia de calor en ebullición tanto para flujos en el interior de tubos como en espacios anulares.

En la correlación de estos autores, se utiliza por primera vez una expresión diferente de las mencionadas anteriormente, proponiendo un método asintótico. Los métodos asintóticos, permiten que uno de los dos fenómenos de la convección predomine frente a los otros. Liu y Winterton proponen un exponente de 2, de forma que la expresión general se muestra de la manera siguiente Eq. (12)

$$\alpha_{tp} = \sqrt{(S \cdot \alpha_{pool})^2 + (F \cdot \alpha_l)^2} \quad \text{Eq. (12)}$$

## **E. CORRELACIÓN DE KANDLIKAR.**

La obtención de los coeficientes se describe a continuación. Kandlikar divide las regiones de ebullición en dos, en función de que fenómeno se muestra presente, sea nucleada o convectiva. Entonces el coeficiente de ebullición será:

$$\frac{\alpha_{TP}}{\alpha_{LO}} = \text{máximo de} \left\{ \begin{array}{l} \left[ \frac{\alpha_{TP}}{\alpha_{LO}} \right]_{NBD} \\ \left[ \frac{\alpha_{TP}}{\alpha_{LO}} \right]_{CBD} \end{array} \right. \quad \text{Eq. (13)}$$

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

## **F. CORRELACIÓN DE STEINER Y TABOREK.**

El modelo de Steiner y Taborek (1993), propuso la utilización de un modelo de tipo asintótico para el cálculo de los coeficientes de ebullición.

En la primera aproximación al modelo se afirma que la ebullición nucleada sólo se muestra presente cuando el flujo de calor es suficientemente grande como para que la ebullición se muestre presente.

La obtención del flujo necesario para la existencia de la ebullición nucleada es se expresa en Eq. (14).

$$q_{ONB} = \frac{2 \cdot \sigma \cdot T_s \cdot \alpha_{LO}}{r_{cr} \cdot \tilde{\rho}_V \cdot \Delta \tilde{h}_V} \quad \text{Eq. (14)}$$

## **G. CORRELACIÓN DE JUNG**

El modelo propuesto por Jung et al. (1989) para el cálculo de coeficientes de ebullición en mezclas binarias, sirve como base para establecer el modelo de Jung para fluidos puros.

La correlación se muestra en Eq. (15)

$$\alpha_{TP} = N\alpha_{nb} + F_p\alpha_l \quad \text{Eq. (15)}$$

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

## **H. CORRELACIÓN DE WADEKAR.**

La correlación de Wadekar (1995) contrariamente a la mayoría de modelos, esta correlación está basada en la supresión de la transferencia de calor convectiva debido a la presencia de la ebullición nucleada. El flujo de calor en ebullición se calcula por medio de Eq.(16).

$$q = (1 - A_{nb})q_c'' + q_{nb}'' \quad \text{Eq. (16)}$$

Donde el término  $A_{nb}$  se calcula por medio de la Eq. (17)

$$A_{nb} = 1 - e^{-\frac{177.C.\Delta T^{25}}{Re_L.F^{125}}} \quad \text{Eq. (17)}$$

### **1.6 TRANSFERENCIA DE CALOR CON CAMBIO DE FASE.**

#### **1.6.1 EBULLICIÓN.**

Cuando la transferencia de calor se produce transfiriendo calor a un fluido con cambio de fase desde una pared calefactora, se dice que estamos en presencia de ebullición.

La temperatura de la pared  $T_w$  debe ser mayor que la temperatura de saturación. Hay diferentes tipos de ebullición: si el líquido en la cercanía del calefactor se encuentra en reposo y el movimiento se establece por el proceso de ebullición, entonces estamos en presencia de ebullición en piletta. Si por el contrario el movimiento principal se establece en forma externa, se le denomina ebullición en convección forzada. Además, en cada uno de los casos el fluido puede tener una temperatura igual a la de saturación (ebullición saturada) o menor (ebullición subenfriada).

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

## **1.6.2 CONDENSACIÓN.**

El fenómeno de condensación ocurre cuando la temperatura del vapor se reduce a un valor por debajo de la temperatura de saturación. En estos casos, se entrega el calor latente y se forma el condensado.

El calor latente se puede entregar a una superficie fría, mediante condensación homogénea o por contacto directo (como en sistemas de seguridad en edificios de contención de centrales nucleares o en las duchas de los presurizadores).

Hay dos tipos de condensación en presencia de una pared fría: la condensación en película y la condensación en gotas. En la condensación pelicular, el líquido cae en forma continua por acción de la gravedad; en la condensación en gotas, estas se forman en cavidades y crecen, desprendiéndose en forma de avalancha. La condensación pelicular ocurre en superficies limpias y no contaminadas, en las cuales el líquido tiene buena mojabilidad; la condensación en gotas ocurre en los casos en los que no la mojabilidad no es buena, y además es muy difícil de mantener, ya que pequeños cambios superficiales pueden inhibirla.

El condensado interpone una resistencia térmica al paso del calor; esta resistencia térmica es menor en el caso de condensación por gotas, obteniéndose mejores coeficientes de transferencia de calor. El fenómeno de condensación por gotas es muy complicado y difícil de modelar. En forma conservativa, los condensadores se diseñan suponiendo condensación pelicular.

La característica fundamental de estos procesos es la influencia del calor latente de cambio de fase,  $h_{fg}$ , debido al cual se pueden transferir grandes potencias sin una gran diferencia de temperatura entre la pared y el fluido.

Otras características importantes son la influencia de la tensión superficial (la cual determina el ángulo de contacto y mojabilidad de las superficies) y de la fuerza boyante,  $g ( \rho_f - \rho_g )$ .

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

### 1.6.3 PARÁMETROS ADIMENSIONALES EN EBULLICION Y CONDENSACIÓN.

La obtención de los parámetros adimensionales para un flujo de dos fases es una tarea muy compleja, ya que los contornos y la ubicación de las fases líquidas y gaseosas son desconocidas. Por ello, tenemos que utilizar la experiencia para determinar los parámetros más importantes.

Para el coeficiente de transferencia de calor, puede escribirse:

$$h = h[\Delta T, g(\rho_f - \rho_g), h_{fg}, \sigma, L, \rho, c_p, k, \mu]$$

donde  $\Delta T = T_w - T_{sat}$

$T_w$ : temperatura de pared,  $T_{sat}$ : temperatura de saturación

$g(\rho_f - \rho_g)$ : fuerza boyante

$h_{fg}$ : calor latente de cambio de fase

$\sigma$ : tensión superficial

$\rho, c_p, k, \mu$ : densidad, calor específico, conductividad y viscosidad del líquido o del vapor, respectivamente.

$L$ : longitud característica.

En términos de parámetros adimensionales, resulta:

$$Nu_L = Nu_L \left[ \frac{\rho g (\rho_f - \rho_g) L^3}{\mu^2}, Ja, Pr, Bo \right]$$

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

Dónde:

$$Nu_L = \frac{hL}{k}, \text{ número de Nusselt}$$

$$Ja = \frac{c_p \Delta T}{h_{fg}}, \text{ número de Jakob = calor sensible/calor latente}$$

$$Pr = \frac{\mu c_p}{k}, \text{ número de Prandtl}$$

$$Bo = \frac{g(\rho_f - \rho_g)L^2}{\sigma}, \text{ número de Bond = fuerza boyante/fuerza de tensión superf.}$$

## **1.7 VARIABLES Y APLICACIONES MÁS IMPORTANTES DEL PROCESO.**

### **1.7.1 VARIABLES MÁS IMPORTANTES DEL PROCESO.**

#### **1.7.1.1 TEMPERATURA INICIAL DEL AGUA.**

Esta variable se denota mediante  $T_i$  y se encuentra en la ecuación (1.11). La medida de esta variable se debe hacer al empezar la etapa de calentamiento.

#### **1.7.1.2 TEMPERATURA FINAL DEL AGUA.**

Esta variable se denota mediante  $T_f$  y se encuentra en la ecuación (1.11). Esta variable representará a la temperatura a la que el agua presente en la solución empiece a hervir. Por lo tanto a esta temperatura también se le puede denotar como  $T_e$ .

#### **1.7.1.3 TIEMPO DE CALENTAMIENTO.**

El tiempo de calentamiento denotado como  $t_1$ , es el tiempo que demorará el agua presente en la solución en alcanzar su temperatura de ebullición. A la medida de esta variable se le puede estimar haciendo uso de la ecuación (1.11).



*Tesis: "Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana".*

#### **1.7.1.4 TIEMPO DE EVAPORACIÓN.**

Este será el tiempo que demore, una determinada cantidad de agua presente en la solución, en evaporarse. Simplemente se denotará como  $t - t_1$

#### **1.7.1.5 MASA DE AGUA EVAPORADA.**

La masa de agua evaporada se puede evaluar, mediante la ecuación (1.12). Pero para eso es necesario conocer el tiempo de calentamiento y el tiempo de evaporación.

#### **1.7.2 APLICACIONES MÁS IMPORTANTES DEL PROCESO.**

La destilación se aplica en casi toda la industria química. Históricamente, el gran interés en la destilación proviene de la industria del petróleo para obtener el combustible que usamos habitualmente, o tantos otros derivados como los plásticos. Gran parte de la investigación en destilación se ha realizado en este sector, que utiliza siempre la modalidad "continua" porque las cantidades en juego son muy grandes. En tanto, la destilación del método "batch" se utiliza en la industria pequeña y mediana -farmacéutica, alimenticia; de transistores, por citar unos pocos ejemplos-. Como puede apreciarse, el campo de uso de ambos tipos de destilación es muy vasto, y se la estudia porque sirve.

El proceso de destilación es fundamental en la elaboración de numerosos productos industriales, aunque sin duda es la industria petroquímica, el área industrial en el cual el proceso de destilación adquiere una mayor importancia.

Las columnas de destilación utilizadas para realizar el proceso, constituyen un porcentaje significativo de la inversión que se realiza en plantas químicas y refinerías de todo el mundo. El costo de operación de las columnas de destilación es a menudo, la parte más costosa de la mayoría de los procesos industriales en los que interviene. Por ello, la disposición de técnicas prácticas para modelar columnas de destilación más o menos realistas y el desarrollo de sistemas de

***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

controles eficaces y fiables es muy importante, a fin de conseguir, un funcionamiento eficaz y seguro de los sistemas de destilación industriales.

Existen varios tipos de destilación que son:

Destilación fraccionada: Este proceso, conocido como rectificación o destilación fraccionada, se utiliza mucho en la industria, no sólo para mezclas simples de dos componentes (como alcohol y agua en los productos de fermentación, u oxígeno y nitrógeno en el aire líquido), sino también para mezclas más complejas como las que se encuentran en el alquitrán de hulla y en el petróleo. La columna fraccionadora que se usa con más frecuencia es la llamada torre de burbujeo, en la que las placas están dispuestas horizontalmente, separadas unos centímetros, y los vapores ascendentes suben por unas cápsulas de burbujeo a cada placa, donde burbujan a través del líquido. Las placas están escalonadas de forma que el líquido fluye de izquierda a derecha en una placa, luego cae a la placa de abajo y allí fluye de derecha a izquierda. La interacción entre el líquido y el vapor puede ser incompleta debido a que puede producirse espuma y arrastre de forma que parte del líquido sea transportado por el vapor a la placa superior. En este caso, pueden ser necesarias cinco placas para hacer el trabajo de cuatro placas teóricas, que realizan cuatro destilaciones. Un equivalente barato de la torre de burbujeo es la llamada columna apilada, en la que el líquido fluye hacia abajo sobre una pila de anillos de barro o trocitos de tuberías de vidrio.

La única desventaja de la destilación fraccionada es que una gran fracción (más o menos la mitad) del destilado condensado debe volver a la parte superior de la torre y eventualmente debe hervirse otra vez, con lo cual hay que suministrar más calor. Por otra parte, el funcionamiento continuo permite grandes ahorros de calor, porque el destilado que sale puede ser utilizado para precalentar el material que entra.

***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

Cuando la mezcla está formada por varios componentes, estos se extraen en distintos puntos a lo largo de la torre. Las torres de destilación industrial para petróleo tienen a menudo 100 placas, con al menos diez fracciones diferentes que son extraídas en los puntos adecuados. Se han utilizado torres de más de 500 placas para separar isótopos por destilación.

Destilación por vapor: Si dos líquidos insolubles se calientan, ninguno de los dos es afectado por la presencia del otro (mientras se les remueva para que el líquido más ligero no forme una capa impenetrable sobre el más pesado) y se evaporan en un grado determinado solamente por su propia volatilidad. Por lo tanto, dicha mezcla siempre hierve a una temperatura menor que la de cada componente por separado. El porcentaje de cada componente en el vapor sólo depende de su presión de vapor a esa temperatura. Este principio puede aplicarse a sustancias que podrían verse perjudicadas por el exceso de calor si fueran destiladas en la forma habitual.

Destilación al vacío: Otro método para destilar sustancias a temperaturas por debajo de su punto normal de ebullición es evacuar parcialmente el alambique. Por ejemplo, la anilina puede ser destilada a 100 °C extrayendo el 93% del aire del alambique. Este método es tan efectivo como la destilación por vapor, pero más caro. Cuanto mayor es el grado de vacío, menor es la temperatura de destilación. Si la destilación se efectúa en un vacío prácticamente perfecto, el proceso se llama destilación molecular. Este proceso se usa normalmente en la industria para purificar vitaminas y otros productos inestables. Se coloca la sustancia en una placa dentro de un espacio evacuado y se calienta. El condensador es una placa fría, colocada tan cerca de la primera como sea posible. La mayoría del material pasa por el espacio entre las dos placas, y por lo tanto se pierde muy poco.

Destilación molecular centrífuga: Si una columna larga que contiene una mezcla de gases se cierra herméticamente y se coloca en posición vertical, se produce

***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

una separación parcial de los gases como resultado de la gravedad. En una centrifugadora de alta velocidad, o en un instrumento llamado vórtice, las fuerzas que separan los componentes más ligeros de los más pesados son miles de veces mayores que las de la gravedad, haciendo la separación más eficaz. Por ejemplo, la separación del hexafluoruro de uranio gaseoso, UF<sub>6</sub>, en moléculas que contienen dos isótopos diferentes del uranio, uranio 235 y uranio 238, puede ser llevada a cabo por medio de la destilación molecular centrífuga.

Sublimación: Si se destila una sustancia sólida, pasándola directamente a la fase de vapor y otra vez a la fase sólida sin que se forme un líquido en ningún momento, el proceso se llama sublimación. La sublimación no difiere de la destilación en ningún aspecto importante, excepto en el cuidado especial que se requiere para impedir que el sólido obstruya el aparato. La rectificación de dichos materiales es imposible. El yodo se purifica por sublimación.

Destilación destructiva: Cuando se calienta una sustancia a una temperatura elevada, descomponiéndose en varios productos valiosos, y esos productos se separan por fraccionamiento en la misma operación, el proceso se llama destilación destructiva. Las aplicaciones más importantes de este proceso son la destilación destructiva del carbón para el coque, el alquitrán, el gas y el amoníaco, y la destilación destructiva de la madera para el carbón de leña, el ácido etanoico, la propanona y el metanol. Este último proceso ha sido ampliamente desplazado por procedimientos sintéticos para fabricar distintos subproductos. El craqueo del petróleo es similar a la destilación destructiva.

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

## **1.8 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN EL PROCESO.**

### **1.8.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CONDENSADOR MULTITUBULAR.**

El condensador que trataremos en este proyecto es básicamente de un cuerpo cerrado de acero inoxidable atravesado por tubos paralelos. A través de estos tubos circulará la mezcla vapor de agua que será enfriada por agua a temperatura ambiente que circula, con flujo a contra corriente, por las paredes externas de los tubos.

Su misión principal es la de extraer calor de la mezcla vapor de agua aprovechando al máximo el calor latente ya que la temperatura del fluido caliente baja considerablemente.

Podemos encontrar distintas clasificaciones de condensadores:

Entrada de vapor:

Serán axiales u horizontales cuando la salida de vapor del equipo de destilación se encuentra en el lateral del condensador y verticales o Down Flow cuando la salida de vapor del equipo de destilación está situada en la parte superior del condensador.

Número de cuerpos:

De uno o varios cuerpos en función de la potencia y caudal de salida. En los condensadores de un solo cuerpo la descarga de vapor del equipo de destilación se hace directamente sobre los tubos o haces situados en una única carcasa. En

**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

los demás de un cuerpo el vapor se divide en flujos que son dirigidos hacia distintos condensadores que operaran en igualdad de condiciones.

Número de pasos:

Según las veces que el agua de circulación recorre el condensador, encontraremos condensadores de un paso o de varios (dos en general). En el de un paso, el agua entra en el condensador por un extremo, atraviesa el condensador y sale por el lado opuesto mientras que en el de dos pasos, el agua entra por un extremo, llega al final del haz y retorna de nuevo saliendo por el mismo extremo por el que entró.

Se muestran a continuación esquemas sobre los distintos modelos:

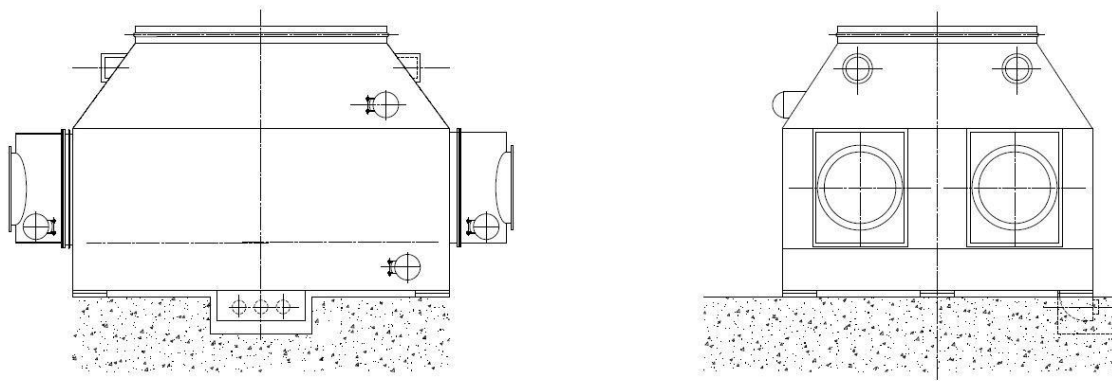


Figura 1: Condensador vertical de un cuerpo y un paso por haz

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

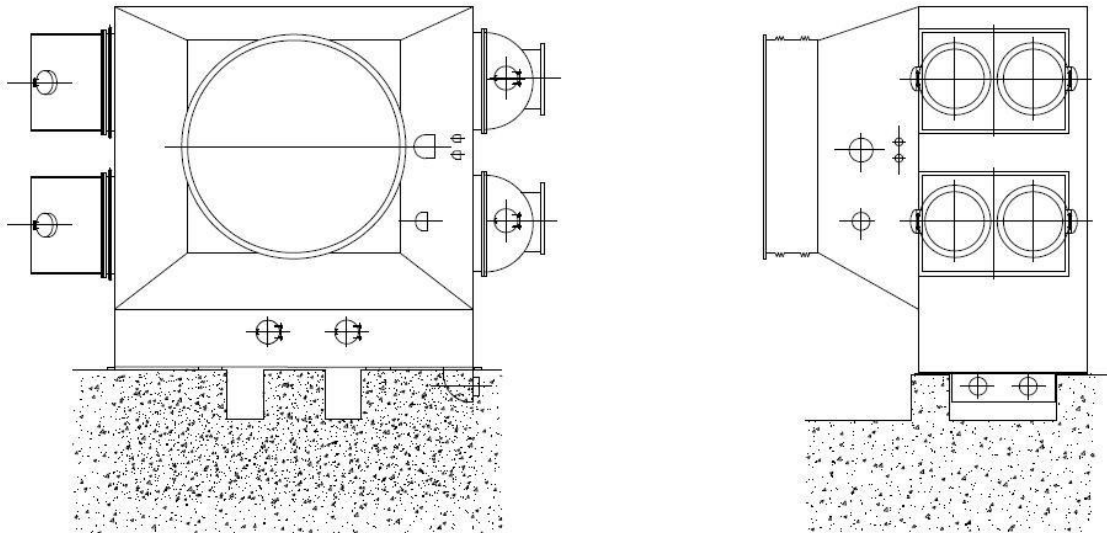


Figura 2: condensador axial de un cuerpo, dos haces y dos pasos por haz.

## 1.8.2 COMPOSICIÓN DEL CONDENSADOR

### 1.8.2.1 CUERPO.

El cuerpo es un cilindro vertical de acero inoxidable, que tiene como función contener los haces tubulares, compuestos por los tubos, placas tubulares o placas soporte y demás elementos que realizarán el intercambio de calor.

El cuerpo se diseña y construye con chapas de 2 mm de espesor añadiéndole un sobre espesor cuyo mínimo determina el código HEI para evitar la corrosión del material.

Dentro del cuerpo del condensador van ensamblados los siguientes componentes:

#### ➤ **Tubos**

Realizan el intercambio de calor entre el vapor y el agua de refrigeración. Sus medidas dependerán del área de intercambio necesario para conseguir un vacío adecuado para el correcto funcionamiento del sistema. Estas dimensiones condicionan las medidas del resto del equipo ya que van alojados en el interior del

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

cuerpo, unidos a las cajas de agua y placas tubulares y soportadas por las placas soporte.

➤ **Placas tubulares**

Se sitúan en ambos extremos del condensador, una por haz de tubos, a ellas van soldadas los tubos a la entrada, salida y retorno, y son las que comunican el haz de tubos con las cajas de agua.

### **1.8.2.2 CUELLO DEL CONDENSADOR.**

El cuello une el cuerpo del condensador con el equipo de destilación. Está fabricado, en caso de los down flow, del mismo material que el cuerpo, con chapas de 2 mm de espesor. Su interior está arriostrado mediante tuberías huecas para darle rigidez y que no se deforme ante las presiones del interior.

El cuello, aparte de conectar la salida del equipo de destilación con el cuerpo también posee una puerta de acceso para revisiones, en caso de ser necesaria la verificación del estado situacional del equipo de condensación.

Entre el cuello y la salida de turbina, se coloca generalmente una junta de expansión, aunque pueden ir unidos directamente, en el caso de los down flow, la junta, de acero inoxidable o de goma suele ser más estrecha, se trata de un único compensador ya que no soporta pandeos laterales como los axiales, que necesitan dos compensadores.

### **1.8.2.3 POZO DE CONDENSADO.**

El pozo de condensado se sitúa en la parte inferior del cuerpo. Tiene las mismas dimensiones de ancho y largo del cuerpo y su función es almacenar el vapor condensado. En su parte inferior se encuentran los sumideros que permiten



***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

extraer el flujo condensado para su reutilización. Generalmente se trata de dos conexiones cuyo diámetro vendrá dado por el flujo a extraer. La capacidad de almacenaje, vendrá en función del vapor descargado y de las especificaciones iniciales del equipo.

#### **1.8.2.4 CAJAS DE AGUA.**

Las cajas de agua se sitúan en los extremos de los haces tubulares, a cada lado del condensador. Hay dos tipos de cajas de agua. Por un lado las cajas de entrada salida, que llevan las conexiones necesarias para la entrada y salida del agua de circulación. Por otro lado las cajas de retorno que permiten que el agua de circulación vuelva al extremo contrario del condensador.

En el caso de condensadores de doble paso, el equipo lleva cajas de entrada salida en un extremo y de retorno en el otro, si el condensador es de un único paso, llevará cajas de entrada en un extremo y de salida en el otro. El diseño de las cajas de agua dependerá como siempre de las especificaciones iniciales. En general se diseñan con acero al carbono y un espesor de 16 mm con un sobre espesor que como mínimo ha de ser de 1,6 mm. Las conexiones de entrada y salida del agua tienen un diámetro determinado por el caudal de agua de circulación y se rigen por la norma AWWA.

### **1.9 POSIBILIDADES DE USO DEL EQUIPO EN LA INDUSTRIA.**

El destilador permite obtener agua de gran pureza, a partir del agua potable como la suministrada normalmente por los servicios de acueducto de los centros urbanos. El agua destilada se caracteriza por carecer de sólidos en suspensión y es utilizada en múltiples aplicaciones en los centros para la prestación de servicios de salud, especialmente en las unidades de laboratorio, lavado y esterilización, y

***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

dietética. En el laboratorio el nivel de pureza será mayor mientras más especializados sean los procedimientos. Por ejemplo: la preparación de reactivos o de material biológico requiere agua de la más alta calidad y la destilación es uno de los procesos fundamentales para lograrlo. (Aunque no el único que pudiera ser requerido). El agua utilizada en los laboratorios debe estar libre de pirógenos, con una concentración de sólidos totales no mayor de 1 ppm, cuyos valores de pH estén comprendidos entre 5,4 y 7,2 y su resistencia eléctrica sea no menor de  $3 \times 10^5$  ohm/cm a 25 °C. La pureza del agua es extremadamente importante en la industria farmacéutica y bioquímica, Las partículas disueltas o en suspensión, los compuestos orgánicos, las impurezas y otros contaminantes impiden utilizar agua corriente en aplicaciones de laboratorio e investigación científica. Se utilizan parámetros como la resistividad, la conductividad, el tamaño de partículas y la concentración de microorganismos para determinar la calidad del agua y, en consecuencia, especificar los usos previstos para el agua.

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

## **CAPÍTULO II: CONDICIONES Y CÁLCULOS DE DISEÑO.**

### **2.1 CONDICIONES INICIALES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO.**

#### **2.1.1 DEFINICIÓN DEL TAMAÑO DEL EQUIPO.**

El tamaño del equipo está definido por los usos que en este caso se le va a dar, en función a los objetivos del proyecto de investigación. Los usos están referidos a:

- Prácticas de Laboratorio con los alumnos de transferencia de masa y de calor.
- Producción a pequeña escala con fines de investigación en la obtención de agua destilada.

En base a estos usos y los estándares de destilación que se tiene, se define el tamaño del equipo en función del volumen a destilar. Este volumen es de 30 litros.

#### **2.1.2 CONDICIONES PRELIMINARES DE OPERACIÓN**

Entre las principales condiciones de operación, en esta operación de destilación Batch, tenemos.

Temperatura inicial de carga	:	25 °C
Temperatura de ebullición	:	100 °C
Temperatura de salida del destilado	:	27 °C
Temperatura de alimentación del agua	:	25 °C
Temperatura de salida del agua	:	32.5 °C

### **2.2 BASE DE CÁLCULO Y CAPACIDAD**

- En el diseño se considera un condensador con haz de tubos, alimentado con vapor de agua, proveniente del hervidor (calderín).

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

- Para la capacidad del hervidor se tomó como base de cálculo: 30 litros de agua corriente (H<sub>2</sub>O de caño), que ocupa el 75% (3/4 partes) del volumen del hervidor y se considera un rendimiento máximo del condensador multitubular de 120 lt/h, en agua destilada.

## **2.3 DEFINICIÓN DE LAS PARTES FUNDAMENTALES**

### **2.3.1 DISEÑO DEL HERVIDOR (CALDERÍN)**

#### **2.3.1.1 HERVIDOR**

- La longitud y el diámetro está limitado por las dimensiones de las resistencias a utilizarse, así como la potencia de cada uno de ellos.
- Para una capacidad de 30 litros (0.030 m<sup>3</sup>), y considerando que el hervidor es de forma cilíndrica vertical, se estima una relación diámetro/altura.

#### **A. DIÁMETRO DEL HERVIDOR.**

Relación entre la altura del líquido y el diámetro del hervidor.

- Debemos señalar que la altura del líquido en el hervidor (H<sub>Lh</sub>) es diferente a la altura total del hervidor (H<sub>Th</sub>); sin embargo se ha encontrado en los diferentes destiladores, que la relación entre la altura del líquido en el hervidor (H<sub>Lh</sub>) y el diámetro del hervidor (D<sub>h</sub>) es igual a:

$$\frac{H_{Lh}}{D_h} = \frac{2}{1} \rightarrow H_{Lh} = 2D_h \dots \dots \dots (1)$$

#### **B. CASQUETE ESFÉRICO.**

Conociendo el diámetro del hervidor, se puede calcular el volumen que ocupa el casquete esférico de salida de vapor.

**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

Considerando una altura de :  $h_{ce} = 15 \text{ cm}$

La ecuación: 
$$V_{ce} = \pi h_{ce}^2 \left( R - \frac{h_{ce}}{3} \right) \dots \dots \dots (2)$$

**C. VOLUMEN DEL HERVIDOR**

El volumen total del hervidor es igual al volumen inicial del agua ( $V_{H2O \text{ inic}}$ ) más el volumen del espacio del vapor ( $V_{VH2O}$ ):

$$V_{th} = V_{H2O.inic} + V_{vap.H2O} \dots \dots \dots (3)$$

NOTA: el volumen del cilindro del hervidor ( $V_{ch}$ ), debe ser llenado hasta aproximadamente  $\frac{3}{4}$  partes (75%) de la altura del cilindro que coincidirá con el nivel máximo, dejando el resto de espacio,  $\frac{1}{4}$  parte (25%), para recolección y acumulación de vapores.

**D. RELACIÓN ENTRE EL VOLUMEN DE AGUA EN EL HERVIDOR ( $V_{H2O \text{ inic}}$ ) Y EL VOLUMEN DEL VAPOR**

$$\frac{V_{H2O.inic}}{V_{vap.H2O}} = \frac{4}{1} \rightarrow V_{vap.H2O} = \frac{V_{H2O.inic}}{4} \dots \dots \dots (4)$$

$$V_{th} = V_{H2O.inic} + V_{vap.H2O}$$

**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

Reemplazando (4) en (3)

$$V_{th} = V_{H2O.inic} + \frac{V_{H2O.inic}}{4}$$

$$V_{th} = V_{H2O.inic} + 0.25V_{H2O.inic} \dots \dots \dots (5)$$

**E. VOLUMEN DEL CASQUETE ESFÉRICO (V<sub>c.e</sub>).**

Conociendo:  $D_h$   
 $h_{c.e}$

Aplicando la ecuación:  $V_{ce} = \pi h_{ce}^2 \left( R - \frac{h_{ce}}{3} \right)$

También:  $D_h = 2R_H \rightarrow R_h = \frac{D_h}{2}$

$$h_{c.e} = 15cm$$

**F. VOLUMEN DE LA PARTE CILÍNDRICA DEL HERVIDOR (V<sub>ch</sub>).**

Finalmente, conociendo el volumen total del hervidor (V<sub>th</sub>) y el volumen que ocupa el casquete esférico (V<sub>ce</sub>), se tiene:

$$V_{ch} = V_{th} - V_{c.e} \dots \dots \dots (6)$$

**G. ALTURA DE LA PARTE CILÍNDRICA DEL HERVIDOR (H<sub>ch</sub>).**

Conociendo la ecuación:  $V_{c.h} = 0.785D_{ch}^2 \cdot H_{ch} \dots \dots \dots (7)$

**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

Despejando: 
$$H_{ch} = \frac{V_{ch}}{0.785D_{ch}^2} \dots \dots \dots (8)$$

Desarrollando el diámetro del hervidor ( $D_h$ ), para el corte de la plancha de acero inoxidable, tenemos:

$$L_h = L_{ch} = \pi D_{ch}$$

Por lo tanto la planche se corta:  $L_c * H_c$

## **2.4 DISEÑO DEL CONDENSADOR DE CASCO Y HAZ DE TUBOS.**

Para el diseño del condensador multitubular es necesario establecer las condiciones del proceso.

Para nuestro casco:

Curso de los fluidos: Lado casco = agua corriente de caño  
Lado de los tubos = vapor de agua condensada

### **2.4.1 DISEÑO TÉRMICO DEL CONDESADOR MULTITUBULAR.**

El diseño térmico del condensador multitubular implica la determinación del área de transferencia de calor que se requiere para enfriar el vapor de agua proveniente del hervidor.

El volumen de vapor proveniente del hervidor es igual a:

$$V_{vapor} = 5litros = 0.005m^3$$

*Tesis: "Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana".*

### 2.4.1.1 DISEÑO DEL CASCO.

Por bibliografía en los destiladores se ha encontrado relaciones de:

$$\frac{H_{casco}}{D_{casco}} = \frac{2.5}{1} \rightarrow H_{casco} = 2.5D_{casco} \dots \dots \dots (9)$$

También:  $V_{casco} = 0.785D_{casco}^2 \cdot H_{casco} \dots \dots \dots (10)$

Reemplazando (1) en (2):  $V_{casco} = 0.785 * 0.25D_{casco}^3$

$$D_{casco} = \sqrt[3]{\frac{V_{casco}}{1.96}} \dots \dots \dots (11)$$

También:  $H_{casco} = 2.5D_{casco}$

### 2.4.1.2 DISEÑO DEL HAZ DE TUBOS.

En el diseño para aplicar el procedimiento general, se distinguen dos áreas: La de diseño o disponible.

#### A. ÁREA DE DISEÑO.

Es el área de la superficie de transmisión de calor que brindan todos los tubos de un intercambiador.

Se la calcula usando la relación:

$$A_d = N_t \cdot a_{Lt} \cdot L_t \dots \dots \dots (12)$$



**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

Dónde:

$A_d$  = área de diseño,  $m^2$

$N_t$  = N° de tubos del intercambiador

$a_{Lt}$  = área lateral unitaria de un tubo,  $m^2$

$L_t$  = longitud del tubo, m

## **B. ÁREA CALCULADA.**

Es el área que resulta en el cálculo.

Empleando la consabida ecuación de diseño:

$$Q = U_0 \cdot A \cdot \Delta tm \rightarrow A = \frac{Q}{U_0 \cdot \Delta tm} \dots \dots \dots (13)$$

Dónde:

$Q$  = Carga de calor, flujo térmico, kcal

$U_0$  = Coeficiente total exacto,  $kcal/m^2 \cdot h \cdot ^\circ c$

$\Delta tm$  = Diferencia real de temperatura,  $^\circ c$

## **C. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UN CONDENSADOR.**

- 1). Establecer las condiciones del proceso para el vapor condensado, así como para el medio de enfriamiento.
- 2). Efectuar el balance de energía para la condensación.

$$Q = m_{H_2O} C_{p_{H_2O}} \Delta t = m_{H_2O} \cdot \lambda_{vap} = U_0 \cdot A \cdot \Delta tm$$

- 3). Ajustar la temperatura de salida del agua d enfriamiento.
- 4). Calcular el caudal del agua.
- 5). Estimar la temperatura de .....en base a un caudal.

**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

- 6). Calcular la diferencia verdadera de temperatura, a partir de la diferencia de temperatura media logarítmica ( $\Delta t_m$ ).

Así: 
$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_{may} - \Delta t_{men}}{2.3 \log \frac{\Delta t_{may}}{\Delta t_{men}}} \text{ o } \Delta t_2 = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}}$$

- 7). Suponer un “ $U_0$ ”  
 8). Calcular el área requerida (calculada) en un primer tanteo.  
 9). Determinar el número de tubos por paso para mantener la velocidad lineal del medio de enfriamiento superior a la mínima.

En caso de emplearse  $H_2O$  de caño, se recomienda que dicha velocidad se encuentre entre 3 a 6 pies/s (0.9 a 1.83 m/s).

- 10). Elegir una unidad de intercambiador de calor estándar y definir tipo de unidad, n° de tubos, arreglo, diámetro del casco, etc.

Para nuestro casco:

Diámetro del casco (interior), mm	N° de tubos	Longitud de los tubos, m	Área de superficie del intercambiador de calor
150 mm = 15 cm	17	100 mm = 1 m	1m <sup>2</sup>

- 11). Calcular el área de diseño ( $A_d$ ).  
 12). Comparar si el área de diseño (o disponible) es igual o mayor al área calculada (o requerida)  
 13). Si el resultado de la comparación anterior es conforme,

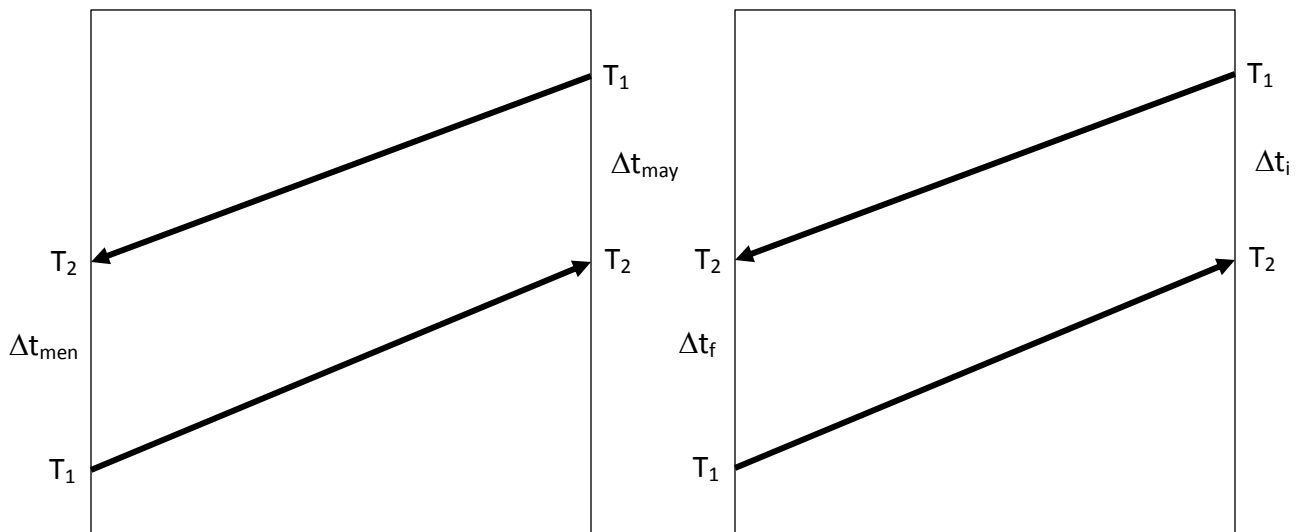
Para nuestro casco:  $A_d > A_c$

Entonces quiere decir, que el intercambio PROPUESTO es SATISFACTORIO.

**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

Valores aproximados de los coeficientes de transmisión de calor (kcal/m <sup>2</sup> .h.°C)		
Tipo de intercambio de calor	Movimiento forzado	Movimiento libre
De vapor en condensación a agua (condensador-calentador)	688 - 3010	258 – 1032

### FLUJO DE CONTRACORRIENTE

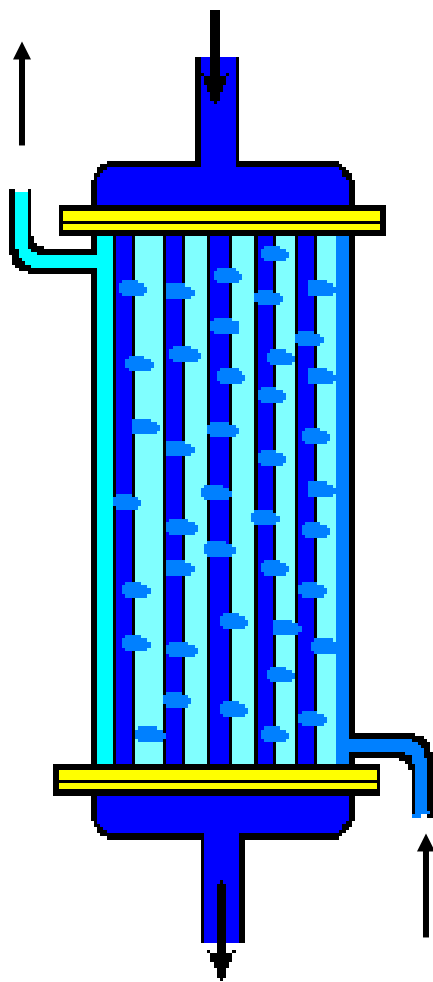


$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_{may} - \Delta t_{men}}{2.3 \log \frac{\Delta t_{may}}{\Delta t_{men}}}$$

$$\Delta t_2 = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}}$$

*Tesis: "Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana".*

CONDENSADOR



*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

## **CAPÍTULO III: SELECCIÓN DEL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO.**

### **3. SELECCIÓN DE MATERIALES.**

La corrosión es la causa principal del deterioro de los equipos de la industria química. La mayoría de destrucciones pueden prevenirse escogiendo adecuadamente los materiales dentro de la gama muy amplia que dispone el ingeniero. Entre ellos se encuentran una gran variedad de metales, plásticos, materiales cerámicos y pinturas.

En las plantas que operan en continuo, las pérdidas en producción debido a deterioros por corrosión son tan costosas que justifican los materiales más costosos. En instalaciones más sencillas, puede ser más económico seleccionar materiales de menor costo y programar limpiezas frecuentes de los equipos para prevenir la corrosión.

Para la selección del material a utilizar en los distintos equipos dentro de una planta es necesario tomar en cuenta los siguientes factores:

- Tamaño de planta.
- Condiciones de trabajo.
- Tipo de corrosión.
- Adecuada información de los materiales que se puedan escoger.
- Características frente a la corrosión.
- Cuestiones económicas.

Para asegurar la solución más económica en problemas de corrosión, es necesario estudiar el tipo de corrosión que tiene lugar y conocer las condiciones a

***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

las que opera el equipo, tanto las normales como los posibles casos circunstanciales; como en paradas o puestas en marcha. No suele ser interesante económicamente diseñar una planta que esté totalmente libre de corrosión. Velocidades de 0,1 mm/año y hasta 6 mm/año suelen ser tolerables, dependiendo del costo de los materiales alternativos; y del grado de contaminación que puede aceptarse. En caso de temperaturas muy elevadas, es necesario utilizar el teflón, a pesar de su costo muy elevado y de su difícil aplicación y procesado.

A menudo la corrosión puede ser atendida mejor cuidando pequeños detalles en el diseño que seleccionando los materiales más resistentes y costosos. Algunos ácidos concentrados en frío suelen transportarse en tubos de acero al carbono, siempre que la velocidad de circulación sea inferior a 1 m/s. Debido a ello, es mejor utilizar tuberías de acero al carbono de diámetros grandes que de acero inoxidable de diámetros pequeños.

La corrosión por picaduras de aceros inoxidables en condensadores se puede prevenir eliminando los restos de productos remanentes cuando no se utiliza el equipo. Por lo general en los condensadores no se requiere materiales sumamente resistentes a la corrosión, ya que el condensado es un líquido de alta pureza.

El acero inoxidable AISI 304 es el más versátil y uno de los aceros inoxidables de la serie 300. Tiene excelente propiedades para el conformado y soldado. Se puede usar para aplicaciones de embutición profunda, de rolado y de corte.

Tiene buenas características para la soldadura, no requiere recocido tras la soldadura para que se desempeñe bien en una amplia gama de condiciones corrosivas. La resistencia a la corrosión es excelente, excediendo al tipo 302 en

***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

una amplia variedad de ambientes corrosivos incluyendo productos de petróleo calientes o con vapores de combustión de gases.

Tiene excelente resistencia a la corrosión en servicio intermitente hasta 870 °C y en servicio continuo hasta 925 °C. No se recomienda para uso continuo entre 425 – 860 °C, pero se desempeña muy bien por debajo y por encima de ese rango.

El uso que se le da a este material es muy variado; se destacan los equipos para procesamiento de alimentos, enfriadores de leche, intercambiadores de calor, contenedores de productos químicos, tanques para almacenamiento de vinos y cervezas así como también para partes de extintores de fuego.

El acero inoxidable AISI 304 presenta las siguientes características:

Norma de Construcción : ASTM A 276

Propiedades Mecánicas : Resistencia a la fluencia 310 MPa (45 KSI)  
Resistencia Máxima 620 MPa (90 KSI)  
Elongación 30% (en 50 mm)  
Reducción de área 40%  
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)

Propiedades Físicas : Densidad 7.8 g/cm<sup>3</sup> (0.28 lb/in<sup>3</sup>)

Propiedades Químicas : 0.08 % C mín  
2.00 % Mn  
1.00 % Si  
18.0 – 20.0 % Cr  
8.0 – 10.5 % Ni  
0.045 % P  
0.03 % S

***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

Después de seleccionar los materiales para el equipo, hay que asegurarse que estos han sido fabricados con las especificaciones correctas. Las tuberías soldadas son menos costosas que las sin costuras, pero en situaciones corrosivas hay que especificar el tratamiento térmico a que debe someterse el material después de una soldadura. Es indispensable adjuntar un peligro de condiciones detallada para cada caso.

Con el objeto de revisar si los materiales de distintos equipos e instalaciones son los correctos, es aconsejable disponer de una serie de pruebas de fácil aplicación in situ. Entre ellos se encuentran procedimientos químicos, chispa, mecánicos, termoeléctricos, entre otros.

Los procedimientos químicos de evaluación de materiales incluyen todas aquellas pruebas en las que se toman en consideración las posibles sustancias que podrían reaccionar con el material en cuestión y reducir su vida útil.

Los métodos mecánicos de evaluación de materiales son aquellos en los que el material es puesto a prueba bajo una serie de tensiones mecánicas, ya sea por el proceso o bien por los distintos componentes del equipo. En general, el equipo de destilación en su totalidad, se encuentra sometido al poder corrosivo del vapor de agua, de esta forma se determinó la necesidad de construirlo con un material con alta resistencia a la corrosión.

Los métodos termoeléctricos son aquellos en los que el material se ve sometido a corriente eléctrica y a temperaturas elevadas. El fin de los métodos termoeléctricos es evaluar el grado de expansión que tiene el material a temperaturas elevadas, así como su resistencia al choque térmico. Por lo que



***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

estas pruebas es aconsejable realizarla antes de la instalación del equipo; con el fin de evitar fallas durante su funcionamiento.

Basado en los procedimientos anteriormente detallados es conveniente utilizar métodos alternativos para disminuir la velocidad de corrosión del equipo. Entre estos métodos se puede mencionar el uso de recubrimientos o pinturas especiales que aislen la superficie metálica y eviten la corrosión. Otro de los métodos con amplia difusión en la actualidad es la protección catódica, la cual consiste en conectar un ánodo de sacrificio conectado a la pierna del destilador y del condensador, de tal manera que ambos componentes del equipo funcionen como cátodo y ceda su materia oxidada a la pieza metálica a la que está conectada.

La protección catódica no elimina la corrosión, éste remueve la corrosión de la estructura a ser protegida y la concentra en un punto donde se descarga la corriente. Para su funcionamiento práctico requiere de un electrodo auxiliar, una fuente de corriente continua cuyo terminal positivo se conecta al electrodo auxiliar y el terminal negativo a la estructura a proteger, fluyendo la corriente desde el electrodo a través del electrólito llegando a la estructura. Influyen en los detalles de diseño y construcción parámetro de geometría y tamaño de la estructura y de los ánodos, la resistividad del medio electrólito, la fuente de corriente.

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

## **CAPÍTULO IV: CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL EQUIPO.**

### **4.1 MATERIALES EMPLEADOS.**

- Plancha de acero inoxidable de 2mm de espesor.
- Tubo de acero inoxidable de 2” de diámetro.
- Tubos de acero inoxidable de ¼” de diámetro.
- Tubo de acero inoxidable de 1 ½ ” de diámetro.
- Bridas de acero inoxidable de ¾”.
- Pernos de acero inoxidable de 5/16” x 1”.
- Válvulas de acero inoxidable de 1” de diámetro.
- Tuercas de acero inoxidable de 2” con rosca.
- Soldadura inoxidable de 3/32” y 1/8’.
- Codos, niples, unión comercial, etc.
- Caja base de calentamiento, mediante resistencias regulables y calentamiento directo.

### **4.2 DESCRIPCIÓN Y ESPECIFICACIONES DE LOS COMPONENTES DEL EQUIPO.**

El esquema general que ilustra las partes que comprende el equipo modular de destilación diferencial de agua, se muestra a continuación.

- 1) Hervidor.
- 2) Condensador multitubular.
- 3) Recipiente para el destilado.
- 4) Conducto de flujo líquido en ebullición.
- 5) Conducto de paso del vapor hacia el condensador.
- 6) Alimentación de la carga de entrada.

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

7) Salida del residuo.

#### **4.2.1 HERVIDOR-EVAPORADOR.**

- Los hervidores – evaporadores cambian una fase líquida a una fase vapor mediante calentamiento.
- La ebullición es un proceso de transformación de un líquido a vapor.
- La ebullición es de gran importancia en la generación de energía.
- El líquido a ebullición suele estar encerrado en un recipiente que suministra el calor para la ebullición.
- Las superficies de calentamiento pueden funcionar con electricidad o bien con fluido caliente.
- Durante la ebullición, la temperatura del líquido es el punto de ebullición de esta a la presión con la que se opera el equipo.
- La temperatura de calentamiento debe estar a una temperatura superior a dicho punto de ebullición.
- Una condición necesaria para que ocurra la ebullición es que la temperatura de la superficie que se calienta “exceda” a la temperatura de saturación del líquido.

#### **4.2.2 CONDENSADORES.**

- Los condensadores cambian una fase vapor a una fase líquida mediante el enfriamiento.
- El condensador (intercambiador de casco y tubo) consta de las siguientes partes más importantes:
  - a) **El casco.-** Es la envoltura cilíndrica de acero inoxidable, que protege el haz de tubos.
  - b) **El haz de tubos.-** Es el conjunto de tubos que se emplean dentro del casco.
- Los tubos son lisos.

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

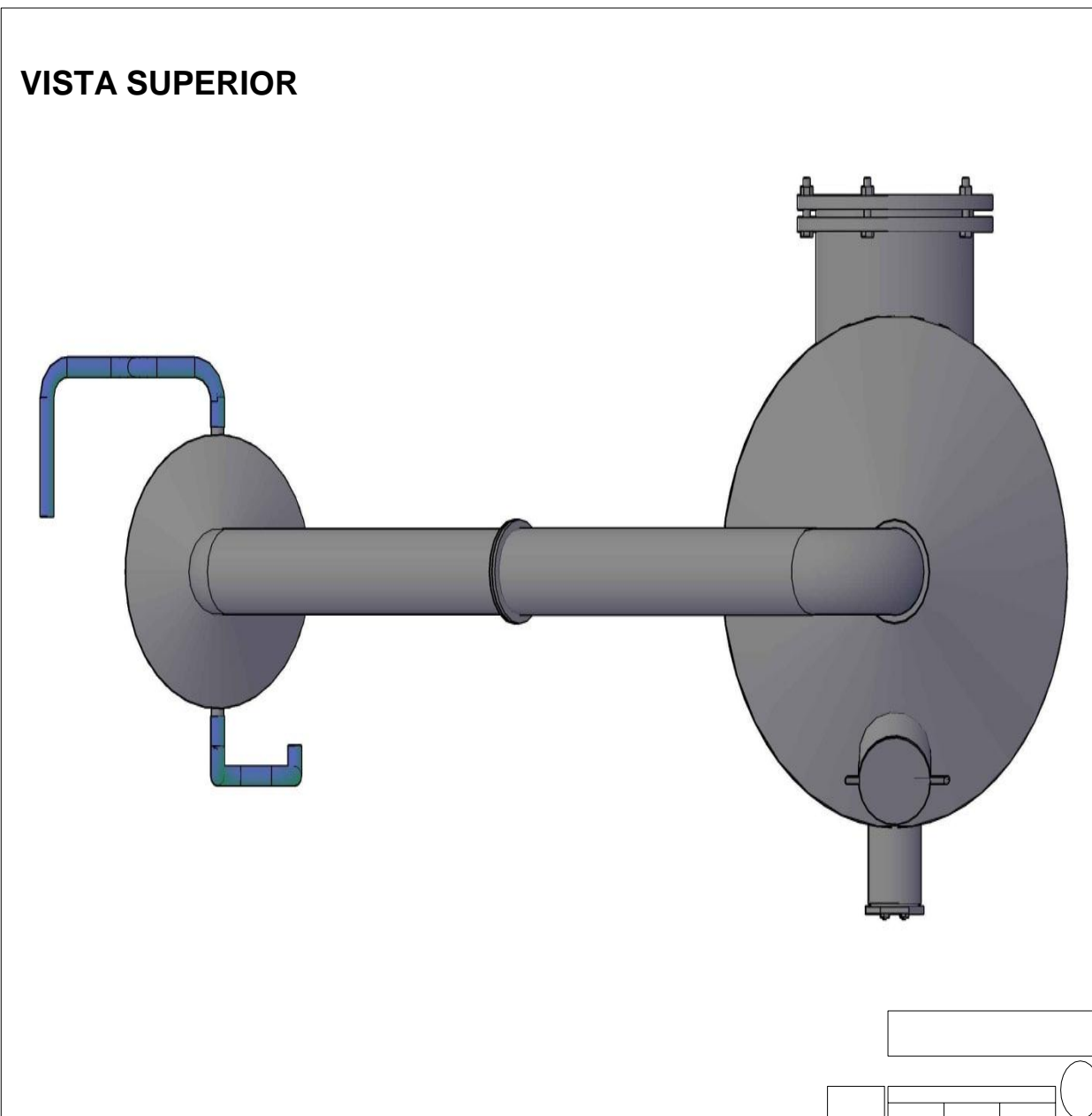
- La disposición de los tubos de haz siguen en el caso nuestro un arreglo triangular.

#### **4.2.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL HAZ DE TUBOS**

- **Curso de los Fluidos.-** Los criterios para la selección del curso de las corrientes de los Fluidos son los siguientes:
  - **Lado de los tubos.-** Por este lado circula el fluido más limpio, el de menor resistencia a la incrustación, los vapores, o el fluido que se encuentra en menor presión.
  - **Lado del casco.-** Por este lado se usan las situaciones contrarias, es decir, debe circular el fluido más sucio, el de mayor resistencia a la incrustación, el líquido que se halla a mayor presión.

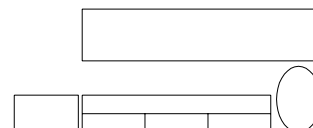
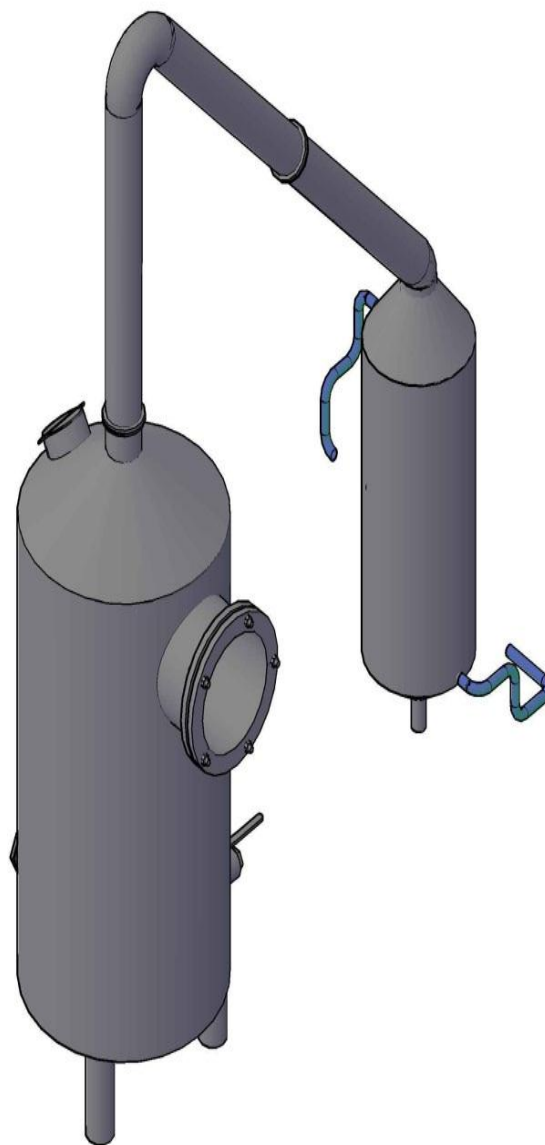
*Tesis: "Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana".*

### 4.3 ENSAMBLAJE Y DESPIECE.

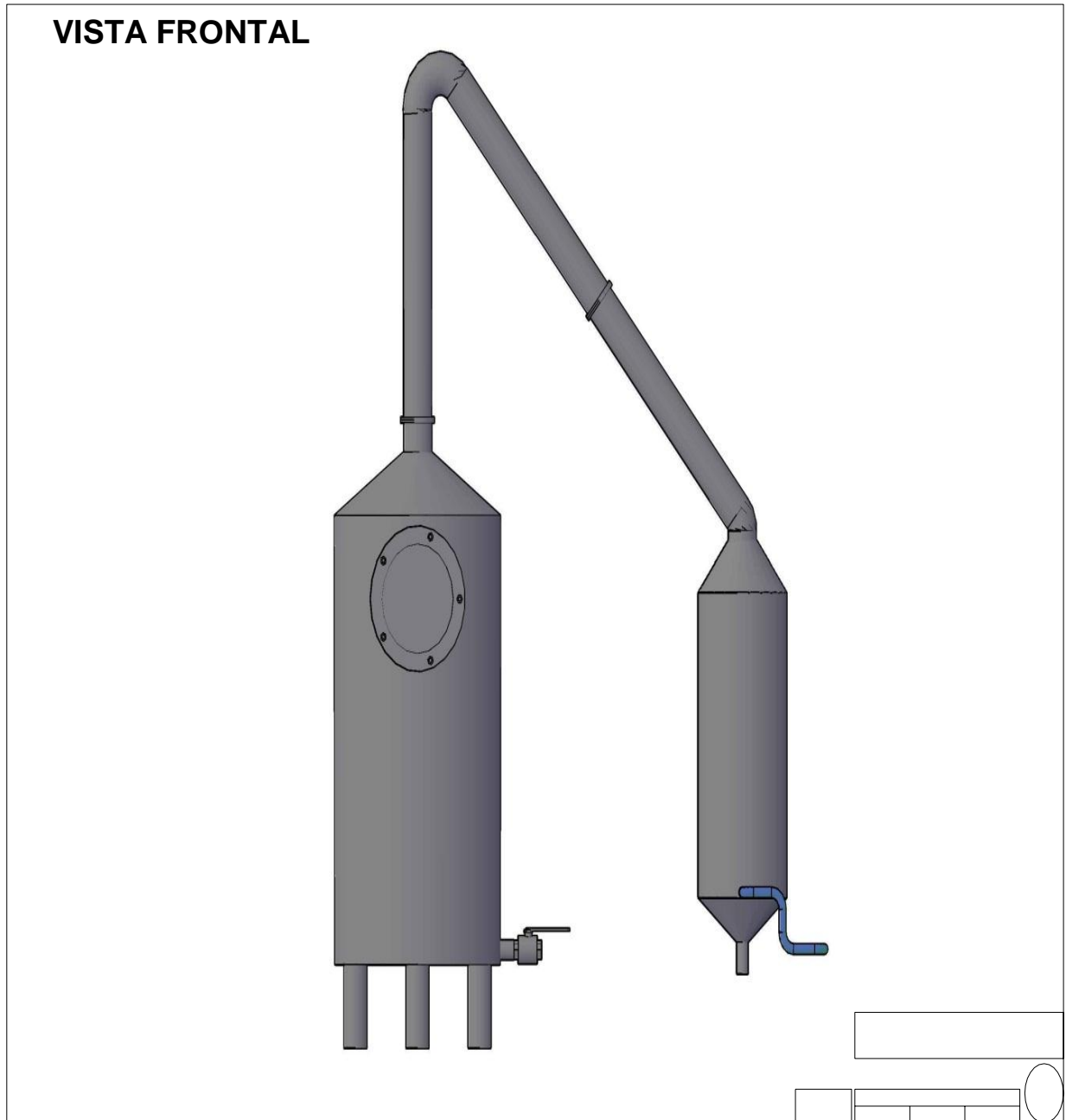


**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

**VISTA EN 3D**

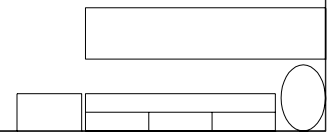
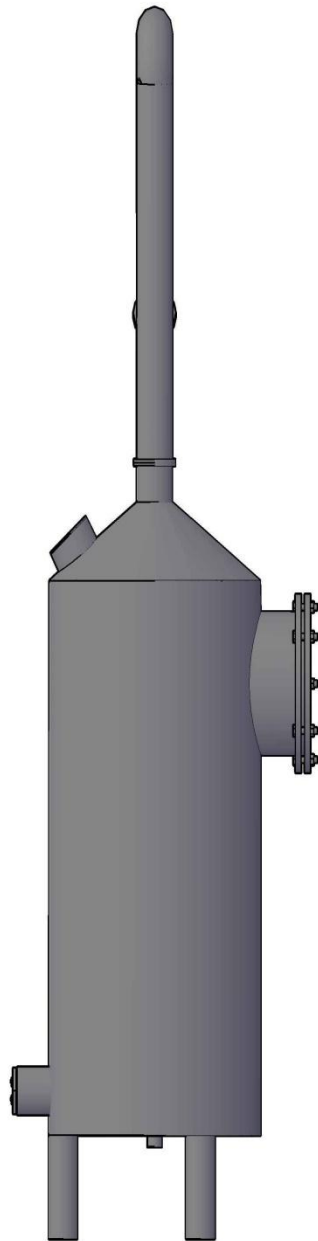


**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**



**Tesis: "Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana".**

**VISTA LATERAL**





*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

#### **4.4 DISPOSICIÓN ADECUADA DEL EQUIPO EN EL LABORATORIO.**

Para trabajar cómodamente, es necesario que el destilador se encuentre en un lugar cerrado (planta piloto de alcohol) y requiere aproximadamente de 2m<sup>2</sup> con instalaciones de corriente monofásica cuyo voltaje requerido es 220V.

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

## **CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE CONTROL DEL EQUIPO.**

### **5.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.**

El funcionamiento del destilador es posible gracias a la energía eléctrica. Como bien se sabe el destilador cuenta con dos resistencias eléctricas de 2000 W cada uno, las cuales están conectadas en paralelo.

Estas dos resistencias disipan calor; una parte de este calor es transferido al hervidor (haciendo variar la temperatura interna del agua) y otra parte se disipa a través de las paredes del hervidor.

A la razón de cambio con la cual la resistencia disipa calor, se le llama potencia de la resistencia. Esta potencia será constante, pues se tiene un circuito eléctrico resistivo, en el cual las variaciones de voltaje y amperaje son mínimas. Por lo tanto si la potencia es el producto del voltaje por el amperaje, entonces, la potencia también tendrá variaciones mínimas (es decir prácticamente constante).

### **5.2 ENSAYOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.**

Se ha realizado cinco pruebas de funcionamiento del equipo utilizando agua potable procedente de la red pública, de lo cual se pudo notar que el agua presente en el hervidor llegó a vaporizarse a los 100°C.

Esto se indica mejor en la sección siguiente

### **5.3 CÁLCULO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.**

Al iniciar la prueba se hizo, las medidas de: volumen de agua de 30 litros a una temperatura de 29° C.

*Tesis: "Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana".*

Posteriormente se registró la temperatura del agua en el hervidor en intervalos de 5min, hasta que el agua presente en la misma empiece a evaporarse.

Estas temperaturas fueron:

#### **CUADRO 1: MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA HASTA LA EBULLICIÓN DEL AGUA**

<b>N°</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
1	0	29
2	5	37
3	10	57
4	15	67
5	20	77
6	25	87
7	30	100

Fuente: Elaboración propia - Autores

#### **5.4 DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.**

Temperatura inicial de carga : 29 °C  
Temperatura de ebullición : 100 °C  
Temperatura de salida del destilado : 30 °C  
Temperatura de salida del agua : 33 °C  
Temperatura del agua al entrar : 37.5 °C  
en el condensador

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

## **5.5 MANUAL DE INSTRUCCIONES PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.**

- Para empezar a utilizar el hervidor, es necesario saber la cantidad de agua que se va a usar. Por ello se procede a llenar 30 litros de agua en un recipiente en un con capacidad para 40 litros para luego poder vaciar estos 30 litros en el hervidor.
- Se mide la temperatura inicial del agua al entrar al destilador.
- Se verifica que las mangueras, que están conectadas al condensador, estén completamente cerradas con abrazaderas para que de este modo se prevengan fugas durante el funcionamiento del equipo.
- Se verifica que el tanque de agua en la planta de alcohol esté lleno y que el sistema eléctrico esté en óptimas condiciones.
- Se verifica que la llave térmica no presente desperfecto alguno.
- Una vez verificada la llave térmica se procede a encender el equipo, levantando la llave de modo que las resistencias empiecen a calentar el agua en el destilador.
- Se abren los puertos de agua para que el agua fluya por el por condensador.
- Se controla la temperatura cada 5 min hasta que el agua llegue a su punto de ebullición.
- Se controla el tiempo que demora el agua en evaporarse.
- Se mide la temperatura de ebullición en el destilador.
- Se mide la temperatura del agua al entrar al condensador.
- Se mide la temperatura del agua destilada.
- Se mide la temperatura del agua que sale del condensador.
- Se desecha los primero 4 litros del destilado.
- Se mide el tiempo que demora en llenarse un envase de 4 litros con agua destilada.

***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

- Se apaga el equipo al cabo de una hora.
- Se baja la llave térmica.
- Se cierra las llaves para el paso de agua.
- Se deja que el destilador se enfríen por el espacio de una hora.
- Se lava el equipo para desechar todas las impurezas que hayan quedado.
- Se lleva un litro de muestra de agua destilada al laboratorio de análisis químico para medir su conductividad y Ph y comprobar que el agua obtenida es verdaderamente agua destilada.

## **5.6 ASPECTOS DE HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL.**

- La limpieza del equipo es muy esencial, ya que después de cada operación todo el equipo necesita ser lavado, para tal caso se hace una corrida con agua por espacio de unos 30 minutos después de que empiece a hervir el agua, para eliminar los olores de la extracción anterior, ya que este queda siempre impregnado en partes del equipo y la tubería.
- Esperar al menos unos 30 minutos de enfriado el equipo para hacer la limpieza, drenando el destilador con la válvula que tiene en su parte inferior
- Verificar las empaquetaduras y las abrazaderas que conectan las partes del equipo estén bien conectadas y ajustadas para evitar fugas de vapor.
- Al realizar la práctica en el destilador, se debe utilizar la vestimenta apropiada, es decir se debe utilizar mandil, protección visual, guantes para altas temperaturas y zapatos de seguridad.
- No se debe estar con las manos mojadas, al momento que se va a levantar o bajar la llave térmica
- No se debe tocar con las manos mojadas la superficie del evaporador, cuando esté funcionando

***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

- Durante el tiempo que se produce la ebullición, es recomendable estar por lo menos a un metro de distancia del evaporador, esto es para evitar quemarse con el vapor que sale por la parte superior del evaporador.
- Mantenerse a una distancia prudencial del equipo ya que no se encuentra aislado y se puede sufrir quemaduras.

## **5.7 POSIBILIDADES DE AUTOMATIZAR.**

El laboratorio de operaciones y procesos unitarios de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana cuenta con equipos producto del diseño y construcción como trabajos de tesis en los cuales se realiza prácticas de los distintos procesos y operaciones unitarias de la ingeniería química, sin embargo, muchos de ellos son utilizados mediante un control manual lo cual no permite obtener resultados homogéneos de los distintos parámetros de operación de cada equipo. En el caso del equipo de destilación de agua se debe medir permanentemente valores de presión, temperatura y flujo de condensado, lo cual requiere insertar componentes al sistema que permitan controlar y mantener adecuadamente estos parámetros durante su funcionamiento y para ello es posible automatizar el sistema utilizando componentes electrónicos como pueden ser dos micro controladores (PIC18F452) que se encarguen de realizar el control de dichos parámetros que luego la información medida puedan ser procesados en una computadora utilizando un lenguaje de programación adecuado. Luego la comunicación entre el micro controlador y la computadora se realiza a través del puerto serial por medio de un interfaz (MAX232), usando la información en un ambiente computacional que sea lo más conocido posible (LabVIEW) con cualquier usuario.

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

## **CAPÍTULO VI: ANALISIS DE COSTOS**

### **a) COSTO DE DISEÑO.**

**CUADRO N° 01: COSTO DE DISEÑO**

<b>ARTÍCULO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNT (S/.)</b>	<b>P. TOTAL (S/.)</b>
Dibujo del destilador	1	120	120
Dibujo del condensador	1	100	100
Dibujo del cuello de cisne	1	80	80
Cálculos de diseño	-	800	800
<b>TOTAL</b>			<b>1100</b>

Fuente: Elaboración propia - Autores

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

## b) COSTO DE MATERIALES.

**CUADRO N° 02: COSTO DE MATERIALES**

ARTÍCULO	CANTIDAD	P. UNITA (S/.)	P. TOTAL (S/.)
Plancha de acero inoxidable	1	1300	1500
Codo de acero inoxidable	2	50	100
Válvula esférica	1	85	85
Tubo de acero inoxidable	1	150	150
Resistencia eléctrica	2	30	60
Cable automotriz	6 metros	6	36
Cable asbestado	6 metros	6	36
Llave termomagnética	1	35	35
Silicona para alta temperatura	1	20	20
Soldadura	1 Kilo	65	65
<b>TOTAL</b>			<b>2087</b>

Fuente: Elaboración propia –Autores



*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

### c) COSTO DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN.

#### CUADRO N° 03: COSTO DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN

	P. UNITA (S/.)	P. TOTAL (S/.)
Taller de metal mecánica	850	850
Electricista	150	150
Gasfitero	150	150
<b>TOTAL</b>		<b>1150</b>

Fuente: Elaboración propia - Autores

### d) COSTO DE ENSAYOS Y PRUEBA

Se realizó 5 pruebas y se utilizó  $30 \times 5 = 150$  litros =  $0.15 \text{ m}^3$  de agua en el destilador y  $4.21 \text{ m}^3$  de agua para el sistema de enfriamiento dando un total de  $4.36 \text{ m}^3$  utilizado en total.

#### CUADRO N° 04: COSTO DE ENSAYOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

ARTÍCULO	CANTIDAD	P. UNT (S/m <sup>3</sup> y S/kw)	P. TOTAL (S/.)
Agua	$4.36 \text{ m}^3$	1	4.4
Electricidad	4000W	6.43	26
<b>TOTAL</b>			<b>30.4</b>

Fuente: Elaboración propia – Autores

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

### e) COSTO DE MATERIAL INFORMÁTICO.

**CUADRO N°5: COSTO DE MATERIAL INFORMÁTICO**

ARTÍCULO	P.UNT (S./)
Internet	70
<b>TOTAL</b>	<b>70</b>

Fuente: Elaboración propia - Autores

### f) OTROS COSTOS.

**CUADRO N° 06: OTROS COSTOS**

ARTÍCULO	CANTIDAD (JUEGOS)	P. UNT (S./)	P. TOTAL (S./)
Copias	5	8	40
Encuadernados	8	20	160
<b>TOTAL</b>			<b>200</b>

Fuente: Elaboración propia – Autores

### g) COSTO POR ASESORAMIENTO

El costo por concepto de asesoramiento es 1 362.6 soles

### ➤ COSTO TOTAL

Es la suma total de los costos de diseño, de los materiales, de instalación del equipo, de los costos de operación, de otros gastos y del asesoramiento.

***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

Costo total = costo de diseño + costo material + costo de construcción e instalación + costo operación + costos varios + costo de asesoramiento

Costo total = 1100+2087+1150+30.4+70+200+1362.6

**Costo total = 6 000 soles**

*Tesis: "Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana".*

## **CAPÍTULO VII: RESULTADOS Y DISCUSIONES**

Entre las principales condiciones de operación, en esta operación de destilación Batch, tenemos.

Temperatura inicial de carga	:	29 °C
Temperatura de ebullición	:	100 °C
Temperatura de salida del destilado	:	30 °C
Temperatura de alimentación del agua	:	29 °C
Temperatura de salida del agua	:	33 °C
Temperatura del agua al entrar en el condensador	:	37.5 °C

### **A) CÁLCULOS EFECUTADOS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.**

Consumo de calor transmitido al agua para poder llevar a ebullición, el volumen de 30 lt.

$$Q_{calor} = m_{H_2O} C_{p_{H_2O}} (t_2 - t_1) \dots \dots \dots (1)$$

$$Q_{calor} = 30Kg \cdot \frac{1Kcal}{Kg^{\circ}C} (100 - 29)^{\circ}C$$

$$Q_{calor} = 2130 Kcal$$

$$30lt = 30Kg$$

$$C_{p_{H_2O}} = \frac{1Kcal}{Kg^{\circ}C}$$

**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

$Q_{calor}$  = Consumo de calor transmitido para calentar  $H_2O$  desde  $29^\circ C$  hasta la temperatura de evaporación de  $100^\circ C$ .

## **B) CONSUMO DE CALOR PARA LA EVAPORACIÓN A $100^\circ C$ .**

$$Q_{ev} = m_{H_2O} \lambda_v \dots \dots \dots (2) \quad \text{Para } 100^\circ C \rightarrow \lambda_v = 539 \frac{Kcal}{Kg}$$

$$Q_{ev} = 30kg \cdot 539 \frac{Kcal}{Kg}$$

$$Q_{ev} = 16\ 170\ Kcal$$

## **C) CONSUMO TOTAL DE CALOR.**

$$Q_{TOTAL} = Q_{calor} + Q_{ev}$$

Reemplazando:

$$Q_{TOTAL} = (2130 + 16170)Kcal$$

$$Q_{TOTAL} = 18\ 300\ Kcal$$

## **D) CÁLCULO DE LA POTENCIA.**

Tomando en consideración que para llevar a ebullición y luego evaporación el volumen a destilar de 30 lt, se necesita una potencia de:

$$1 \frac{Kcal}{h} = 1.163\ W \quad \rightarrow 1\ Kcal = 1.163W \cdot h$$

**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

Luego:

$$1 \text{ Kcal} - 1.163 \text{ Wxh}$$

$$18\,300 \text{ Kcal} - X$$

$$X = 15\,735.2 \text{ W.h}$$

Como quiera que el tiempo de operación es de 5 horas.

Entonces:

$$\frac{15\,735.2 \text{ W.h}}{5h} = 3\,147 \text{ W}$$

$$\therefore \text{Potencia} = 3\,147 \text{ W}$$

**Conclusión:** Para poder llevar a ebullición el volumen a destilar, se necesita una potencia mínima de 3 147 Watts.

Por ello se colocará dos resistencias de 2 000 W para tener una potencia total de 4 000W.

## **E) HERVIDOR.**

### **1) CÁLCULO DEL DIÁMETRO ( $D_h$ )**

Volumen inicial del Hervidor:

$$V_h = 30 \text{ lt} = 30\,000 \text{ cm}^3 \dots \dots \dots (1)$$

También de diseño:  $H_h = 2D_h \dots \dots \dots (2)$

**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

Luego: 
$$V_h = 0.785 D_h^2 \cdot H_h \dots \dots \dots (3)$$

Reemplazando (2) en (3): 
$$V_h = 0.785 D_h^2 \cdot 2D_h$$

$$V_h = 1.57 D_h^3 \rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{V_h}{1.57}}$$

Reemplazando valores: 
$$D_h = \sqrt[3]{\frac{25\,000\text{ cm}^3}{1.57}}$$

$$\therefore D_h = 27\text{ cm} \dots \dots \dots (4)$$

También:

Relación entre el Volumen Inicial del Hervidor y el Volumen Total del Hervidor.

$$V_{th} = V_{H_2O\text{ inicial}} + V_{vapor}$$

Sabemos que:

$$V_{vapor} = \frac{V_{H_2O\text{ inicial}}}{4}$$

Entonces:

$$V_{th} = V_{H_2O\text{ inicial}} + \frac{V_{H_2O\text{ inicial}}}{4}$$

**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

Reemplazando valores:

$$V_{th} = 30 \text{ lt} + 0.25 \times 30 \text{ lt}$$

$$V_{th} = 30 \text{ lt} + 7.5 \text{ lt}$$

$$V_{th} = 37.5 \text{ lt}$$

## **2) VOLUMEN DEL CASQUETE ESFÉRICO ( $V_{ce}$ ).**

La ecuación:

$$V_{ce} = \pi h_{ce}^2 \left( R - \frac{h}{3} \right)$$

Datos:  $h_{ce} = 15 \text{ cm}$

$R_h = 12.5 \text{ cm}$

Reemplazando valores:

$$V_{ce} = 3.14 \times (15 \text{ cm})^2 \left( 12.5 \text{ cm} - \frac{15 \text{ cm}}{3} \right)$$

$$V_{ce} = 3.14 \times 225 \text{ cm}^2 (7.5 \text{ cm})$$

$$V_{ce} = 5\,299 \text{ cm}^3 \approx 5.3 \text{ lt}$$

$$\therefore V_{ce} = 5.3 \text{ lt}$$

Finalmente teniendo el Volumen Total del Hervidor ( $V_{th}$ ) y el volumen que ocupa el casquete esférico ( $V_{ce}$ ) se tendrá:

## **3) VOLUMEN DE LA PARTE CILÍNDRICA.**

$$V_{pc} = V_{th} - V_{ce}$$

$$V_{pc} = (37.5 - 5.3) \text{ lt}$$



*Tesis: "Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana".*

$$V_{pc} = 32.2 \text{ lt}$$

$$\therefore V_{pc} = 32.2 \text{ lt}$$

#### 4) CÁLCULO DE LA ALTURA DEL HERVIDOR ALTURA DE LA PARTE CILÍNDRICA.

Sabemos que:  $V_{pc} = 0.785 D_h^2 \cdot H_{pc}$

Despejando:  $H_{pc} = \frac{V_{pc}}{0.785 D_h^2}$

Reemplazando valores:

$$H_{pc} = \frac{32\,200 \text{ cm}^3}{0.785 (27 \text{ cm})^2} = \frac{32\,200 \text{ cm}^3}{572.265 \text{ cm}^2}$$

$$H_{pc} = 56.3 \text{ cm}$$

$$\therefore H_{pc} = 56.3 \text{ cm}$$

Desarrollando el Diámetro del hervidor ( $D_h$ ) para el corte de la plancha de acero inoxidable:

$$L_p = \pi D_h = 3.14 \times 27 \text{ cm}$$

$$L_{plancha} = 84.78 \text{ cm}$$

$\therefore$  La plancha se cortó:  $L_p = 84.78 \text{ cm} \rightarrow L_p \cdot H_{pc} = 84.78 \text{ cm} \times 56.3 \text{ cm}$

$$H_{pc} = 56.3 \text{ cm}$$

*Tesis: "Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana".*

## 5) CANTIDAD DE AGUA EN EL HERVIDOR

$$V = 37.5 \text{ lt} \rightarrow 37.5 \times 0.75 = 30.0 \text{ lt (H}_2\text{O líquida)}$$

$$37.5 \times 0.25 = 7.5 \text{ lt (Vapor de H}_2\text{O)}$$

En conclusión se llenará el Hervidor hasta **30 litros** para un proceso de operación de 5 horas.

## F) CONDENSADOR MULTITUBULAR.

### 6) CÁLCULO DEL CONDENSADOR DE CASCO Y HAZ DE TUBOS CÁLCULO DEL CASCO.

Para el Volumen del Casco se toma un 25% (1/4 parte) del volumen inicial proveniente del hervidor.

Por lo tanto:  $V_{vapor} = 30 \text{ lt} \times 0.25 = 7.5 \text{ lt}$

$$\rightarrow V_{vapor} = 7.5 \text{ lt} = 0.0075 \text{ m}^3$$

Asumiendo una relación:  $\frac{H_{casco}}{D_{casco}} = \frac{2.5}{1} \rightarrow H_{casco} = 2.5 D_{casco}$

$$\therefore H_{casco} = 2.5 D_{casco}$$

La ecuación:  $V_{casco} = 0.785 D_{casco}^2 \times H_{casco}$

Reemplazando valores:  $V_{casco} = 0.785 \times 2.5 D_{casco}^3$

$$D_{casco} = \sqrt[3]{\frac{V_{casco}}{1.96}} = \sqrt[3]{\frac{0.0075 \text{ m}^3}{1.96}} = \sqrt[3]{0.0038 \text{ m}^3}$$

$$D_{casco} = 0.1564 \text{ m} = 15.64 \text{ cm}$$

**Tesis: "Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana".**

$$\therefore D_{casco} \approx 16 \text{ cm}$$

Como:  $H_{casco} = 2.5 D_{casco} \rightarrow H_{casco} = 2.5 \times 16 \text{ cm}$

$$H_{casco} = 40 \text{ cm}$$

## **G) CÁLCULO DEL HAZ DE TUBOS .**

### **7) BALANCE DE ENERGIA**

La carga Térmica del Condensador en 5 horas de operación será:

a)

$$Q_1 = m_{H_2O} C_{p_{H_2O}} (t_{ev} - t_{cond})$$

$$Q_1 = 30 \text{ kg} \times \frac{1 \text{ Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (100 - 37.5)^\circ\text{C}$$

$$Q_1 = 1875 \text{ Kcal}$$

Para condensar el Vapor, convirtiéndolo en líquido, debe extraerse la siguiente Cantidad de calor:

b)

$$Q_2 = m_{H_2O} \lambda_v$$

$$Q_2 = 30 \text{ kg} \times 561.11 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} ; A \quad 62.5^\circ\text{C} \rightarrow \lambda_v = 561.11 \frac{\text{kcal}}{\text{Kg}}$$

$$Q_2 = 16833.3 \text{ Kcal}$$

**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

c)

$$\therefore Q = Q_1 + Q_2 = (1\ 875 + 16\ 833.3)Kcal$$

$$Q = 18\ 708.3\ Kcal \rightarrow \text{Cantidad de Calor que debe extraer el } H_2O$$

d) Partiendo de la condición de que la diferencia de temperatura del vapor y del H<sub>2</sub>O en cualquier sección del condensador **NO** debe ser mayor de 5°C, tomamos la temperatura en aquella sección del aparato que comienza la condensación del vapor y existe la mínima diferencia de temperaturas igual a:

$$(37.5 - 5)^\circ C = 32.5^\circ C / \text{Medición real} = 33^\circ C$$

e) Entonces el consumo necesario de H<sub>2</sub>O puede hallarse de la ecuación:

$$Q_2 = m_{H_2O} \times C_{p_{H_2O}}(33 - 29)^\circ C$$

Despejado: 
$$m_{H_2O} = \frac{Q_2}{C_{p_{H_2O}}(33-29)^\circ C}$$

Reemplazando valores:

$$m_{H_2O} = \frac{16\ 833.3\ Kcal}{\frac{1\ Kcal}{Kg^\circ C} \times 4^\circ C}$$

$$\therefore m_{H_2O} = 4\ 208.33\ Kg = 4\ 208.33\ lt$$

**Tesis: "Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana".**

- f) La Temperatura del H<sub>2</sub>O a la salida del condensador  $t_2$ , se determina de la ecuación:

$$Q = m_{H_2O} C_{p_{H_2O}}(t_2 - t_1)$$

Despejando  $t_2$ , tenemos:

$$t_2 = \frac{Q}{m_{H_2O} \cdot C_{p_{H_2O}}} + t_1$$

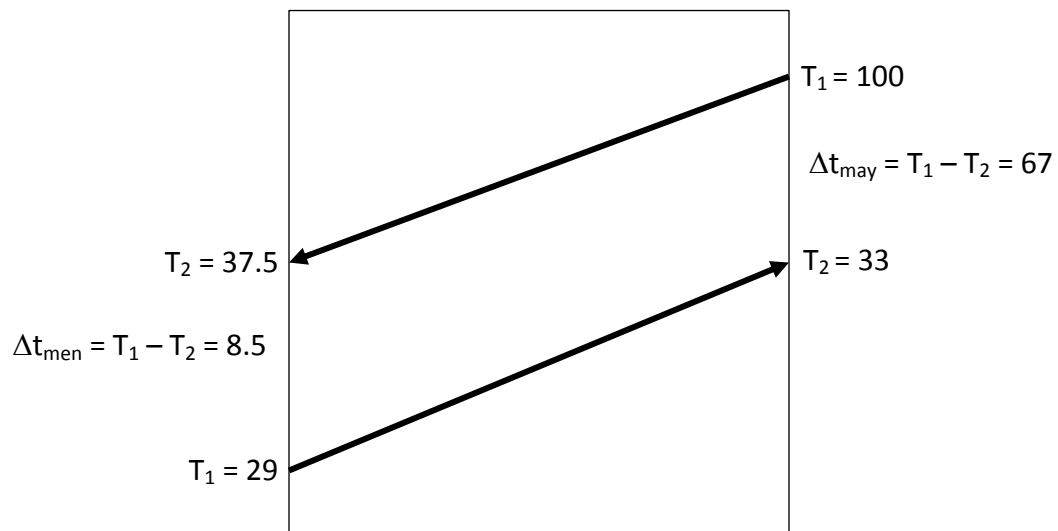
Reemplazando valores:

$$t_2 = \frac{18\,300\text{ Kcal}}{4208.33\text{ Kg} \times \frac{1\text{ Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}} + 29^\circ\text{C}$$

$$t_2 = (4 + 29)^\circ\text{C} = 33^\circ\text{C}$$

$$\therefore t_2 = 33^\circ\text{C}$$

- g) Cálculo de la Diferencia de Temperatura verdadera a partir de la diferencia de Temperatura media logarítmica (Atm)



**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_{may} - \Delta t_{men}}{2.3 \log \frac{\Delta t_{may}}{\Delta t_{men}}}$$

Reemplazando valores:

$$\Delta t_m = \frac{(100 - 33) - (37.5 - 29)}{2.3 \log \left( \frac{100 - 33}{37.5 - 33} \right)} = \frac{67 - 8.5}{2.3 \log \left( \frac{67}{12.5} \right)} = \frac{58.5}{1.677}$$

$$\therefore \Delta t_m = 34.89^\circ C = 35^\circ C$$

h) Suponiendo un coeficiente aproximado de transmisión de Calor ( $U_o$ )

$$U_o = 382 \frac{Kcal}{m^2 \times h \times ^\circ C} \dots \dots \dots (de tablas)$$

i) Cálculo del área requerida ( $A_c$ )

La ecuación:

$$Q = U_o \times A_c \times \Delta t_m$$

$$A_c = \frac{Q}{U_o \times \Delta t_m}$$

Reemplazando valores:

$$A_c = \frac{18\,300 \text{ Kcal}}{382 \frac{Kcal}{m^2 \times h \times ^\circ C} \times 35^\circ C} = 1.368 \text{ m}^2 \times h$$

$$\therefore A_c = 1.368 \text{ m}^2 \times h$$

Como quiera que el tiempo de operación es de 5 horas

**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

Entonces: 
$$Ac = \frac{1.368 \text{ m}^2 \times h}{5 h} \rightarrow Ac = 0.2736 \text{ m}^2$$

## **H) CÁLCULO DEL NÚMERO DE TUBOS ( $N_t$ ) DEL INTERCAMBIADOR.**

La ecuación: 
$$N_t = \frac{Ac}{a_{Lt} \times L_t} ; \quad \text{Donde: } Ac = \text{área calculada}$$
$$a_{Lt} = \pi D_e = \text{área lateral unitaria}$$
$$L_t = \text{longitud del tubo: } 35 \text{ cm}$$

$$N_t = \frac{0.2736 \text{ m}^2}{3.14 \times 0.015 \text{ m} \times 0.35 \text{ m}}$$

$$N_t = 16.6 \text{ t} = 17 \text{ tubos}$$

## **I) ELECCIÓN DEL INTERCAMBIADOR ESTÁNDAR (TABLAS).**

El intercambiador seleccionado es el siguiente:

- Casco y haz de tubos.
- Vertical.
- 01 paso.
- $D_{\text{exterior}} = 5/8''$
- 17 tubos, arreglo triangular, etc.

## **J) CÁLCULO DE ÁREA DE DISEÑO ( $Ad$ ).**

La ecuación: 
$$Ad = N_t \times a_{Lt} \times L_t$$

**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

Reemplazando valores:

$$Ad = 17 \times 0.0471 \text{ m} \times 0.35 \text{ m}$$

$$Ad = \mathbf{0.2802 \text{ m}^2}$$

Las variables de diseño y construcción se muestran detalladamente en la figura.

Dónde: a = ancho de la plancha inox: 1.20 m

b = largo de la plancha inox: 2.40 m

Área de la plancha inox: a x b

➤ Longitud de la plancha a cortar para el Hervidor:

$$Lp_h = \pi D = 3.14 \times 27 \text{ cm} = \mathbf{84.78 \text{ cm}}$$

➤ Área de la plancha para el hervidor cilíndrico:

$$Ap_h = Lp_h \times H_h = 0.785 \text{ cm} \times 0.563 \text{ cm} = \mathbf{0.442 \text{ m}^2}$$

➤ Longitud de la plancha a cortar para el condensador:

$$Lp_c = \pi D = 3.14 \times 15 \text{ cm} = \mathbf{47 \text{ cm}}$$

➤ Área de plancha para condensador cilíndrico:

$$Ap_c = Lp_c \times H_c = 0.47 \text{ m} \times 0.35 \text{ m} = \mathbf{0.1645 \text{ m}^2}$$

Después de Rolar y soldar adecuadamente las áreas que se muestran en la figura, se debe obtener los tanques cilíndricos verticales.



**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**

**Nota:** En el cálculo de los aparatos hay que recurrir a distintas magnitudes físicas y utilizar datos sobre las propiedades físicas de las sustancias (densidad, viscosidad, conductividad térmica, temperatura, etc.)

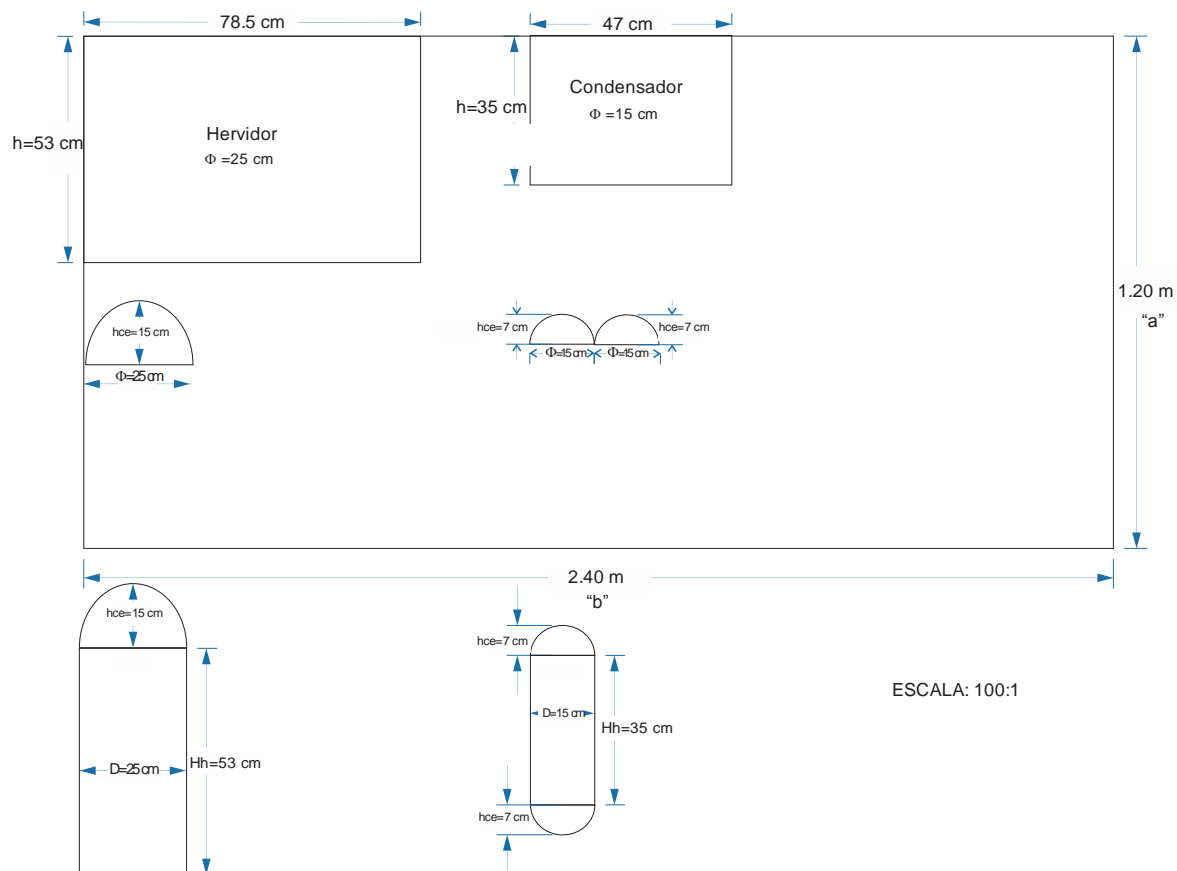
Todas estas magnitudes pueden ser medidas y expresadas en una u otras unidades. Las demás unidades derivadas se forman a base de las principales. La dimensión de las unidades derivadas se determina por medio de ecuaciones físicas que expresan la relación entre las magnitudes.

## **K) ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA DESTILADA OBTENIDA.**

- Conductividad : **36.4  $\mu$ S = 3.64 x 10<sup>-5</sup> S**
- PH : **6.43**

**Tesis: "Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana".**

## L) ASPECTOS Y DETALLES CONSTRUCTIVOS.



*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

## **CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

- En base a los cálculos efectuados en la presente tesis se diseñó, construyó e instaló un destilador y un condensador con envolvente multitubular para obtener agua destilada, con especificaciones técnicas de seguridad para garantizar un óptimo funcionamiento del equipo durante su operación.
- Se efectuaron diversos cálculos de diseño para la construcción del condensador con envolvente multitubular, obteniendo especificaciones de 0.15m de diámetro, 0.35m de altura, 17 tubos de ½” de diámetro, a través de los cuales fluye el vapor a condensar con el equipo y tubos laterales de 5/8” de diámetro para la entrada y salida del agua de enfriamiento al casco del condensador.
- El condensador y sus demás componentes fueron construidos con Acero Inoxidable AISI 304, debido a su elevado nivel de resistencia a la corrosión y a altas temperaturas (hasta 925 °C) en uso continuo.
- Se efectuaron análisis químicos al agua destilada obtenida y se determinó que posee una conductividad de  $36.4 \mu\text{S} = 3.64 \times 10^{-5} \text{ S}$  y un Ph de 6.43.

### **RECOMENDACIONES**

- Verificar que no existan fugas de vapor en el sistema para evitar mayores pérdidas de calor y garantizar un óptimo funcionamiento del condensador.
- Evitar llenar el destilador a su máxima capacidad ya que se podría ocasionar accidentes.
- Utilizar siempre los equipos de protección adecuados para la operación, ya que se trabaja con superficies y fluidos a elevadas temperaturas.

***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

- Evaluar la posibilidad de instalación de aislantes térmicos, para minimizar el tiempo de vaporización del sistema.
- Para reducir riesgos en el funcionamiento de nuestro equipo de destilación se recomienda la instalación de equipos de medición digitales, tales como manómetros, termómetros y venturímetros ya que por falta de demanda de estos materiales en nuestra ciudad no se pudo instalarlos en el presente trabajo.
- Colocar una placa de acero inoxidable gruesa en el visor del destilador cuando se quiera utilizar del equipo en destilación continua.

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

## **IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- Salas F. (2014). “Diseño y Construcción de un equipo con modelo matemático para calcular la capacidad calorífica de alimentos líquidos”. Tesis para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con mención en Ingeniería Química, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Química y Textil, Lima – Perú.
- Fontecha, RD y Lizprazo, H.A. (2007). “Diseño y Construcción de un equipo de Destilación”, usando métodos de hidrodestilación y destilación agua-vapor”. Universidad Industrial de Santander – Colombia.
- De Dios Alvarado J. (1991) “Specific Heat of Dehydrated Pulps of Fruits”. Journal of food engineering 14 – 189-195
- Curso: (2002) “Control de Calidad del Agua; efluente y tecnología de potabilización”. Omega – Perú S.A. y el Instituto del agua y Medio Ambiente.
- Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (1965). “Manual de Tratamiento de aguas negras”. Editorial Limusa Wiley S.A. México.
- Nordel Eskel (1965). “Tratamiento de agua para la Industria y otros usos”. Editorial Celsa. México.
- Robert E. Treybal (1982). “Operaciones con transferencia de masa”. 3ra. Edición. Editorial Hispanoamericana – Argentina.
- Donald Q. Kern (1973). “Procesos de Transferencia de calor”. Editorial CELSA. México.
- Smith Ivan Nees (1980). “Termodinámica en Ingeniería Química”. Editorial Mc Graw – Hill. México.

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

## **ANEXO I : CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES**

### ¿QUÉ ES EL ACERO INOXIDABLE?

La mayoría de los metales se oxidan, por ejemplo la plata se pone negra, el aluminio cambia a blanco, el cobre cambia a verde y ordinariamente el acero cambia a rojo. En el caso de acero, el hierro presente se combina con el oxígeno del aire para formar óxidos de hierro o “herrumbre”.

A principios del siglo XX algunos metalurgistas descubrieron que adicionando poco más de 10% de cromo al acero, éste no presentaba herrumbre bajo condiciones normales; la razón de ello es que el cromo suele unirse primeramente con el oxígeno del aire para formar una delgada película transparente de óxido de cromo sobre la superficie del acero y excluye la oxidación adicional del acero inoxidable. Esta película se llama capa pasiva. En el caso de que ocurra daño mecánico o químico, esta película es auto reparable en presencia de oxígeno.

El acero inoxidable puede ser clasificado en cinco familias diferentes; cuatro de ellas corresponden a las particulares estructuras cristalinas formadas en la aleación: austenita, ferrita, martensita y dúplex (austenita mas ferrita); mientras que la quinta son las aleaciones endurecidas por precipitación, que están basadas más en el tipo de tratamiento térmico usado que en la estructura cristalina.

### **ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS**

Son la primera rama de los aceros inoxidables simplemente al cromo.

Representan una porción de la serie 400, sus características son:

- Moderada resistencia a la corrosión

***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

- Endurecidas por tratamiento térmico y por lo tanto se pueden desarrollar altos niveles de resistencia mecánica y dureza
- Son magnéticos
- Debido al alto contenido de carbono y a la naturaleza de su dureza, es de pobre soldabilidad

Los Martensíticos son esencialmente aleaciones de cromo y carbono. El contenido de cromo es generalmente de 10.5 a 18% y el de carbono es alto, alcanzando valores de hasta 1.2%.

## **ACEROS INOXIDABLES FERRÍTICOS**

Estos aceros inoxidable de la serie 400 AISI (American Iron & Steel Institute) mantienen una estructura ferrítica estable desde la temperatura ambiente hasta el punto de fusión, sus características son:

- Resistencia a la corrosión de moderada a buena, la cual se incrementa con el contenido de cromo y algunas aleaciones de molibdeno
- Endurecidos moderadamente por trabajo en frío: no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico
- Son magnéticos
- Su soldabilidad es pobre por lo que generalmente se eliminan las uniones por soldadura a calibres delgados
- Usualmente se les aplica un tratamiento de recocido con lo que obtienen mayor suavidad, ductilidad y resistencia a la corrosión
- Debido a su pobre dureza, el uso se limita generalmente a procesos de formado en frío

***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

Los Ferríticos son esencialmente aleaciones con cromo. El contenido de cromo es usualmente de 10.5 a 30%, pero contenidos limitados de carbono del orden de 0.08%. Algunos grados pueden contener molibdeno, silicio, aluminio, titanio y niobio que promueven diferentes características.

## **ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS**

Los aceros inoxidable austeníticos constituyen la familia con el mayor número de aleaciones disponibles, integra las series 200 y 300 AISI. Su popularidad se debe a su excelente formabilidad y superior resistencia a la corrosión. Sus características son las siguientes:

- Excelente resistencia a la corrosión
- Endurecidos por trabajo en frío y no por tratamiento térmico Excelente soldabilidad
- Excelente factor de higiene y limpieza Formado sencillo y de fácil transformación
- Tienen la habilidad de ser funcionales en temperaturas extremas Son no magnéticos

Los Austeníticos se obtienen adicionando elementos formadores de austenita, tales como níquel, manganeso y nitrógeno. El contenido de cromo generalmente varía del 16 al 26% y su contenido de carbono es del rango de 0.03 al 0.08%.

El cromo proporciona una resistencia a la oxidación en temperaturas aproximadas de 650° C en una variedad de ambientes.

Esta familia se divide en dos categorías: SERIE 300 AISI.- Aleaciones cromo-níquel.

SERIE 200 AISI.- Aleaciones cromo-manganeso-nitrógeno.



*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

## SERIE 300 AISI

Es la más extensa, mantiene alto contenido de níquel y hasta 2% de manganeso. También puede contener molibdeno, cobre, silicio, aluminio, titanio y niobio, elementos que son adicionados para conferir ciertas características. En ciertos tipos se usa azufre o selenio para mejorar su habilidad de ser maquinados.

## SERIE 200 AISI

Contiene menor cantidad de níquel. El contenido de manganeso es de 5 a 20%. La adición de nitrógeno incrementa la resistencia mecánica.

## **ACEROS INOXIDABLES DÚPLEX**

Son aleaciones cromo-níquel-molibdeno, sus características son las siguientes:

- Son magnéticos
- No pueden ser endurecidos por tratamientos térmicos Buena soldabilidad
- La estructura dúplex mejora la resistencia a la corrosión de fractura bajo tensión en ambientes con iones de cloruro.

Los dúplex tienen un contenido de cromo de entre 18 y 26% y de níquel de 4.5 a 6.5%. La adición de elementos de nitrógeno, molibdeno, cobre, silicio y tungsteno imparten ciertas características de resistencia a la corrosión.

## **ACEROS INOXIDABLES ENDURECIBLES POR PRECIPITACIÓN**

Esta familia ofrece una alternativa a los aceros inoxidable austeníticos cuando se desea asociar elevadas características mecánicas y de maquinabilidad.

Son aleaciones hierro-cromo-níquel que se caracterizan por la resistencia mecánica obtenida a partir del endurecimiento por tratamiento térmico de envejecimiento. Los aceros endurecibles por precipitación están

***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

patentados y frecuentemente se les designa con las siglas de la empresa productora.

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

## **ANEXO II: AISLANTE TÉRMICO Y SUS CARACTERÍSTICAS.**

Un aislante térmico es un material usado en la construcción y en la industria, caracterizado por su alta resistencia térmica. Establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura, impidiendo que el calor traspase los separadores del sistema que interesa (como una vivienda o una nevera) con el ambiente que lo rodea.

En general, todos los materiales ofrecen resistencia al paso del calor, es decir, son aislantes térmicos. La diferencia es que de los que se trata tienen una resistencia muy grande, de modo, que espesores pequeños de material presentan una resistencia suficiente al uso que quiere dársele. El nombre más correcto de estos sería aislante térmico específico. Se considera que son aislantes térmicos específicos aquellos que tiene una conductividad térmica,  $\lambda < 0,08 \text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$ .

## **CUANTIFICACIÓN DE SUS PROPIEDADES.**

La cuantificación de las propiedades de un aislante es compleja, ya que cada material reacciona de manera diferente ante las diferentes transmisiones del calor: radiación, convección, conducción, calor latente/calor sensible y también según la temperatura a la que se encuentre.

*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

## **FAMILIA DE AISLANTES TÉRMICOS LEGALMENTE VÁLIDOS**

- Lana mineral (lana de roca), según la norma EN 13162
- Poliestireno expandido, según la norma EN 13163
- Poliestireno extruido, según la norma EN 13164
- Espuma de poliuretano, de acuerdo con la norma EN 13165
- Espuma de resina fenólica, de acuerdo con la norma EN 13 166
- Espuma de vidrio (lana de vidrio), según la norma EN 13 167
- Losas de lana de madera, según la norma EN 13168 (Holzwolle-Leichtbauplatte)
- Placas de perlita expandida de acuerdo con la norma EN 13169
- Corcho expandido según EN 13170
- Fibras de la madera según la norma EN 13171 (Wood wool).

Otros materiales deben obtener una aprobación especial del país en concreto, o de la Organización Europea para las Aprobaciones Técnicas EOTA (European Organization for Technicals Approvals), situada en Bruselas ([www.eota.be](http://www.eota.be)).

Para el comportamiento ante incendios de los materiales, se sigue la normativa EN 13501.

## **EJEMPLOS DE AISLANTES TÉRMICOS**

- Aluminio
- Algodón
- Arlita
- Corcho expandido
- Poliestireno expandido

***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

- Espuma de vidrio
- Aerogel
- Lana de vidrio
- Virutas de madera
- Fibra de madera
- Vermiculita
- Lana mineral o lana de roca
- Lino
- Espuma de resina fenólica
- Cáñamo
- Placas de perlita expandida
- Espuma elastomérica
- Poliestireno extruido
- Escanda
- Film alveolar de polietileno
- Espuma de poliuretano
- Celulosa
- Espuma celulósica
- Losas de lana de madera
- Pellas de cereales
- Algas
- Paja
- Espuma de polietileno

*Tesis: "Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana".*

## **DESCRIPCIÓN DE LOS AISLANTES TÉRMICOS MÁS USADOS**

### **ALUMINIO**

Aunque el aluminio es un metal de alta conductividad térmica ( $\lambda = 204 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ ), puede utilizarse como aislante en ciertas condiciones. Los aislantes de aluminio consisten en varias capas delgadas unidas por otras láminas plegadas formando algo parecido al cartón aligerado. Las pérdidas térmicas pueden ser por cambio de estado (evaporación), por contacto (o convección) o por radiación (que crece con la cuarta potencia de la diferencia de temperaturas), logrando el aluminio reflejar, y así reducir, en un 97 % las pérdidas por radiación térmica (tanto para enfriar protegiendo del sol, como ante el frío, para conservar el calor interior), siendo esta propiedad independiente del espesor de la capa de aluminio. Además el aluminio ofrece otra ventaja, al ser totalmente estanco/impermeable, e impedir el paso de agua y aire, bloqueando así las pérdidas por evaporación. El plegado de las láminas se encarga de limitar la convección.

### **CORCHO**

Es el material empleado más antiguamente para aislar. Procede de la corteza del alcornoque. Normalmente se usa en forma de aglomerados, formando paneles. Habitualmente, estos paneles se fabrican a partir de corcho triturado y hervido a altas temperaturas. En general, no es necesario añadir ningún aglomerante para compactar los paneles.

#### **Opciones de uso según DIN 4108-10.**

- Densidad:  $110 \text{ kg/m}^3$  normal, 100-160 (en placa), 65-150 (del árbol)
- Coeficiente de conductividad térmica:  $0,039 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  (según EN 13170 - 0,04 a 0,055)

***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

- $\mu$  (resistividad al paso de vapor de agua) - 30 a 75 (del árbol), de 92 MN·s/g·m (en placa aglomerada)
- $c$  (calor específico) de 1600 a 1800

## **VIDRIO EXPANDIDO**

Además de aislante es una barrera de vapor muy efectiva, lo que no suele ser normal en los aislantes térmicos y le hace muy adecuado para aislar puentes térmicos en la construcción, como pilares en muros de fachada. Está formado por vidrio, generalmente reciclado y sin problemas de tratar el color, puesto que no importa el color del producto, que se hace una espuma en caliente, dejando celdillas con gas encerrado, que actúan como aislante. Su rigidez le hace más adecuado que otros aislantes para poder recubrirlo de yeso. Es poco utilizado en la construcción. Es conocido también como Vidrio Celular y aún se fabrica actualmente, 2013, en España bajo esta última denominación.

- Densidad: 20 kg/m<sup>3</sup>.
- Coeficiente de conductividad térmica: 0,045 W/(m·K)

## **POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)**

El material de espuma de poliestireno es un aislante derivado del petróleo y del gas natural, de los que se obtiene el polímero plásticoestireno en forma de gránulos. Para construir un bloque se incorpora en un recipiente metálico una cierta cantidad del material que tiene relación con la densidad final del mismo y se inyecta vapor de agua que expande los gránulos hasta formar el bloque. Este se corta en placas del espesor deseado para su comercialización mediante un alambre metálico caliente.

***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

Debido a su combustibilidad se le incorporan retardantes de llama, y se le denomina Difícilmente Inflamable.

- Posee un buen comportamiento térmico en densidades que van de 12 kg/m<sup>3</sup> a 30 kg/m<sup>3</sup>
- Tiene un coeficiente de conductividad de 0,034 a 0,045 W/(m·K), que depende de la densidad (por regla general, a mayor densidad menor coeficiente de conductividad)
- $\mu$  de 140 a 250 MN·s/g·m según densidad
- Es fácilmente atacable por la radiación ultravioleta por lo cual se debe proteger de la luz del sol
- Posee una alta resistencia a la absorción de agua
- No forma llama ya que al quemarse se sublima



*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

### **ANEXO III: DESTILADOR DE AGUA COMERCIAL 2004**

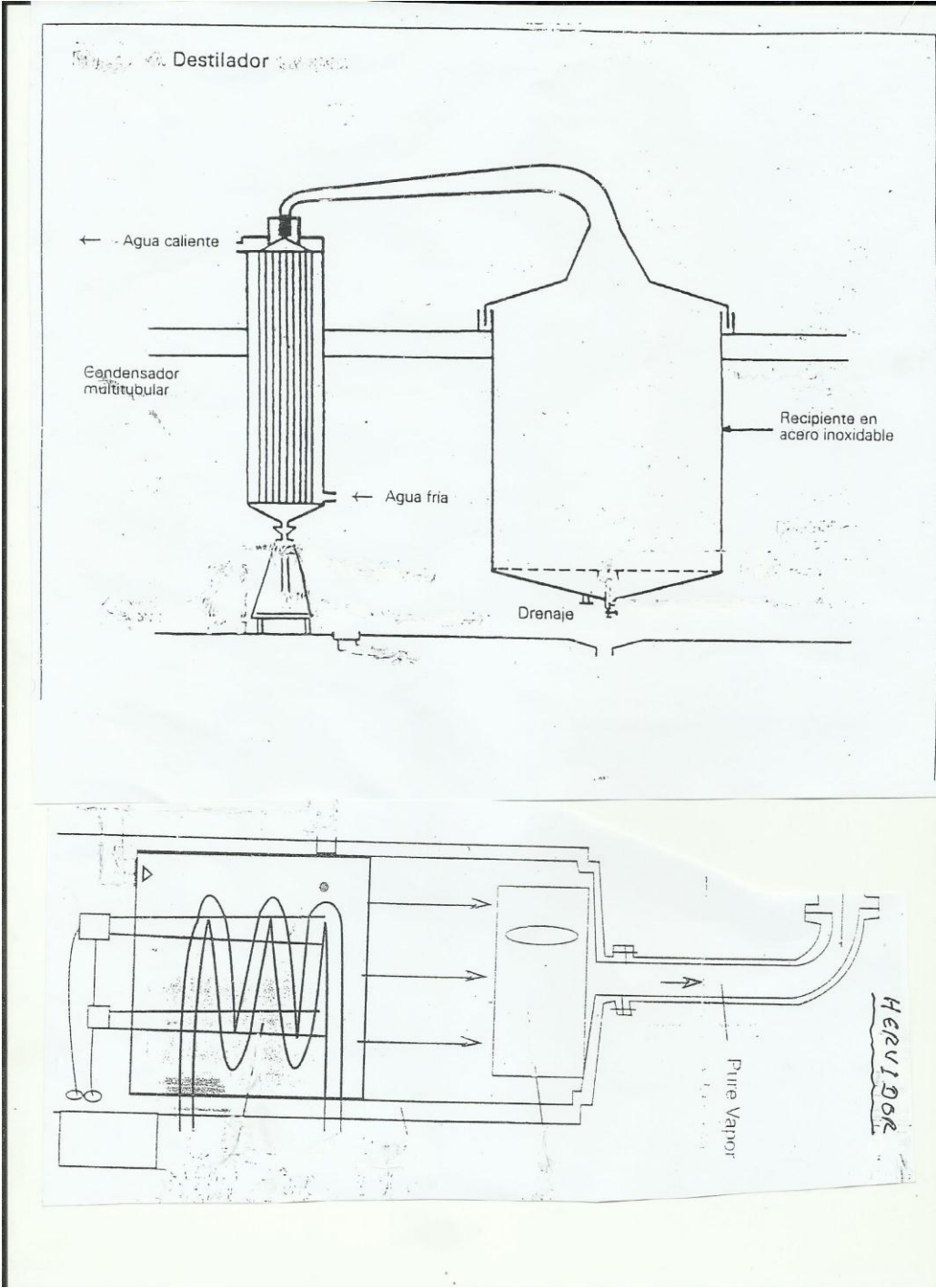


*Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.*

## DATOS COMPARATIVOS DE UN DESTILADOR COMERCIAL Y UN DESTILADOR DISEÑADO Y CONTRUIDO EN LA FIQ

	DATOS TÉCNICOS DEL DESTILADOR COMERCIAL	DATOS TÉCNICOS DEL DESTILADOR DE LA FIQ
<b>POTENCIA</b>	4 l / hora	120 l/h
<b>TIPO DE DESTILACIÓN</b>	continuo	batch
<b>MATERIAL</b>	acero inoxidable	acero inoxidable AISI 304
<b>OPERACIÓN</b>	completamente automática	manual
<b>CAPACIDAD DEL DEPÓSITO</b>	8 l	30 l
<b>CARACTERÍSTICAS ADICIONALES</b>		
<b>AGUA DE REFRIGERACIÓN NECESARIA</b>	aprox. 48 l / hora	4.4 m <sup>3</sup> / hora
<b>PRESIÓN NECESARIA DEL AGUA DE REFRIGERACIÓN</b>	de 3 bar a máx. 7 bar	1 atm
<b>CONEXIÓN ELÉCTRICA</b>	230 V / 50...60 Hz / 3,0 kW**	220 V
<b>PRECIO</b>	S./ 13 200	S./ 6 000

**Tesis: "Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana".**



**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**





**Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.**



***Tesis: “Diseño, construcción e instalación de un equipo de destilación utilizando un condensador multitubular para la obtención de agua destilada en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana”.***

