



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE  
TUXTLA GUTIÉRREZ**



**INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

**PRESENTA**

**CÁCERES MAGDALENO FRANCISCO FAVIÁN**

**NOMBRE DEL PROYECTO**

**CÁLCULO Y DISEÑO DE UNA MÁQUINA PASTEURIZADORA  
DE LECHE**

**ASESOR INTERNO**

**M.C. JUAN CARLOS NIÑOS TORRES**

# ÍNDICE

## PÁG.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 2: JUSTIFICACIÓN .....	4
CAPÍTULO 3: OBJETIVOS .....	4
CAPÍTULO 4: FUNDAMENTOS Y ESTUDIO DE CAMPO DE TRABAJO .....	5
4.1. COMPONENTES DE LA LECHE .....	5
4.1.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA LECHE .....	6
4.1.2. MICROORGANISMOS DE LA LECHE .....	7
4.1.3. MÉTODOS DE CONSERVACIÓN .....	9
4.1.3.1. CONSERVACIÓN EN FRIO .....	9
4.1.3.2. CONSERVACIÓN DEL CALOR .....	10
4.1.3.3. DESHIDRATACIÓN .....	10
4.1.3.4. ELIMINACIÓN DE GÉRMENES POR FUERZA CENTRÍFUGA .....	10
4.1.4. FORMAS DE TRATAMIENTO DE CALOR .....	11
4.2. SISTEMAS DE MEZCLADO EN LA ACTUALIDAD .....	11
4.2.1. MEZCLADO POR LOTES .....	12
4.2.2. TANQUES DE MEZCLADO .....	12
4.2.3. PLANTA DE MEZCLADO CONTINUÓ GEA DIESEL DICON .....	13
CAPÍTULO 5: MARCO TEÓRICO .....	14

5.1. ACEROS INOXIDABLES .....	14
5.2. MOTORES ELÉCTRICOS .....	16
5.2.1. TIPOS DE MOTORES .....	17
5.3. REDUCTORES Y MOTORREDUCTORES .....	19
5.3.1. FACTOR DE SERVICIO (F.S.) .....	22
5.4. TEORÍA DEL ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO .....	24
5.5. TEORÍA DE LA ENERGÍA DE DISTORSIÓN .....	26
5.6. SELECCIÓN DE RODAMIENTO .....	28
5.7. MEDIDORES DE PRESIÓN .....	30
5.7.1. INSTRUMENTOS PARA MEDICIÓN DE LA PRESIÓN .....	31
5.8. CALDERAS DE VAPOR .....	35
5.9. TRANSFERENCIA DE ENERGÍA .....	38
5.10. BALANCE DE ENERGÍA PARA SISTEMAS DE FLUJO ESTACIONARIO	39
5.11. CONDUCCIÓN .....	40
5.11.1. CONDUCCIÓN DE CALOR EN CILINDROS .....	41
5.12. AISLAMIENTOS TÉRMICOS .....	41
CAPÍTULO 6: DISEÑO DE COMPONENTES .....	44
6.1. DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE .....	44
6.2. CÁLCULO DE LA PLACA DE ACERO .....	45
6.3. MEZCLA MECÁNICA Y AGITACIÓN .....	46

6.4. DIMENSIONAMIENTO Y RELACIONES DE ESCALA .....	49
6.5. DISEÑO DE LA FLECHA .....	51
6.6. CÁLCULO DEL MOTORREDUCTOR .....	53
6.7. CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LA TUBERÍA INTERNA .....	53
6.8. CALOR NECESARIO PARA ELEVAR LA TEMPERATURA DE LA LECHE	54
6.9. CALOR QUE PRODUCE EL AGUA CALIENTE Y TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL TUBO .....	54
6.10. CÁLCULO DE LA TRANSFERENCIA DEL AGUA CALIENTE A LA LECHE--- .....	55
6.11. CÁLCULO DE CARGA DE REFRIGERACIÓN .....	57
CAPÍTULO 7: RESUMEN DE RESULTADOS .....	59
CAPÍTULO 8: ALCANCES Y LIMITACIONES .....	60
CAPITULO 9: CONCLUSION .....	61
BIBLIOGRAFÍA .....	62
ANEXOS .....	63

# **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.**

## **PROCESOS DE PASTEURIZACIÓN.**

La pasteurización es un proceso térmico realizado a los alimentos: los procesos térmicos se pueden realizar con la intención de disminuir las poblaciones patógenas de microorganismos o para desactivar las enzimas que modifican los sabores de ciertos alimentos. No obstante, en la pasteurización se emplean generalmente temperaturas por debajo del punto de ebullición (en cualquier tipo de alimento), ya que en la mayoría de los casos las temperaturas superiores a este valor afectan irreversiblemente ciertas características físicas y químicas del producto alimenticio; así, por ejemplo, si en la leche se sobrepasa el punto de ebullición, las micelas de la caseína se “cuajan” irreversiblemente. El proceso de calentamiento de la pasteurización, si se hace a bajas temperaturas, tiene además la función de detener los procesos enzimáticos. Hoy en día, la pasteurización realizada a los alimentos es un proceso industrial continuo aplicado a alimentos viscosos, con la intención de ahorrar energía y costes de producción.

Existen tres tipos de procesos bien diferenciados:

- Pasteurización VAT o lenta.
- Pasteurización a altas temperaturas durante un breve período (HTST) o rápido.
- El proceso a altas temperaturas (UHT) o ultrarrápido.

Como anteriormente se mencionó la pasteurización tiene como objetivo eliminar la flora patógena de la leche. Se efectúa elevando la temperatura del líquido. La temperatura y la duración deben ser tales que impidan cambios físicos – químicos y organolépticos del producto. Terminando la pasteurización la leche debe de enfriarse para aumentar su poder de conservación. La pasteurización tiene tres métodos la lenta, rápida y ultrarrápida.

## **PROCESO VAT.**

Fue el primer método de pasteurización, aunque la industria alimenticia lo ha ido renovando por otros sistemas más eficaces. El proceso consiste en calentar grandes volúmenes de leche en un recipiente estanco a 63 °C durante 30 minutos, para luego dejar enfriar lentamente. Debe pasar mucho tiempo para continuar con el proceso de envasado del producto, a veces más de 24 horas.

## **PROCESO HTST.**

Este método es el empleado en los líquidos a granel, como la leche, los zumos de fruta, la cerveza, etc. Por regla general, es el más conveniente, ya que expone al alimento a altas temperaturas durante un período breve y además se necesita poco equipamiento industrial para poder realizarlo, reduciendo de esta manera los costes de mantenimiento de equipos. Entre las desventajas del proceso está la necesidad de contar con personal altamente calificado para la realización de este trabajo, que necesita controles estrictos durante todo el proceso de producción.

Existen dos métodos distintos bajo la categoría de pasteurización HTST: en "batch" y en "flujo continuo".

Para ambos métodos la temperatura es la misma (72 °C durante 15 segundos).

En el proceso "batch" una gran cantidad de leche se calienta en un recipiente estanco (autoclave industrial). Es un método empleado hoy en día sobre todo por los pequeños productores debido a que es un proceso más sencillo.

En el proceso de "flujo continuo", el alimento se hace circular entre dos placas de metal, también denominadas Intercambiador de calor de placas o de forma tubular (PHE). Este método es el más aplicado por la industria alimentaria a gran escala, ya que permite realizar la pasteurización de grandes cantidades de alimento en relativamente poco tiempo.

## **PROCESO UHT.**

El proceso **UHT** es de flujo continuo y mantiene la leche a una temperatura superior más alta que la empleada en el proceso HTST, y puede rondar los 138 °C durante un período de al menos dos segundos. Debido a este muy breve periodo de exposición, se produce una mínima degradación del alimento. La leche cuando se etiqueta como "pasteurizada" generalmente se ha tratado con el proceso HTST, mientras que la leche etiquetada como "ultrapasteurizada" o simplemente "UHT", se debe entender que ha sido tratada por el método UHT. El reto tecnológico del siglo XXI es poder disminuir lo más posible el período de exposición a altas temperaturas de los alimentos, haciendo la transición de altas a bajas temperaturas lo más rápida posible, disminuyendo el impacto en la degradación de

las propiedades organolépticas de los alimentos; por esta razón, se está investigando la tecnología basada en microondas, que permite este tipo de efectos (es empleado incluso en carnes). Este método es muy adecuado para los alimentos líquidos ligeramente ácidos (la acidez se mide con el pH), tal como los zumos de frutas y los zumos de verduras (como el gazpacho), ya que permite períodos de conservación de 10 a 45 días si se almacenan refrigerados a 10 °C.

### **PARA QUIÉN SE DESTINA.**

Productores de pequeño porte que necesitan llegar a un patrón de calidad de helado industrial, libres de bacterias nocivas para la salud y con ciclo de producción controlado. Este equipo es imprescindible para quien pretende distribuir sus productos, proporcionando mayor tiempo de almacenamiento y garantía de calidad.

## **CAPÍTULO 2:**

### **JUSTIFICACIÓN.**

El presente proyecto procura el diseño de una máquina para pasteurizar leche.

Cuando se lleva a cabo la pasteurización de leche de modo artesanal no tiene un calentamiento uniforme y esto provoca cierta consistencia y olores en la leche.

La motivación del proyecto se genera debido a la eliminación de microorganismos en la leche por la pasteurización y de mantener un calentamiento uniforme en la leche para que no se generen los olores en la leche.

## **CAPÍTULO 3:**

### **OBJETIVOS.**

#### **GENERAL.**

Se desea calcular y diseñar una maquina pasteurizadora de leche.

#### **ESPECÍFICOS.**

- Diseñar y calcular un tanque de calentamiento y enfriamiento de la leche con capacidad de 100 litros.
- Diseño y cálculo de un eje y aspas para obtener una eficiencia optima en el proceso de mezclado.
- Cálculo de potencia del motorreductor para impartir movimiento a las aspas.
- Cálculo del sistema de calentamiento y enfriamiento.
- Bosquejo del recipiente.



## **CAPÍTULO 4:**

### **FUNDAMENTACIÓN Y ESTUDIO DEL CAMPO DE TRABAJO.**

#### **4.1. COMPONENTES DE LA LECHE.**

En la industria de productos lácteos se utiliza principalmente la leche de vaca y en menor cantidad la de cabra y oveja. La vaca produce leche aproximadamente durante aproximadamente 300 días después del nacimiento de las crías. La leche producida durante los primeros cuatro días, se llama calostro y es inadecuada para la elaboración de productos lácteos debido a su diferente composición.

Los principales componentes de la leche son: Agua, sales minerales, lactosa, grasa y vitaminas.

Aproximadamente el 85% de la leche es agua. En esta agua se encuentran los otros componentes en diferentes formas de solución.

Las sales y la lactosa se encuentran disueltas en el agua formando una solución verdadera. La mayoría de las sustancias proteínicas no son solubles, y forman conjuntos de varias moléculas. Sin embargo, estos conjuntos son tan pequeños, que la mezcla tiene aparentemente las mismas características que una solución verdadera. Este tipo de solución se llama solución coloidal.

La grasa es insoluble al agua y por esto se encuentra en la leche en forma de glóbulos grasos formando una emulsión. Después de un cierto tiempo la grasa se estratifica en forma de nata.

Las sustancias están compuestas de aminoácidos. Las proteínas en la leche son la caseína, la albumina y la globulina.

Las enzimas son compuestos proteínicos que aceleran los procesos biológicos. La acción de las enzimas depende de la temperatura y del pH del medio a que se reducen su actividad. A temperaturas elevadas, entre 70 y 85 °C, se inactiva la mayor parte de las enzimas.

En la leche cruda normalmente se encuentran las siguientes enzimas: Fosfatasa, peroxidasa, catalasa, lipasa, xantinoxidasa. Otra enzima láctea, la reductasa, es producida por microorganismos. La presencia de la reductasa en la leche, indica que la leche está contaminada por microorganismos.

La cantidad de grasa en la leche es variable y depende de la raza y de la alimentación de la vaca. La grasa contribuye mucho al sabor y a las propiedades físicas de la leche y de los productos lácteos. La grasa está distribuida en la leche en forma de gotitas o glóbulos, rodeados de una película que contiene lecitina y proteína. Esta película permite que los glóbulos queden en emulsión.

La lactosa da el sabor dulce a la leche, está compuesta de glucosa y de galactosa. Las bacterias lácticas pueden transformar la lactosa en ácido láctico. Esta acidificación no es deseable en el caso de leche para consumo. En la leche tratada a temperaturas altas la lactosa, produce una coloración café.

Las sales minerales o cenizas de la leche son cloruros, fosfatos, sulfatos, carbonatos, magnesio y hierro. Los citratos intervienen en el aroma de la mantequilla. El contenido de sales cálcicas es importante en la alimentación, porque estas favorecen el crecimiento de los huesos. Además las sales de calcio tienen gran influencia en la coagulación de la leche cuando se elabora queso. Sin embargo, al pasteurizar la leche, una parte de estas sales de calcio se vuelven insolubles. Por esto se añade una cantidad de cloruro de calcio a la leche pasteurizada destinada a la elaboración de queso.

En la leche se encuentra también las vitaminas A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> y D [2].

#### **4.1.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA LECHE.**

La leche tiene un sabor ligeramente dulce y un aroma delicado. Sin embargo, la leche absorbe fácilmente olores del ambiente. Además, ciertas clases de forrajes consumidos por las vacas proporcionan cambios en el sabor y olor a la leche. También la acción de microorganismos puede tener efectos desagradables en el sabor y olor.

La leche tiene un color ligeramente blanco amarillento debido a la grasa y a la caseína. El caroteno es un colorante natural que se encuentra en la grasa, y es absorbida por la vaca al alimentarse con forrajes verdes. La leche descremada toma un color azulado, causado

por la riboflavina o vitamina B<sub>2</sub>.

La presencia de ácidos tiene gran importancia ya que afecta los fenómenos microbiológicos. La acidez de la leche se expresa en la cantidad de ácido que puede neutralizarse con hidróxido de sodio al 0.1 %. De esta forma se mide el ácido presente en la solución. Esta clase de acidez se llama acidez real. La acidez promedio de la leche cruda es de 0.165 %.

El pH expresa solo la concentración de iones de hidrogeno. Con el pH se mide la acidez o alcalinidad de un líquido, el valor pH puede variar entre 0 y 14. Una solución pH 7 es neutra. De 0 a 7 es ácido, siendo el valor pH = 0 cuando el líquido tiene una concentración del 100% de ácido. De 7 al 14 el líquido es alcalino siendo el pH = 14 cuando el líquido tiene una concentración 100 % alcalino. La leche cruda fresca tiene un pH 6.6, es decir una solución ligeramente ácida.

La densidad de la leche es el peso de un ml de leche a una temperatura de 20 °C. Se determina con un lactodensímetro. La densidad promedio de leche es 1.030 g/ml. Cuando la leche está falsificada por la adición de agua, la densidad será menor. En el caso de que la leche haya sido desnatada, la densidad será mayor.

Cuando se elimina el agua de la leche, se obtiene el extracto seco, la leche contiene 125 hasta 130 g de este extracto por litro. La cantidad depende mucho del contenido graso de la leche. La leche hierve a 100.16 °C al nivel del mar a causa de las sales y la lactosa disueltas. Estas sustancias determinan el punto de congelación de la leche. Esta se encuentra entre -0.53 y -0.55 °C [3].

#### **4.1.2. MICROORGANISMOS DE LA LECHE.**

La leche constituye un excelente sustrato para el desarrollo de microorganismos. Estos pueden proliferar rápidamente en ella y provocar transformaciones deseables o indeseables.

Las bacterias lácticas y algunos mohos se aprovechan en la obtención de productos como mantequilla de crema ácida, leches fermentadas y queso.

Estos microorganismos se emplean en forma de cultivos especiales.

Las bacterias más importantes de la leche y de los productos lácteos son: las bacterias lácticas, coli-bacterias, bacterias propionicas, bacterias butíricas, bacterias proteolíticas y las bacterias patógenas.

Las bacterias lácticas transforman la lactosa en ácido láctico, bajando el pH hasta 4.5, a esta acidez se impide la acción de esta bacteria y otros gérmenes. El ácido ejerce así una acción conservadora. Esta bacteria no forma esporas y se destruye por la pasteurización a temperatura baja.

Las coli-bacterias llegan a la leche por malas condiciones higiénicas. La óptima temperatura para su desarrollo es aproximadamente de 37 °C. Abajo de 14 °C casi no se multiplican más. Las coli-bacterias no forman esporas y se destruyen por pasteurización a temperatura baja. La presencia de esta bacteria indica además la existencia de bacterias patógenas.

Las bacterias propionicas convierten la lactosa en ácido láctico, ácido acético y bióxido de carbono. La temperatura óptima para su desarrollo es de 24 °C, abajo de los 10 °C, las bacterias propionicas no se multiplican.

Las bacterias butíricas por contaminación llegan a la leche y transforman la lactosa en ácido butírico, bióxido de carbono e hidrogeno, el ácido butírico es volátil y proporciona un olor desagradable al producto. La temperatura óptima para esta bacteria es de 37 °C. Las bacterias butíricas forman esporas que resisten la pasteurización.

Las bacterias proteolíticas se encuentran frecuentemente en el heno, paja, y partículas de estiércol. Forman esporas altamente termoresistentes y su destrucción se dificulta aun en la esterilización.

Existen también parásitos de las bacterias, estos virus que se conocen con el nombre de bacteriófagos, son invisibles al microscopio óptico. Los bacteriófagos se destruyen por pasteurización a temperatura alta.

Las levaduras son microorganismos más grandes que las bacterias, transforman la lactosa en alcohol y bióxido de carbono. Se destruyen por pasteurización.

Los mohos forman filamentos que se pueden observar a simple vista. Los mohos crecen en la superficie del producto porque necesitan mucho oxígeno para su desarrollo, tienen

preferencia por los medios ácidos y un ambiente húmedo favorece su desarrollo [3].

#### **4.1.3. MÉTODOS DE CONSERVACIÓN.**

Los métodos de conservación tienden a eliminar los gérmenes o detener su desarrollo. Además estos deben limitar las alteraciones en el estado químico y fisico-químico de la leche.

Los métodos de conservación de la leche se pueden dividir en métodos físicos y métodos químicos. Los físicos incluyen los siguientes:

- Detención de la actividad de microorganismos por enfriamiento.
- Destrucción parcial o total de los gérmenes por calentamiento.
- Deshidratación parcial extrema.
- Eliminación de microorganismos por fuerza centrífuga.

Los métodos químicos consisten en la adición de determinadas sustancias que dificultan el desarrollo de los gérmenes o provocan su destrucción. El uso de antisépticos no está permitido en la mayoría de las cosas [2].

##### **4.1.3.1. CONSERVACIÓN EN FRIO.**

El frío no provoca la muerte de los microorganismos, pero frena su actividad. El desarrollo de los gérmenes lácticos responsable de la acidificación de la leche disminuye a temperaturas aproximadas a los 10 °C, deteniéndose a la temperatura de 2 °C. Sin embargo existen organismos, como algunas bacterias proteolíticas que pueden desarrollarse fácilmente aun a la temperatura de 0 °C. Para detener por completo el crecimiento microbiano, la leche debe enfriarse por debajo de su punto de congelación. Para evitar cambios en las características fisico-químicas de la leche, esta debe congelarse rápidamente. Este método solamente se puede aplicar a leches limpias de gérmenes patógenos [2].

#### **4.1.3.2. CONSERVACIÓN DEL CALOR.**

La aplicación del calor puede provocar la destrucción de los microorganismos de la leche. El efecto germicida del tratamiento del calor depende de los siguientes factores:

- Temperatura y duración del calentamiento.
- Tipo y contenido inicial de gérmenes.
- El pH de la leche.
- Velocidad de la transmisión de calor en los aparatos.

La mayoría de los microorganismos, las bacterias patógenas incluidas, se destruyen a una temperatura entre los 70 y 90 °C durante unos pocos minutos. Algunas bacterias pueden resistir este tratamiento y requieren un tratamiento superior. Las esporas de ciertas bacterias solamente se destruyen a temperaturas mayores de 100 °C. El tiempo necesario para la eliminación de los gérmenes depende de la cantidad de estos en la leche. Para extinguir una especie que se encuentre en gran número de la leche se requiere más tiempo más tiempo que para una cantidad menor.

La elección del tratamiento depende principalmente del contenido inicial de gérmenes y de si se requiere lograr la esterilización o solamente una reducción del contenido microbiano. La esterilización va acompañada de cambios en la composición y el sabor de la leche. Por esta razón, la leche para consumo se tiende a someter a tratamientos que solo reduce el contenido de gérmenes [2].

#### **4.1.3.3. DESHIDRATACIÓN.**

La deshidratación es la sustracción de agua de la leche. Por medio de la concentración de leche se logra una deshidratación parcial, al eliminar parte del agua, aumenta el extracto seco. Es una concentración de 65 % de solidos solubles, los gérmenes no pueden desarrollarse [3].

#### **4.1.3.4. ELIMINACIÓN DE GÉRMENES POR FUERZA CENTRÍFUGA.**

Los microorganismos tienen una densidad mayor que las otras partículas de la leche. Por esto se pueden separar por fuerza centrífuga. Las maquinas centrifugas son de una

construcción similar a las descremadoras y se llaman bacterofugadoras. Estas eliminan el 90% de los gérmenes y el 99% de las bacterias espatuladas, por tener densidad mayor que los demás gérmenes [3].

#### 4.1.4. FORMAS DE TRATAMIENTO DE CALOR.

Estos son los tratamientos que se realizan en la industrialización de la leche:

Tratamiento	Temperatura	Duración	Resultado
Tamización	63 °C	15 seg.	Reducción
Pasteurización lenta	65 °C	30 min.	Reducción
Pasteurización baja	75 °C	20 seg.	Reducción
Pasteurización alta	85 °C	12 seg.	Reducción
Ultrapasteurización	150 °C	4 seg.	Esterilización
Esterilización	112 °C	25 min.	Esterilización

Tabla 4.1. Tratamientos de calor [3].

#### 4.2. SISTEMAS DE MEZCLADO EN LA ACTUALIDAD.

GEA Process Engineering ofrece muchos y diversos sistemas de mezclado por lotes y continuos a las industrias de Alimentos, de Bebidas y de Cerveza El alcance de la oferta incluye desde los sistemas estándar de GEA Diessel y Tuchenhagen hasta los sistemas diseñados internamente a la medida para aplicaciones únicas.

Al mezclar productos se puede utilizar una mezcladora convencional por lotes o un sistema de control de mezclado continuo. Para las empresas que cambian continuamente de producto o que preparan muchos productos utilizando sustancias secas e ingredientes contenidos en empaques pequeños (bolsas, botellas, etc.), lo más adecuado es utilizar una planta de mezclado por lotes para elaborar todo tipo de jarabes. Pero en muchos

casos resulta conveniente utilizar una combinación de mezclado por lotes y mezclado continuo [10].

#### **4.2.1. MEZCLADO POR LOTES.**

En una planta de mezclado por lotes las sustancias secas y los ingredientes contenidos en empaques pequeños se pueden disolver o mezclar de manera semi-automática en los recipientes iniciales. Todos los ingredientes se vacían en un mismo punto, a partir de una plataforma ubicada a una altura de trabajo conveniente. En caso necesario, la mezcla del recipiente inicial se puede filtrar en el recorrido al tanque de mezclado de jarabe. La planta de agitación se conecta a todos los concentrados de saborizante que generalmente se requieran, a los recipientes iniciales, a la solución azucarada y a las líneas de agua. El sistema de control de la planta suministra a las líneas las cantidades de cada elemento requeridas para que sean transportadas al tanque de mezclado de manera sucesiva, siguiendo la información indicada en la receta.

Las líneas de agua y de azúcar corren paralelas para que el pre-mezclado se realice en la línea, con lo cual se reduce el tiempo de mezclado requerido en los tanques. El último de los componentes en pasar es siempre agua, para que la línea al tanque de mezclado quede nuevamente limpia. La tolerancia del medidor de concentrados por lo general se verifica con un dispositivo de monitoreo, para evitar dosificaciones incorrectas y por tanto desperdicio de los concentrados [10].

#### **4.2.2. TANQUES DE MEZCLADO.**

Por turnos se llenan varios tanques de mezclado que tienen agitadores o bombas circulantes con boquillas de mezclado en el tanque, que una vez transcurrido el tiempo indicado en la receta se abren y se vacían. Los indicadores de nivel en los tanques permiten que los operadores determinen con prontitud el nivel de jarabe aún disponible. La distribución de las distintas unidades de llenado se realiza utilizando una matriz de válvula [10].



### 4.2.3. PLANTA DE MEZCLADO CONTINUÓ GEA DIESEL DICON.

Tenemos dos tipos distintos de estaciones de mezclado:

- El mezclado continuo de jarabe de bebida preparada y agua para producir una bebida terminada conforme a la receta se lleva a cabo directamente en-línea. Los medidores de flujo de alta precisión miden constantemente la corriente de los dos componentes y los comparan con las especificaciones de la receta. El controlador digital influye sobre los flujos por medio de las válvulas de control, de manera que en todo momento se produzca continuamente bebida terminada que corresponda a la receta. Esta combinación sustituye a los mezcladores usados anteriormente.
- El mezclado continuo de los concentrados de saborizante con agua y azúcar líquida en una bebida terminada que corresponda a la receta se lleva a cabo directamente en-línea, sin una etapa intermedia. Este tipo de planta se puede diseñar para tantos concentrados como se desee y sirve principalmente para mezclar las bebidas terminadas, pero también se puede usar para el mezclado continuo de la base del jarabe. El agua y el azúcar líquido se suministran a partir del sistema central. Los ingredientes base se transportan a la planta de mezclado por medio de bombas de velocidad controlada desde los contenedores a granel ubicados en el almacén refrigerado [10].

## CAPÍTULO 5:

### MARCO TEÓRICO.

De manera muy resumida se mencionara a continuación algunos de los conceptos y definiciones más importantes, que sirvieron de apoyo en el trabajo.

#### 5.1. ACEROS INOXIDABLES.

En primer lugar la selección de material, para el tanque, aspas, eje y tuberías será de acero inoxidable, debido a que estos se caracterizan por su resistencia a la corrosión, elevada resistencia y ductilidad, y elevado contenido de cromo. Se llama inoxidable porque en presencia del oxígeno (aire) forman una película delgada y dura muy adherente de óxido de cromo, que protege al metal contra la corrosión. Esta película protectora se vuelve a formar en caso que se raye la superficie. Para que ocurra la corrosión, el contenido de cromo debe ser de 10 al 12% por peso.

Además del cromo, típicamente otros elementos de aleación en los aceros inoxidables son el níquel, molibdeno, cobre, titanio, silicio, manganeso, colombio, aluminio, nitrógeno y azufre. Se utiliza la L para identificar los aceros inoxidables de bajo carbono. Mientras más elevado sea el contenido de carbono, menor será la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables. La razón es que el carbono se combina con el cromo del acero y forma carburo de cromo; la menos disponibilidad de cromo disminuye la corrosión del acero. Y aun peor, el carburo de cromo introduce una segunda fase, misma que promueve la corrosión galvánica.

Desarrollados a principios de 1900, los aceros inoxidables están disponibles en una amplia gama de formas. Entre sus aplicaciones comunes esta la cuchillería, el equipo de cocina, el equipo médico y quirúrgico y las industrias químicas, de procesamiento de alimentos y la petrolera [8].

Por lo general los aceros inoxidables se dividen en cinco tipos:

- **Austeníticos (series 200 y 300).** Estos aceros generalmente están compuestos de cromo, níquel, y manganeso en el hierro. Son antimagnéticos y tienen una excelente resistencia a la corrosión, pero son susceptibles al agrietamiento por

esfuerzo corrosión. Los aceros inoxidable Austeníticos se endurecen mediante el trabajo en frío. Son los más dúctiles de todos los aceros inoxidable, por lo que pueden ser fácilmente formados, aunque a mayor trabajo en frío, su formabilidad se ve reducida. Estos aceros se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, como utensilios de cocina, acoplamientos, construcciones soldadas, equipo de transporte ligero, piezas para hornos y para intercambiadores de calor, y componentes para ambientes químicos severos.

- **Ferríticos (serie 400).** Estos aceros tienen un elevado contenido de cromo de hasta 27%. Son magnéticos y tienen una buena resistencia a la corrosión, pero su ductilidad es menor a la de los aceros inoxidable Austeníticos. Los aceros inoxidable Ferríticos se endurecen mediante el trabajo en frío y no se pueden someter a tratamiento térmico. Generalmente se utilizan para aplicaciones no estructurales como equipos de cocina y decoraciones automotrices.
- **Martensíticos (series 400 y 500).** La mayor parte de los aceros inoxidable martensíticos no contienen níquel y pueden ser endurecidos por tratamiento térmico. Su contenido de cromo puede alcanzar el 18%. Estos aceros son magnéticos y tienen una elevada resistencia, dureza y resistencia a la fatiga, una buena ductilidad y una resistencia moderada a la corrosión. Los aceros inoxidable martensíticos se utilizan típicamente en cuchillería, herramientas quirúrgicas, instrumentos, válvulas y resortes.
- **Endurecidos por precipitación (PH).** Estos aceros contienen cromo y níquel además de cobre, aluminio, titanio o molibdeno. Tienen una buena resistencia a la corrosión y una buena ductilidad, y una elevada resistencia a temperaturas altas. Su aplicación principal se encuentra en componentes estructurales de aeronaves y vehículos espaciales.
- **Estructura Dúplex.** Estos aceros tienen una mezcla de austenita y ferrita. Tienen buena resistencia y tienen una resistencia más alta, tanto a la corrosión (en la mayor parte de los ambientes) como al agrietamiento por esfuerzo corrosión, que los aceros austeníticos de la serie (300). Las aplicaciones típicas se encuentra en componentes para las plantas de tratamiento de agua y en intercambiadores de calor [12].

## 5.2. MOTORES ELÉCTRICOS.

Los motores eléctricos convierten la electricidad en energía mecánica apta para mover los accionamientos de una variedad de equipos; son utilizados en tornos, ventiladores, extractores, bandas transportadoras, bombas de agua, compresores, taladros y en múltiples aplicaciones en las empresas.

El funcionamiento de un motor se logra circulando corriente eléctrica en el embobinado de cobre de la parte fija (estator), lo cual genera un campo magnético. Al interactuar con el campo magnético de la parte móvil (rotor), se produce el movimiento de giro. El motor eléctrico usa los polos magnéticos (que funcionan como imanes) para producir el movimiento del rotor. Este movimiento es transmitido al exterior por medio de un eje o flecha para accionar equipos mecánicos.

La potencia de salida mecánica del motor está definida por el torque y la velocidad. El torque se refiere al equivalente de una fuerza por distancia que es capaz de ejercer un motor en cada giro, la velocidad es la cantidad de veces que gira el eje del motor en un minuto [13].



Figura 5.1. Motores eléctricos.

## 5.2.1. TIPOS DE MOTORES.

### Motores de corriente directa y corriente alterna.

#### Motores de corriente directa:

Los motores de corriente directa o continua presentan la ventaja de tener una gran capacidad para regular su velocidad de rotación, lo cual los hace necesarios en ciertos tipos de aplicaciones en las que se precisa un ajuste fino de la velocidad y el torque.

No obstante, los motores de corriente directa necesitan una alimentación eléctrica diferente a la que suministran las empresas de distribución, por ello, utilizan equipos adicionales como rectificadores de potencia, en los que la corriente alterna es convertida a directa y, en ocasiones, se requiere instalar baterías de reserva, lo cual incrementa los costos iniciales de este tipo de motor [13].

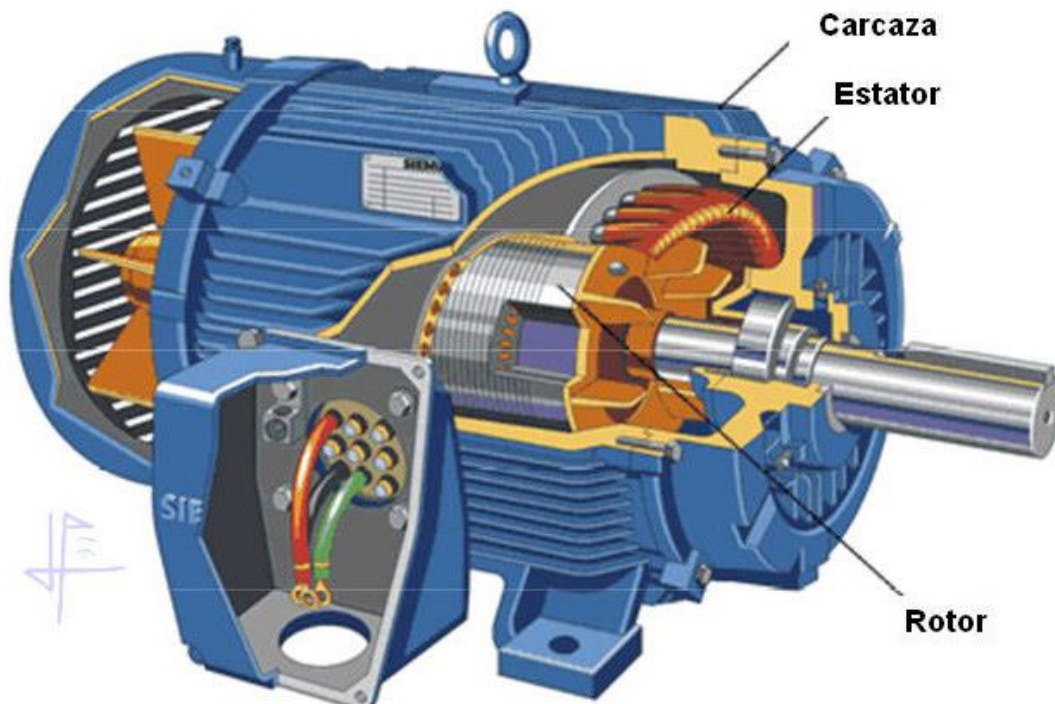


Figura 5.2. Algunas partes de un motor eléctrico.

## Motores de corriente alterna:

Por las grandes ventajas que tiene de recibir la corriente alterna de la empresa de distribución eléctrica, la gran mayoría de los equipos que requieren de un motor eléctrico utilizan los de corriente alterna, preferentemente en forma trifásica, aunque existen muchos de baja potencia que reciben sólo una fase eléctrica (denominados monofásicos).

Los motores de corriente alterna también pueden variar la velocidad y torque que entregan al equipo acoplado, para ello deben instalarse en combinación con un regulador electrónico de velocidad variable, conocidos en el lenguaje industrial como “drivers”, “variadores de frecuencia” o “convertidores de frecuencia variable” .



Figura 5.3. Motor de corriente alterna.

Los motores de corriente alterna se clasifican en síncronos y asíncronos (o de inducción).

En los síncronos, el eje gira a la misma velocidad que lo hace el campo magnético, mientras que en los asíncronos el eje revoluciona a una velocidad poco menor a la del campo magnético.

La velocidad de giro de un motor eléctrico es determinada por el número de polos.

Magnéticos: cuantos más polos, el motor revolucionará más lentamente.

La siguiente tabla indica la velocidad de giro del campo magnético en función del número de polos para una frecuencia de alimentación de 60 Hertz [13].

No. De Polos	2	4	6	8	10	12
Velocidad en rpm	3600	1800	1200	900	720	600

Tabla 5.1. Números de polos de los motores.

### 5.3. REDUCTORES Y MOTORREDUCTORES.

Los reductores o motorreductores son apropiados para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad en una forma segura y eficiente.

Las transmisiones de fuerza por correa, cadena o trenes de engranes que aún se usan para la reducción de velocidad presentan ciertos inconvenientes.

Al emplear reductores o motorreductores se obtiene una serie de beneficios sobre estas otras formas de reducción. Algunos de estos beneficios son:

- Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
- Una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.
- Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el mantenimiento.
- Menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.
- Menor tiempo requerido para su instalación.

Los motorreductores se suministran normalmente acoplado a la unidad reductora un motor eléctrico normalizado asíncrono tipo jaula de ardilla, totalmente cerrado y refrigerado por ventilador para conectar a redes trifásicas de 220/440 voltios y 60 Hz.

Para proteger eléctricamente el motor es indispensable colocar en la instalación de todo motorreductor un guarda motor que limite la intensidad y un relé de sobrecarga. Los valores de las corrientes nominales están grabados en placas de identificación del motor.

## **Guía para la elección del tamaño de un reductor o motorreductor.**

Para seleccionar adecuadamente una unidad de reducción debe tenerse en cuenta la siguiente información básica:

### **Características de operación.**

Potencia (HP tanto de entrada como de salida).

Velocidad (RPM de entrada como de salida).

Torque (par) máximo a la salida en kg-m.

Relación de reducción (I).

### **Características del trabajo a realizar.**

Tipo de maquina motriz (motor eléctrico, a gasolina, etc.).

Tipo de acople entre máquina motriz y reductor.

Tipo de carga uniforme, con choque, continua, discontinua etc.

Duración de servicio horas/día.

Arranques por hora, inversión de marcha.

### **Condiciones del ambiente.**

Humedad.

Temperatura.

### **Ejecución del equipo.**

Ejes a 180° o 90°.

Eje de salida horizontal, vertical, etc.



## **Potencia de selección (Pn).**

Es difícil de encontrar en la práctica, que una unidad de reducción realice su trabajo en condiciones ideales, por tanto, la potencia requerida por la máquina accionada, debe multiplicarse por un factor de seguridad, factor que tiene en cuenta las características específicas del trabajo a realizar y el resultado, llamado potencia de selección, es el que se emplea para determinar el tamaño del reductor en las tablas de selección.

Potencia de selección (Pn)= Potencia requerida (Pr) X Fs.

En algunos casos los reductores se determinan no por la potencia sino por los torques de selección. El torque y la potencia están relacionados mediante la siguiente función:

$716.2 \times P_n$  (HP)

Tn (kg-m)

N (RPM)

Para las tablas de selección:

Pn= HP de salida y Tn = Torque

Pn está dada por  $P_n = HP \text{ entrada} \times n$ , donde n, =eficiencia del reductor.

Para condiciones especiales como para altas frecuencias de arranque parada o de inversiones de marche en el motor, alta humedad o temperatura ambiente y construcciones o aplicaciones especiales es conveniente consultar con el departamento técnico [14].

TIPO DE MOTOR QUE ACCIONA EL REDUCTOR	HORAS/DIA	TIPO DE CARGA		
		UNIFORME	MEDIA	CON CHOQUES
MOTOR ELECTRICO ENTRADA CONSTANTE	2	0.9	1.1	1.5
	10	1.0	1.25	1.75
	24	1.25	1.50	2.00
MOTOR DE COMBUSTION DE VARIOS CILINDROS MEDIANTE IMPULSIVA	2	1	1.35	1.75
	10	1.25	1.50	2.00
	24	1.5	1.75	2.50

Tabla 5.2. Tabla de factores de servicio.

### 5.3.1 FACTOR DE SERVICIO (F.S.).

El factor de servicio (F.S.) es un número que nos indica el grado de producción con el que opera nuestro reductor de velocidad, y depende básicamente del tiempo de operación diaria y de tipo de servicio al que será sometido [14].

Se calcula a partir de la siguiente tabla:

Duración del servicio Tiempo total de operación por día	Clasificación de carga Máquina movida								
	Con Motor Eléctrico			Con Motor Combustión (un cilindro)			Con Motor de combustión (multicilindro)		
	Uniforme	Choque moderado	Choque pesado	Uniforme	Choque moderado	Choque pesado	Uniforme	Choque moderado	Choque pesado
Ocasionales ½ hr.	0.80	0.90	1.00	1.00	1.25	1.50	.90	1.00	1.25
Intermitente 2 hrs.	0.90	1.00	1.25	1.25	1.50	1.75	1.00	1.25	1.50
Hasta 10 hrs.	1.00	1.25	1.50	1.50	1.75	2.00	1.25	1.50	1.75
Hasta 24 hrs.	1.25	1.50	1.75	1.75	2.00	2.25	1.50	1.75	2.00

Tabla 5.3. Duración de los tiempos de operación de los motores.

Para casos donde se tengan frecuentes paradas y arranques (10 arranques por hora), debe usarse la siguiente tabla:

	Con Motor Eléctrico		
<b>Ocasionales ½ hr.</b>	<b>0.90</b>	<b>1.00</b>	<b>1.25</b>
<b>Intermitente 2 hrs.</b>	<b>1.00</b>	<b>1.25</b>	<b>1.50</b>
<b>Hasta 10 hrs.</b>	<b>1.25</b>	<b>1.50</b>	<b>1.75</b>
<b>Hasta 24 hrs.</b>	<b>1.50</b>	<b>1.75</b>	<b>2.00</b>

Tabla 5.4. Duración del tiempo de operación de un motor eléctrico.

### Como seleccionar un reductor.

Debe tomarse en cuenta que clase de motor lleva nuestra máquina: motor eléctrico, de combustión, o cualquier otro; la máquina que se va amover; las horas diarias a operar; la velocidad de entrada al reductor; la velocidad de salida y el par de torsión requeridos.

Las cifras indicadas en las tablas de capacidad de los reductores son consideradas con factor de servicio=1.0, lo cual significa que el trabajo del reductor será de 8 – 10 horas diarias, con movimiento uniforme, sin choques ni arranques frecuentes. Cuando la unidad

opera entre otras condiciones, hay que aplicar el factor de servicio adecuado al trabajo, según indique la tabla respectiva [14].

#### 5.4. TEORÍA DEL ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO.

Esta será una de las teorías que más se usará en el diseño de los componentes, principalmente en las flechas. La teoría del esfuerzo cortante máximo (MSST por sus siglas en inglés), fue propuesto por Coulomb, pero fue descubierto independientemente por Tresca y, por lo tanto se llama criterio de fluencia de Tresca. Sus observaciones condujeron a la MSST, la cual estipula que una parte sujeta a cualquier combinación de cargas fallada (por fluencia o por fractura) cuando el esfuerzo cortante exceda un valor crítico. El valor crítico se puede determinar por medio de pruebas estándar de tensión uniaxial estándares.

La evidencia experimental verifica que la MSST es una teoría adecuada para la predicción de la fluencia en materiales dúctiles, y es un enfoque muy popular en el diseño. Si la nomenclatura  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$  se usa para los esfuerzos principales, el esfuerzo cortante máximo dice que la fluencia ocurrirá cuando:

$$\sigma_1 + \sigma_3 = \frac{S_y}{n_s} \dots \dots \dots (a)$$

Dónde:

$S_y$  = esfuerzo de fluencia del material.

$n_s$  = factor de seguridad.

Para un estado de esfuerzo tridimensional, la teoría del esfuerzo cortante máximo proporciona una envolvente que describe las combinaciones de esfuerzo que causan la fluencia. La curva que se define por el criterio de fluencia se conoce como lugar geométrico de fluencia. Cualquier estado de esfuerzo en el interior del lugar geométrico de fluencia resulta en que el material sea deformable elásticamente. Los puntos fuera del lugar geométrico de fluencia no son posibles porque cualquier estado de esfuerzos causaría la fluencia en el sólido antes de que se pudieran obtener estos esfuerzos. Por lo tanto, cualquier cálculo por medio del cual se prediga un estado de esfuerzo fuera del lugar geométrico de fluencia predice la falla. Si se tiene una situación que incremente la

resistencia del material (como la velocidad de deformación o el trabajo de endurecimiento), el lugar geométrico de fluencia se expande, de manera que el resultado no será necesariamente la fractura [5].

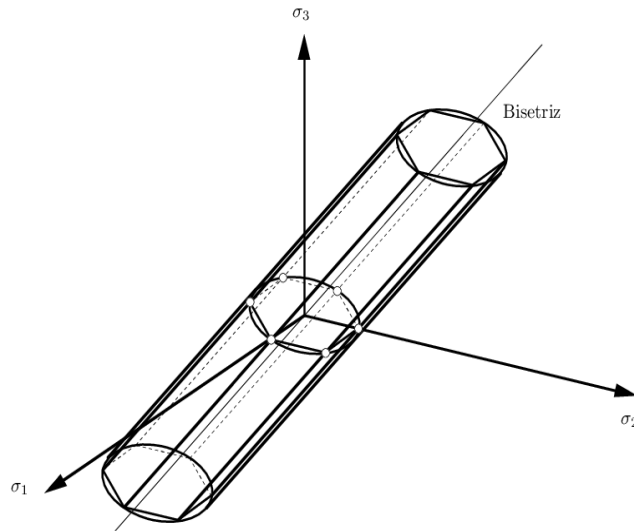


Figura 5.4.

Es útil presentar el criterio de fluencia en un detalle de esfuerzos plano, para el cual habrá dos esfuerzos principales en el plano, así como un esfuerzo principal igual a 0, perpendicular al plano. En el siguiente esfuerzo cortante máximo. Los esfuerzos principales que se usan están identificados como  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  e indica que el orden normal de los esfuerzos ( $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ ) no se está aplicando [5].

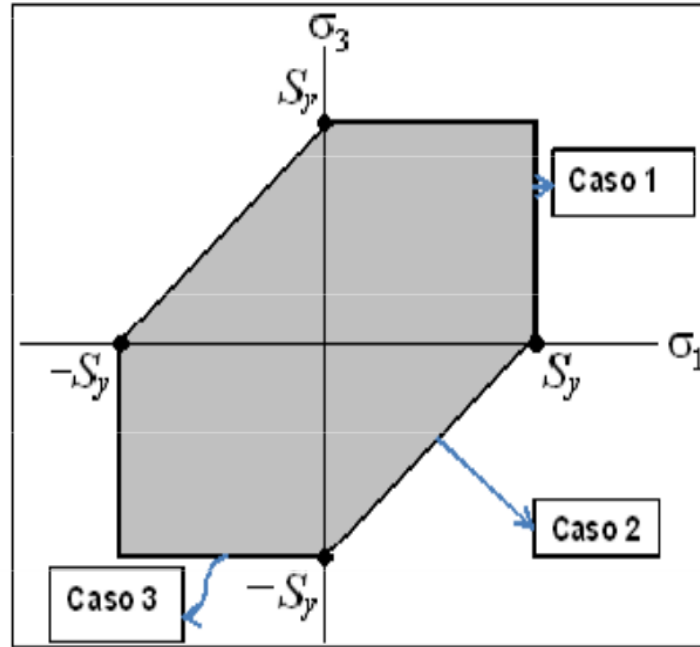


Figura 5.5.

## 5.5. TEORÍA DE LA ENERGÍA DE DISTORSIÓN.

Esta teoría es muy útil para realizar una comprobación de resultados de los cálculos obtenidos de la teoría de esfuerzo cortante máximo. La teoría de la energía de la distorsión (DET por sus siglas en ingles), también conocido como el criterio de Von Mises, postula que se la falla es causada por la energía elástica asociada con la deformación por cortante. Esta teoría es válida para materiales dúctiles y predice la fluencia bajo cargas combinadas con mayor exactitud que cualquier otra teoría reconocida (aunque las diferencia entre la DET y la MSST son pequeñas).

La DET se puede derivar matemáticamente en una variedad de formas; pero una de las más directas es usar el concepto de los esfuerzos octaédricos; el esfuerzo cortante octaédrico producido por tensión uniaxial ( $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ ) es:

$$T_{oct} = \frac{2^{1/2}}{3} \sigma_1$$

El esfuerzo octaédrico máximo ocurre en

$$(T_{oct})_{\text{limite}} = \frac{2}{3}^{1/2} \sigma_e$$

Dónde:

$$\sigma_e = \text{esfuerzo de Von Mises, Pa}$$

Para un estado de esfuerzos triaxial

$$\sigma_e = \frac{1}{(2)^{1/2}} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2]^{1/2}$$

Para un estado de esfuerzos biaxial, suponiendo  $\sigma_3 = 0$

$$\sigma_e = [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_1\sigma_2]^{1/2}$$

De esta forma, la DET predice la falla si

$$\sigma_e \geq \frac{S_y}{n_s}$$

En relación con la MSST, la DET tiene la ventaja de que el criterio de fluencia es continuo en su primera derivada, una consideración importante para su aplicación en la plasticidad [5].

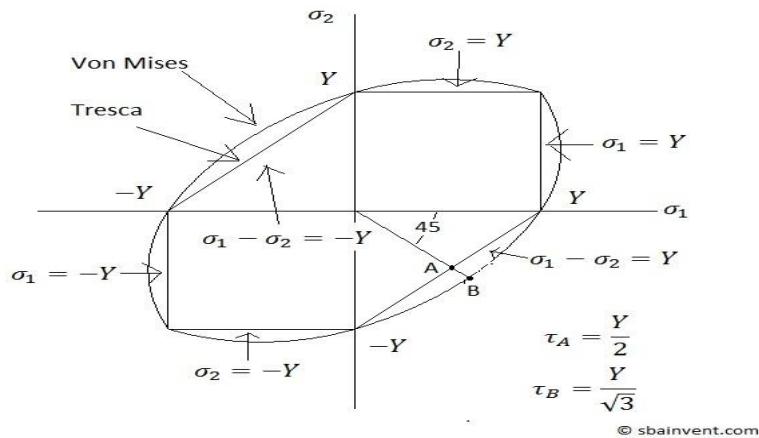


Figura 5.6.

## 5.6. SELECCIÓN DEL RODAMIENTO.

El rodamiento o cojinete de rodadura es un elemento mecánico que se sitúa entre dos componentes de una máquina, con un eje de rotación común, de forma que un componente puede girar respecto al otro.

Se utiliza en las máquinas rotativas como apoyo o soporte de los elementos portadores:

- Soporte de ejes: anillo interior fijo y anillo exterior móvil.
- Soporte de árboles: anillo exterior fijo y anillo interior móvil.

Sistema mecánico diseñado para que los rozamientos originados durante el giro no sean de deslizamiento (cojinetes) si no de rodadura.

Los elementos rodantes (bola o rodillo) y los elementos soporte (anillo o disco) se fabrican en aceros duros, con alta resistencia a la fatiga y al desgaste, con una dureza del orden de 500-700° Brinell [7].



Figura 5.7. Jaula embutida de chapa de acero de solapas para rodamiento rígido de bolas.



Figura 5.8. Jaula mecanizada de poliamida para rodamiento de bolas de contacto angular.



Figura 5.9. Jaula moldeada de poliamida para rodamiento de rodillos cilíndricos.



Figura 5.10. Jaula mecanizada de bronce para rodamiento de rodillos esféricos.



## Clasificación.

Según la dirección de la carga.

- Radiales.
- Axiales (o de empuje).
- Mixtos.

Según el elemento de soporte.

- De anillos.
- De discos.

Según la inclinación del eje o del árbol.

- Rígidos (no permiten la oscilación del rodamiento respecto al árbol en la dirección axial (plano normal al plano de giro de los elementos rodantes)).
- Pivotes (permiten cierta oscilación según la dirección axial).

Según el elemento rodante.

- Bolas (contacto puntual).
- Rodillos (contacto lineal).
  - Cónicos (forma de tronco cónico).
  - Cilíndricos.
  - De agujas (cilíndrico  $L/d > 2.5$ ).
  - esféricos (forma de tonel)
    - simétricos.
    - asimétricos.

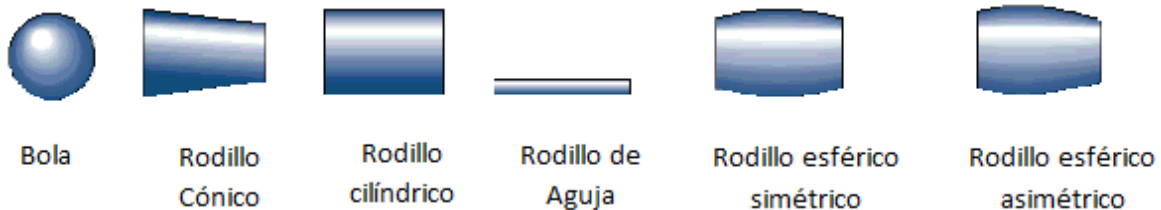


Figura 5.11. Tipos de rodamientos

## **Rodamientos de bolas o de rodillos.**

Para rodamientos de tamaño similar:

- Los rodamientos de rodillos admiten más carga que los de bola.
- Los rodamientos de bolas pueden girar a más velocidad.
- Los rodamientos de bolas son diseñados para soportar una determinada carga (radial o axial) admiten también una pequeña carga en sentido diferente al principal, los de rodillos no.

Los rodamientos de rodillos necesitan tolerancias y acabados de las pistas muy rígidos pues no admiten desalineación [7].

## **5.7. MEDIDORES DE PRESIÓN.**

Los medidores de presión son instrumentos de precisión fabricados para medir la presión sanguínea, la presión de líquidos y gases en tuberías o tanques de almacenamiento y la presión atmosférica, a grandes rasgos, teniendo para cada uso diversos equipos disponibles de acuerdo a las necesidades.

Dependiendo de las aplicaciones de los medidores de presión, son las unidades disponibles para sus resultados, además de que algunos reciben nombres diferentes dependiendo también del tipo de presión que van a medir [15].

Existen muchas razones por las cuales en un determinado proceso se debe medir presión. Entre estas se tienen:

- Calidad del producto, la cual frecuentemente depende de ciertas presiones que se deben mantener en un proceso.
- Por seguridad, como por ejemplo, en recipientes presurizados donde la presión no debe exceder un valor máximo dado por las especificaciones del diseño.
- En aplicaciones de medición de nivel.
- En aplicaciones de medición de flujo.

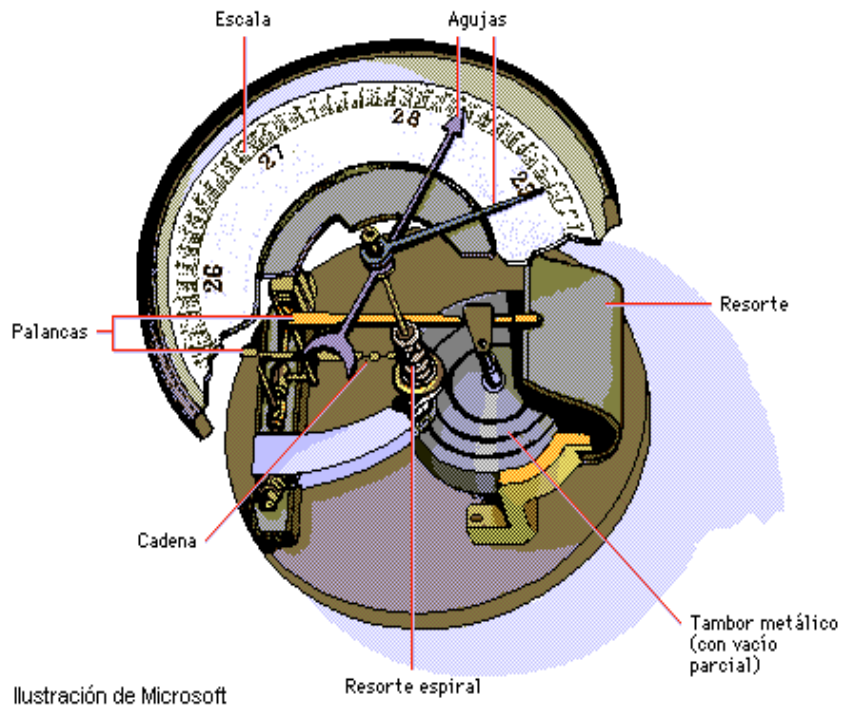


Figura 5.13. Partes de un medidor de presión.

### 5.7.1. INSTRUMENTOS PARA MEDICIÓN DE LA PRESIÓN.

#### Instrumentos mecánicos.

Los instrumentos mecánicos utilizados para medir presión pueden clasificarse en:

#### Columnas de Líquido:

- Manómetro de Presión Absoluta.
- Manómetro de Tubo en U.
- Manómetro de Pozo.
- Manómetro de Tubo Inclinado.
- Manómetro Tipo Campana.

### **Instrumentos Elásticos:**

- Tubos Bourdon.
- Fuelles.
- Diafragmas.

### **Instrumentos electromecánicos y electrónicos.**

Los instrumentos electromecánicos y electrónicos utilizados para medir presión pueden clasificarse en:

- Medidores de Esfuerzo (Strain Gages).
- Transductores de Presión Resistivos.
- Transductores de Presión Capacitivos.
- Transductores de Presión Magnéticos.
- Transductores de Presión Piezoeléctricos.

Tipo de instrumento	Campo de medida o Rango optimo	Exactitud (%)
Tubo en U	20 ~ 120 cm H <sub>2</sub> O	0,5 ~ 1,0
Manómetro de pozo	10 ~ 300 cm H <sub>2</sub> O	0,5 ~ 1,0
Tubo inclinado	1 ~ 120 cm H <sub>2</sub> O	0,5 ~ 1,0
Manómetro campana	0,5 ~ 100 cm H <sub>2</sub> O	0,5 ~ 1,0
Bourdon simple	0,5 ~ 600 kg/cm <sup>2</sup>	2,0
Bourdon espiral	0,5 ~ 2500 kg/cm <sup>2</sup>	1,5
Bourdon helicoidal	0,5 ~ 5000 kg/cm <sup>2</sup>	1,5
Fuelle	10 cm H <sub>2</sub> O ~ 2 kg/cm <sup>2</sup>	2,0
Diafragma	5 cm H <sub>2</sub> O ~ 2 kg/cm <sup>2</sup>	1,5
Transductor resistivo	0,5 ~ 350 kg/cm <sup>2</sup>	0,5
Transductor capacitivo	0,5 ~ 420 kg/cm <sup>2</sup>	0,2
Transductor magnético	0 ~ 700 kg/cm <sup>2</sup>	0,2
Transductor piezoeléctrico	0 ~ 350 kg/cm <sup>2</sup>	0,2

Tabla 5.5. Principales características de los instrumentos para medir presión.

### **Manómetro de tubo de Bourdon.**

Este medidor de presión tiene una amplia variedad de aplicaciones para realizar mediciones de presión estática; es barato, consistente y se fabrica en diámetros de 2 pulgadas (50 mm) en caratula y tienen una exactitud de hasta 0.1% de la lectura a escala plena; con frecuencia se emplea en el laboratorio como un patrón secundario de presión.

Un manómetro con tubo bourdon en los que la sección transversal del tubo es elíptico o rectangular y en forma de C. Cuando se aplica presión interna al tubo, este se reflexiona elástica y proporcionalmente a la presión y esa deformación se transmite a la cremallera y de esta al piñón que hace girar a la aguja indicadora a través de su eje.

### **Manómetro de tubo abierto.**

Un aparato muy común para medir la presión manométrica es el manómetro de tubo abierto. El manómetro consiste en un tubo en forma de U que contiene un líquido, que generalmente es mercurio. Cuando ambos extremos del tubo están abiertos, el mercurio busca su propio nivel ya que se ejerce una atmósfera de presión sobre cada uno de ellos. Cuando uno de los extremos se conecta a una cámara presurizada, el mercurio se eleva hasta que las presiones se igualan.

La diferencia entre los dos niveles de mercurio es una medida de presión manométrica: la diferencia entre la presión absoluta en la cámara y la presión atmosférica en el extremo abierto. El manómetro se usa con tanta frecuencia en situaciones de laboratorio que la presión atmosférica y otras presiones se expresan a menudo en centímetros de mercurio o pulgadas de mercurio.

### **Barómetros.**

La presión, por definición, es la fuerza aplicada por unidad de superficie, dando cabida a una gran gama de acciones y eventos donde se ejerce y es necesario el uso de medidores de presión para evaluar su magnitud.

Los medidores de presión más conocidos son los barómetros, ya que son utilizados para medir la presión atmosférica como un indicador de los cambios climáticos en cualquier región. Lo que realmente hacen estos barómetros es medir cual es la presión ejercida por el peso de la atmosfera por unidad de superficie, dependiendo del sistema de medición que se utilice [15].

## **5.8. CALDERAS DE VAPOR.**

Una caldera de vapor es todo aparato a presión en donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en utilizable, en forma de calorías, a través de un medio de transporte, en este caso, vapor de agua.

Fundamentalmente existen dos tipos de calderas de vapor que normalmente suelen utilizarse: caldera de tubos de humo o piro-tubulares y calderas de tubos de agua o acuotubulares.

Las calderas de tubos de humo o piro-tubulares se pueden explicar como un cilindro compacto de agua, atravesado longitudinalmente por un haz de tubos por los que circulan la llama y los humos. Lógicamente, los humos y la llama pasaran por el interior de los tubos de acero, los cuales estarán rodeados de agua.

En el caso de las calderas acuotubulares, el agua está en parte o casi toda contenida en haces de tubos de acero rodeados por la llama y los gases calientes de la combustión. Teniendo en cuenta el elevado número de tubos que pueden instalarse, la superficie de calefacción puede ser muy grande para dimensiones relativamente reducidas. Por esta razón, su puesta a régimen es muy rápida, teniendo la posibilidad de producir vapor a elevadas presiones.

En algunas ocasiones suele encontrarse un tipo de calderas llamadas de vaporización instantánea utilizables en ciertas aplicaciones industriales o alimentarias en donde es necesario disponer de vapor a mediana presión de forma intermitente. Son muy compactas y de poco volumen de agua [9].

### **Clasificación de las calderas por su tecnología.**

Las calderas o generadores son equipos que, aplicando el calor de un combustible gaseoso, líquido o sólido mediante quemador especialmente diseñado para cada combustible, calientan el agua hasta 95 °C (calderas de agua caliente), por encima de los 100 °C (calderas de agua sobrecalentada), y calientan agua y producen su cambio de estado de fase líquida a fase gaseosa (calderas de vapor), o calientan un fluido calor portador diferente al agua (calderas de fluido térmico).

## **Selección del tipo de caldera.**

Los parámetros principales que se han de tener en cuenta a la hora de seleccionar el tipo de caldera son los siguientes:

- Potencia útil (para las calderas de agua caliente, agua sobrecalentada y fluido térmico) según el requerimiento térmico de la instalación a la cual van alimentar.
- Producción de vapor (para las calderas de vapor) según el consumo de vapor necesario en el proceso.
- Presión de trabajo en continuo (para todos los tipos) de acuerdo con la presión necesaria en el consumidor más alejado del centro de producción.
- Temperatura de trabajo en continuo, según el requerimiento constante de la instalación.

## **Superficie de calefacción de una caldera.**

La caldera es la parte principal de un generador de vapor, en donde una superficie recibe una cantidad de calor proveniente de una fuente de energía, producida por medio de la combustión continua de aire-combustible, que calienta a los gases de combustión que se encuentran en contacto con la superficie mencionada, esta superficie transmite calor a un líquido sub-enfriado hasta que el líquido alcanza la temperatura de ebullición o de saturación, convirtiéndose el líquido en vapor ya sea húmedo o seco saturado. Por lo general el líquido utilizado es agua.

La operación de un generador de vapor comprende; la conversión del potencial energético del combustible, en energía térmica y la transformación de energía a un medio, el cual se puede utilizar como trabajo útil.

Por todo lo anterior se puede decir que la función principal de la caldera es; proveer un medio por el cual los gases de la combustión transmitan su calor hacia el líquido o vapor, el cual se desea elevar a la temperatura de ebullición o saturación, para convertirlo en un medio útil.

Los procedimientos anteriores se logran mediante el fenómeno de transmisión de calor. Los elementos de la transmisión de calor son fundamentalmente simples en la explicación



teórica. Sin embargo, en la aplicación práctica, la transmisión de calor es complicada, debido a las constantes variaciones en las condiciones de trabajo, irregularidades en la superficie de calefacción y aparición simultánea de otros factores de importancia [9].

Las transmisiones de calor en una caldera se presentan en sus tres formas:

- La radiación.
- La convección.
- La conducción.

Las calderas se clasifican de acuerdo a la forma en que los gases entran en contacto con la superficie de calefacción, que generalmente está formando por muchos tubos, y se les nombra por caldera de tubos de humo y calderas de tubos de agua.

- En las calderas de tubos de humo; los gases calientes circulan en el interior de los tubos y el líquido térmico (agua) rodea la superficie exterior de los tubos calefactores de la caldera. Este tipo de calderas están diseñadas para bajas presiones.
- En las calderas de tubos de agua; los gases circulan en la superficie exterior de los tubos y el líquido inunda el interior de los tubos. Con relación a la circulación del flujo térmico de los tubos de la caldera, estas pueden ser:
  - Calderas de tubos de agua de circulación natural, cuya limitante de presión es aproximadamente  $169 \text{ kg./cm}^2$ .
  - Calderas de tubos de agua de circulación forzada, que se encuentran en un rango de presiones de trabajo de 170 a  $350 \text{ kg./cm}^2$ . Este tipo de calderas a su vez se clasifican en;
    - calderas de circulación controlada para presiones de 170 hasta  $180 \text{ kg./cm}^2$ .
    - en calderas de circulación de un paso para presiones de 180 a  $350 \text{ kg./cm}^2$ .

## Consideraciones para el diseño de una caldera.

- El tipo de caldera influye directamente sobre el cálculo de la superficie de calefacción.
- Disponer de una superficie de absorción de calor, que extraiga el calor máximo disponible de los productos de la combustión, será siempre un problema básico a resolver en el diseño de una caldera.
- La circulación del vapor y la del agua son fundamentales y decisivos para la efectividad de la superficie transmisora de calor.
- Las características del combustible empleado es un factor importante. Para efectos de cálculo es necesario conocer el valor calórico del combustible a emplear y la emisividad de la flama.
- Para mantener una combustión es indispensable suministrar aire y desfogar los productos de la combustión. De esto se genera una velocidad adicional de los gases de combustión.
- La presión de trabajo requerida es parte de los datos necesarios.
- La caída de temperatura de los gases, es decir la temperatura y la diferencia de las mismas entre la salida y la entrada de la caldera son parte fundamental.
- Los requisitos de calidad de vapor afectan parte del diseño de la caldera.
- La temperatura final de los gases de combustión, está limitada por el punto de condensación.
- Los materiales y métodos de construcción están controlados por los requisitos para trabajo a presión, y por el código ASME para calderas y tanques de presión [9].

## 5.9. TRANFERENCIA DE ENERGÍA.

La energía se puede transferir hacia una masa dada, o desde esta, por dos mecanismos: calor  $Q$  y trabajo  $W$ . Una interacción energética es transferencia de calor si su fuerza propulsora es una diferencia de temperatura. De lo contrario es trabajo.

Asimismo, la transferencia de calor hacia un sistema con frecuencia se menciona como adición de calor y la transferencia de calor hacia fuera de un sistema como rechazo de calor.

La cantidad de calor transferido durante el proceso se denota por  $Q$ . la cantidad de calor transferido por unidad de tiempo se llama velocidad de transferencia de calor y se denota por  $\dot{Q}$ . El punto de arriba representa la derivada respecto al tiempo, o por unidad de tiempo.

$$Q = \dot{Q}\Delta t \quad (\text{J})$$

La velocidad de transferencia de calor por unidad de área perpendicular a la dirección de esa transferencia se llama flujo de calor y el flujo promedio de calor se expresa como.

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} \quad \left(\frac{W}{m^2}\right)$$

Donde  $A$  es el área de transferencia de calor [1].

## 5.10. BALANCE DE ENERGÍA PARA SISTEMAS DE FLUJO ESTACIONARIO.

La cantidad de masa que fluye a través de una sección transversal de un aparato de flujo, por unidad de tiempo, se llama gasto de masa y se denota por  $\dot{m}$ . Un fluido puede fluir hacia adentro o hacia afuera de un volumen de control a través de tubos o ductos. El gasto de masa de un fluido que fluye en un tubo o ducto es proporcional al área de la sección transversal  $A_c$ . A menudo se puede considerar, en forma aproximada, que el flujo de un fluido por un tubo o ducto es unidimensional. Es decir, se puede suponer que las propiedades varían solo en dirección a la del flujo. En la aproximación de flujo unidimensional, el gasto de masa de un fluido que fluye en un tubo o ducto se puede expresar como.

$$\dot{m} = \rho V A_c \quad (\text{kg/s})$$

En donde  $\rho$  es la densidad del fluido,  $V$  es la velocidad promedio del mismo en dirección del flujo y  $A_c$  es el área de la sección transversal del tubo o ducto.

El volumen de fluido que fluye por un tubo o ducto por unidad de tiempo se llama gasto volumétrico  $\dot{V}$  y se expresa como.

$$\dot{V} = V A_c = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Par un sistema de flujo estacionario con una entrada y una salida, la velocidad del flujo de masa hacia adentro del volumen de control debe ser igual a la velocidad del flujo de masa hacia fuera de él; es decir,  $\dot{m}_{ent} = \dot{m}_{sal} = \dot{m}$ . Cuando los cambios en las energías cinética y potencial son despreciables, que es el caso más común, y no se tiene interacción de trabajo, el balance de energía para tal sistema de flujo estacionario se reduce a.

$$\dot{Q} = \dot{m}\Delta h = \dot{m}C_p\Delta T \quad (kJ/s)$$

En donde  $\dot{Q}$ , es la velocidad de transferencia de neta de calor hacia adentro o hacia afuera del volumen de control [1].

### 5.11. CONDUCCIÓN.

La conducción es la transferencia de energía en las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio.

La velocidad de conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de este, su espesor y el material del que está hecho, así como la diferencia de temperatura a través de él.

Por tanto, se concluye que la velocidad de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y el área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa, es decir.

$$\dot{Q}_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (W)$$

En donde la constante de proporcionalidad  $k$  es la conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad de un material para conducir calor [1].

### 5.11.1. CONDUCCIÓN DE CALOR EN CILINDROS.

Considera la conducción estable de calor a través de un tubo de agua caliente. El calor se pierde en forma continua hacia el exterior a través de la pared del tubo e, intuitivamente, se siente que la transferencia de calor a través de este se efectúa en la dirección normal a su superficie y no se tiene alguna transferencia significativa en otras direcciones. La paredes del tubo cuyo espesor es más bien pequeño, separa dos fluidos a temperaturas diferentes y, en consecuencia, el gradiente de temperatura en dirección radial será relativamente grande. Además si las temperaturas de los fluidos, dentro y fuera del tubo, permanecen constantes, entonces la transferencia de calor a través de ese tubo, permanecen constantes, entonces la transferencia de calor a través de ese tubo es estacionaria.

$$\dot{Q}_{cond,cil} = \frac{T_1 - T_2}{R_{cil}} \quad (W)$$

Donde

$$R_{cil} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi kL} = \frac{\ln(\text{radio exterior}/\text{radio interior})}{2\pi \times (\text{longitud}) \times (\text{conductividad termica})}$$

Es la resistencia térmica de la capa térmica contra la conducción de calor o simplemente, la resistencia a la conducción de la capa cilíndrica [1].

### 5.12. AISLAMIENTOS TÉRMICOS.

Los aislamientos térmicos son materiales o combinaciones de materiales que se usan para suministrar resistencia al flujo de calor. La mayor parte de ellos son materiales heterogéneos, los cuales tienen baja conductividad térmica y contienen bolsas de aire. Esto no es sorprendente, ya que el aire tiene una de las conductividades térmicas más bajas y se dispone de el con facilidad.

La diferencia de temperatura es la fuerza impulsora para el flujo de calor y entre más grande sea, mayor será la velocidad de transferencia de calor. Se puede retardar el flujo de calor entre dos medios a diferentes temperaturas poniendo barreras sobre la trayectoria de ese flujo.

Los aislamientos térmicos son esas barreras y desempeñan un papel importante en el diseño y la fabricación de todos los aparatos o sistemas energéticamente eficientes [1].

### **Razones para aislar.**

Conservación de la energía. Conservar la energía mediante la reducción de velocidad del flujo de calor es la razón principal de las superficies aisladoras.

Protección y comodidad personales. Una superficie que está demasiado caliente representa un peligro para las personas que trabajan en esa zona, ya que pueden tocar accidentalmente la superficie y sufrir quemaduras.

Mantenimiento de la temperatura del proceso. En la industria química algunos procesos son sensibles a la temperatura y puede ser necesario aislar fuertemente los tanques en los que se llevan a cabo así como las secciones de flujo con el fin de mantener la misma temperatura en toda su extensión.

Reducción de la variación y las fluctuaciones de la temperatura. la temperatura en un recinto puede variar mucho entre la sección media y los bordes si no se encuentra aislado.

Prevención de la condensación y la corrosión. El vapor de agua que existe en el aire se condensa sobre as superficies cuya temperatura están por debajo del punto de rocío, y las superficies exteriores de los tanques o tubos que contienen un fluido frio con frecuencia caen por debajo de la temperatura de roció, a menos que cuente con un aislamiento adecuado. El agua líquida sobre las superficies expuestas de los tanques o tubos metálicos puede fomentar la corrosión así como el desarrollo de algas.

Protección contra incendios. Se puede minimizar el daño durante un incendio al conservar los combustibles valiosos en una caja segura que este bien aislada.

Reducción del ruido y la vibración. Un beneficio adicional del aislamiento térmico en su capacidad para amortiguar el ruido y las vibraciones.

En el mercado existe una amplia variedad de materiales para aislamiento, pero la mayor parte están fabricados con fibra de vidrio, lana mineral, polietileno, espuma o silicato de calcio [1].

## El valor de resistencia térmica del aislamiento.

El cuál es la resistencia térmica del material por unidad de área superficial. Para el aislamiento plano el valor R se obtiene simplemente al dividir el espesor de ese aislamiento entre su conductividad térmica. Es decir:

$$\text{Valor } R = \frac{L}{k}$$

Donde L es el espesor y k es la conductividad térmica del material. Para aislamiento de tubos, el valor R se determina mediante la relación de la resistencia térmica a partir de.

$$\text{Valor } R = \frac{r_2}{k} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Donde  $r_1$  es el radio interior del aislamiento y  $r_2$  es el radio exterior del mismo. Una vez que se cuenta con el valor R, se puede determinar la velocidad de transferencia de calor a través del aislamiento a partir de la siguiente fórmula.

$$Q = \frac{\Delta T}{R - \text{Valor}} \times \text{Area}$$

Donde  $\Delta T$  es la diferencia de temperatura a través del aislamiento y área es el área superficial exterior para un cilindro [1].

## CAPÍTULO 6:

### DISEÑO DE COMPONENTES.

En este capítulo se diseñan y calculan los componentes del recipiente.

El cual debe calentar la leche hasta una temperatura de 65 °C y mantenerla en esa temperatura durante un tiempo de 30 min. Y luego bajar la temperatura hasta una temperatura de 3 °C. Con una agitación de 35 rpm para que la leche no se pegue y haya un calentamiento uniforme.

#### 6.1. DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE.



Figura 6.1.

$$V = \pi r^2 h$$

$$h = \frac{V}{\pi r^2} \dots\dots\dots (1)$$

$$A = 2\pi r^2 + 2\pi r h \dots\dots\dots (2)$$

Se sabe que  $V = 100 \text{ L.} = 0.1\text{m}^3$  sustituyendo ec. 1 en ec. 2

$$A = 2\pi r^2 + 2\pi r \left[ \frac{V}{\pi r^2} \right] = 2\pi r^2 + \frac{2V}{r}$$

Además  $V = 0.1\text{m}^3$

$$A = 2\pi r^2 + \frac{0.2}{r}$$



Derivando esta ecuación se obtiene:

$$\frac{dA}{dr} = 4\pi r - \frac{0.2}{r^2}$$

$$4\pi r^3 - 0.2 = 0$$

$$r = 0.2515\text{m} \approx 0.26\text{m}$$

Sustituyendo en la ec. 1

$$h = \frac{0.1}{\pi r^2} = 0.5\text{m}$$

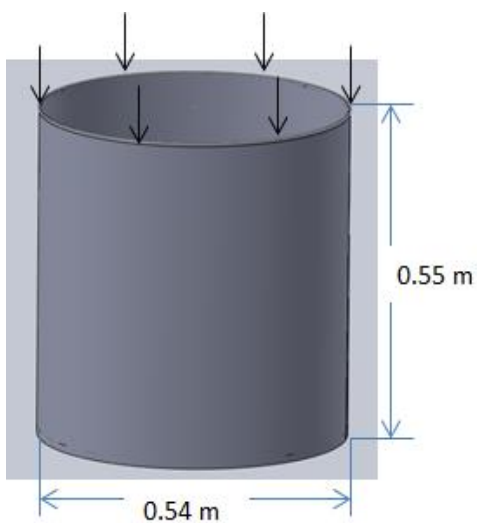
Debido a los cálculos realizados y resultados obtenidos se llega a la conclusión de tomar determinadas medidas;

$$r = 0.27\text{m}$$

$$h = 0.55\text{m}$$

## 6.2. CÁLCULO DE LA PLACA DE ACERO.

Se calcula el espesor de la placa de acero que se utilizara para la construcción del tanque, en otras palabras calcularemos el calibre de la lámina.



$$\omega = 50\text{kg} \therefore F = 50(9.81) = 490.5 \text{ N} \text{ ----- (a)}$$

$$\sigma = \frac{P_{\max} r}{2t} \text{ ----- (b)}$$

$$t = \frac{P_{\max}}{2\sigma_{\text{perm}}} \text{ ----- (c)}$$

Figura 6.2.

para un  $F = 50\text{kg}(9.81) = 490.5 \text{ N}$

$$P_{\max} = \frac{F}{2\pi r t} = \frac{490.5}{(2)(\pi)(0.27)t} = \frac{289.131}{t}$$

Considerando factor de seguridad F.S.=3 y  $\sigma_y = 280 \text{ MPa}$

$$\sigma_{\text{perm}} = \frac{280 \times 10^6}{3} = 93.33 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Sustituyendo los valores anteriores en ec. (c)

$$t = \frac{\left(\frac{289.131}{t}\right)(0.27)}{2(93.33 \times 10^6)} = (186.66 \text{ MPa})t^2 = 78.06537$$

$$\therefore t = \sqrt{\frac{78.06537}{186.66 \times 10^6}} = 6.467 \times 10^{-4} \text{ m} = 0.6467 \text{ mm}$$

Para mayor seguridad y fácil suministro comercial se utilizará placa de acero inoxidable calibre 14 que corresponde a un espesor de 1.897 mm.

### 6.3. MEZCLA MECÁNICA Y AGITACIÓN.

Existen distintos tipos de métodos para llevar a cabo una mezcla, sin embargo frecuentemente se emplean mezcladores mecánicos y agitadores para crear condiciones uniformes en el tanque. Los procesos que requieren tales incluyen: la mezcla de dos fluidos, la dispersión de gases en el líquido, la disolución de sólidos (tal como sales) en líquidos, la distribución de partículas a través del tanque (floculación) o la aceleración de transferencia de calor [2].

#### Tipos de agitadores.

Los aparatos mecánicos pueden ser activados, los cuales mezclan a través de la entrada externa de energía hacia una hélice con alabes o aparatos pasivos en los cuales se diseña la geometría del recipiente para que haya trayectorias irregulares de flujo y, por lo tanto, se aumenta la mezcla. Los aparatos basados en pantallas sirven para aumentar los

tiempos de detención y por consiguiente tiene función dual.

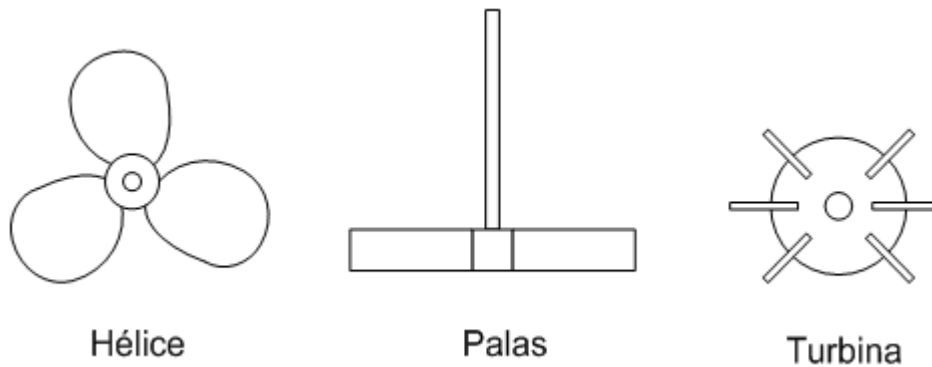


Figura 6.3.

Los agitadores de paletas se utilizan en instalaciones de baja velocidad y, por lo general, tienen incrementos de números pares de paletas (2, 4, etc...). A mayor velocidades de rotación se desarrollan desbalances y se requiere un número impar de alabes (3, 5, etc...). Estos alabes o paletas se diseñan para ocupar del 60 al 70 % del ancho del recipiente con cada paleta del orden de  $1/8$  a  $1/10$  de la longitud del tanque. Las pantallas de la pared se utilizan para velocidades un poco más altas.

El agitador de paletas no crea ningún flujo vertical y por consiguiente es un mezclado pobre, pero si provee el alto esfuerzo cortante necesario para mantener las partículas en suspensión. Ejemplos típicos no industriales incluyen los mezcladores de pintura que se unen a taladros eléctricos o los mezcladores eléctricos caseros para la masa de pasteles y panaderías. Un agitador de hélice, es un agitador de flujo axial, que opera con velocidad elevada y se emplea para líquidos pocos viscosos, Las corrientes de flujo, que parten del agitador, se mueven a través del líquido en una dirección determinada hasta que son desviadas por el fondo o las paredes del tanque. La columna de remolinos de líquido de elevada turbulencia, que parte del agitador, arrastra en su movimiento al líquido estancado, generando un efecto considerablemente mayor que el que se obtendría mediante una columna equivalente creada por una boquilla estacionaria. Las palas de la hélice cortan o friccionan vigorosamente el líquido. Debido a la persistencia de las corrientes de flujo. El agitador de turbina usualmente se refiere a un sistema de paletas operando a revoluciones por minutos (rpm) más altas. Un ejemplo típico en el hogar es el

ventilador de techo que produce flujo de calor en el invierno operándolo en el modo hacia abajo para mezclar el aire caliente atrapado en el techo o produce una distribución uniforme de aire frío en el verano operándolo en el modo hacia arriba para mezclar el aire frío atrapado cerca del piso [2].

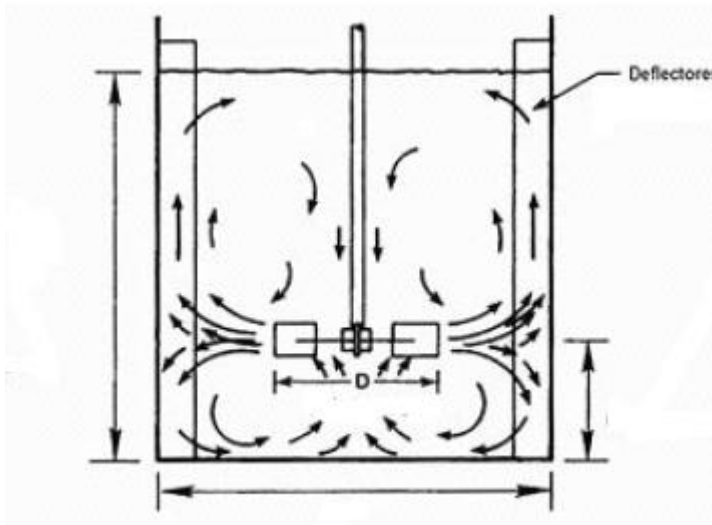


Figura 6.4.

### **Patrones de circulación.**

La figura muestra un simple tanque cilíndrico movido por un agitador localizado en la línea central del tanque, lo que causará después del tiempo, será un flujo ideal que puede describirse mediante la teoría de flujo potencial simple con coordenadas cilíndricas. El aspecto dominante del sistema, es la aceleración centrífuga y no se logra ninguna mezcla, ni agitación. Con el fin de remediar este problema se colocarán pantallas en el tanque.

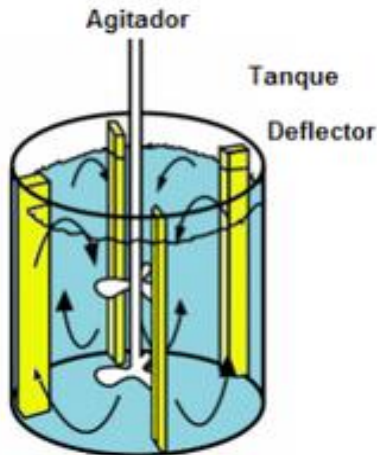


Figura 6.4.

En este caso utilizaremos un agitador tipo helicoidal para tener una mejor rotación del fluido por los serpentines de calentamiento y sea uniforme su calentamiento.

#### 6.4. DIMENSIONAMIENTO Y RELACIONES DE ESCALA.

En el diseño de sistemas de tanques agitadores se utilizan los siguientes parámetros, para crear relaciones adimensionales para el escalamiento y el dimensionamiento:

$D_i$  = Diametro interno.

$H_i$  = Altura.

$D_p$  = Diametro.

$t_p$  = Espesor del propulsor.

$H_p$  = Altura del propulsor por encima del fondo del tanque

$B_w$  = Ancho de pantalla

$$0.2 < D_p/D_i < 0.6 \text{ (flujo turbulento)}$$

$$0.7 < D_p/D_i < 0.1 \text{ (flujo laminar)}$$

$$B_w/D_i = \frac{1}{12}$$

$$N_p/D_i = \frac{1}{3}$$

$$H_i/D_i = 1$$

$$t_p/D_i = \frac{1}{5}$$

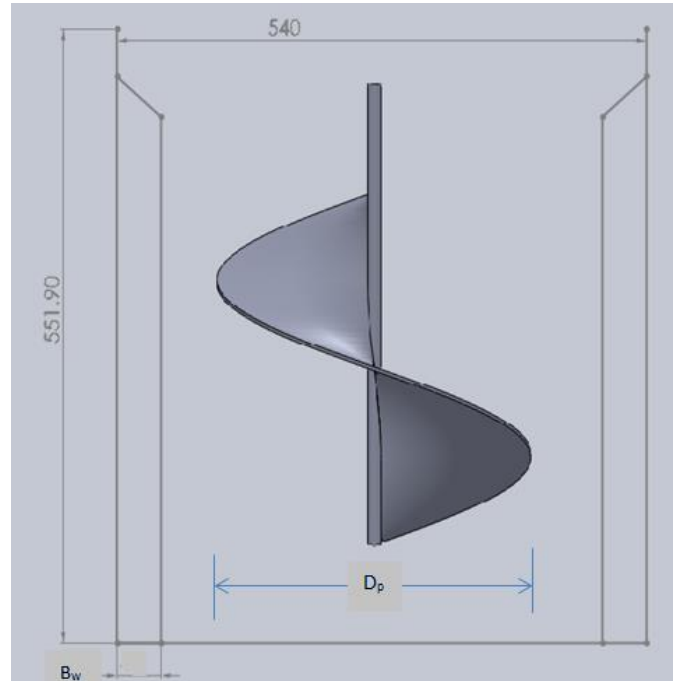


Figura 6.5.

NOTA: Para sacar el diámetro de aspas se toma un intervalo de entre 0.6 y 0.7 del diámetro interior.

### Dimensionamiento de aspas y pantalla valores conocidos;

- A) Diámetro interno ( $D_i$ )=0.54 m.
- B) Altura del tanque de mezclado ( $H_i$ )=0.55 m.
- C) Diámetro de aspas ( $D_p$ )=0.324 m.

Utilizando las relaciones de diseño que anteriormente se mencionaron tenemos:

$$\frac{D_p}{D_i} = \frac{0.324}{0.54} = 0.6 \therefore \text{Por lo tanto se garantiza un flujo turbulento}$$

$$\frac{H_p}{D_i} = \frac{1}{3} \therefore H_p = \frac{D_i}{3} = \frac{0.54}{3} \approx 0.18 \text{ m}$$

$$\frac{t_p}{D_p} = \frac{1}{8} \therefore t_p = \frac{D_p}{8} = \frac{0.324}{8} \approx 0.0405 \text{ m}$$

Las aspas serán de placa de acero inoxidable calibre ¼ correspondiente a un espesor de 6.35 mm.

## 6.5. DISEÑO DE LA FLECHA.

Se supone el material de la flecha, como: AISI 304, debido a sus características tales como: es un acero inoxidable austeníticos, antimagnético, con una excelente maquinabilidad que lo hace ideal para la fabricación de piezas en máquinas automáticas. la aleación 304 se desarrolló para minimizar la cantidad de precipitación del carburo de cromo y la tendencia de corrosión intergranular en un rango de temperatura de 800 a 1650 °F (426 a 900 °C). Para el servicio continuo a elevadas temperaturas, el tipo 304 presenta una buena resistencia a la oxidación hasta 1650 °F (900 °C). En servicio intermitente, la temperatura máxima es alrededor de 1500 °F (815 °C).

Resistencia tensil máxima (MPa)	Resistencia a la cedencia (MPa)
515-655	205-317

Tabla 6.1.

## APLICACIONES

- Equipo para el proceso de alimentos.
- Utensilios de cocina, tarjas, canales, equipo y aplicaciones en electrodomésticos.
- Paneles en arquitectura, estructuras y ornamentales.
- Contenedores químicos, incluyendo la transportación.
- Intercambiadores de calor.
- Cubiertas de hornos comerciales y filtros de agua.
- Equipo utilizado en hospitales.
- Equipo de aire acondicionado.
- Evaporadores, tambores y barriles.

Se determina el factor de seguridad necesaria para la flecha.

$$n_s = n_{sx}n_{sy}$$

$$n_{sx} \begin{cases} A = mb \\ B = b \\ C = b \end{cases} \quad n_{sy} \begin{cases} D = ns \\ E = ms \end{cases} \quad s_y = 205 \text{ MPa}$$

$$n_s = (1.45)(1.2) = 1.74 \approx 1.8$$

Debido a las condiciones de carga a la que será sometida, podemos notar que el esfuerzo mayor será el de cortante, por lo que utilizaremos la Teoria de Esfuerzo Cortante Maximo, para determinar el diametro de la flecha:

$$\frac{32\sqrt{M^2+T^2}}{\pi d^3} = \frac{s_y}{n_s}$$

En donde:

$$M=0$$

$$T=304 \text{ kg.cm}=29.81 \text{ N.m}$$

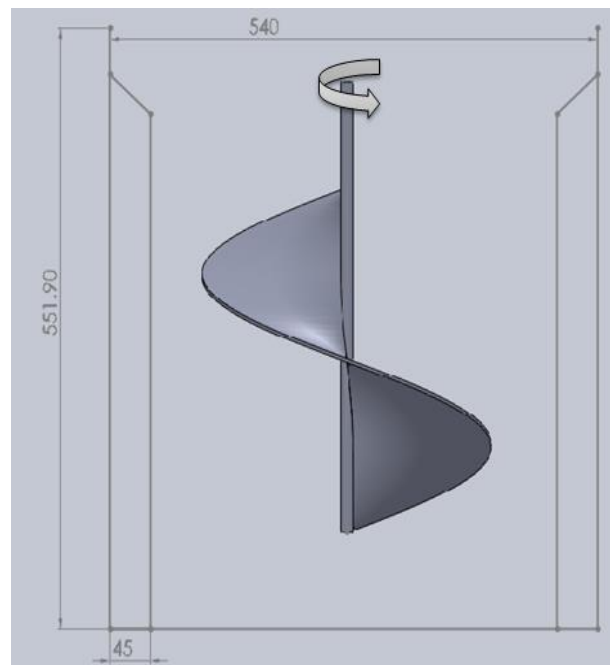


Figura 6.6.

Sustituyendo en la ecuación y despejando el diametro

$$d = \sqrt[3]{\frac{(1.8)(32)(29.81)}{(205 \times 10^6)(\pi)}} = 0.013866 \text{ m} = 13.866 \text{ mm} = 0.5456 \text{ in}$$

Por lo tanto podemos utilizar una flecha de  $\frac{9}{16}$  in de diametro



## 6.6. CÁLCULO DEL MOTORREDUCTOR.

F.S.=0.8 (factor de servicio)

Motor: 0.2 hp y 870 rpm

Se necesita 35 rpm de salida

$$\text{Potencia} = F.S. \times \text{HP} = \left(\frac{1}{4}\right)(0.8) = 0.16 \text{ hp}$$

$$\text{Relacion del Reductor} = \frac{V_{\text{ent}}}{V_{\text{sal}}} = \frac{870\text{rpm}}{35\text{rpm}} = 24.85 \approx 25$$

UGSV-38  $\longrightarrow$  salida abajo

Para una:

Potencia de entrada=0.2 hp

Potencia de salida=0.144 hp

Par<sub>salida</sub> = 304 kg.cm

Velocidad de salida=35 rpm

## 6.7. CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LA TUBERÍA INTERNA.

$$r = 0.27 - 0.035 = 0.235 \text{ m}$$

Tubería caliente

$$P = \pi r = 0.235(\pi) = 0.73827 \text{ m}$$

$$l = 4(0.73827) + 0.45 + 0.25 = 3.65308 \text{ m} \approx 4 \text{ m}$$

Tubería fría

$$l = 4(0.73827) + 0.45 + 0.25 + 0.1 = 3.75 \text{ m} \approx 4 \text{ m}$$

$$l_{\text{total}} = 8 \text{ m}$$

## 6.8. CALOR NECESARIO PARA ELEVAR LA TEMPERATURA DE LA LECHE.

$$V = 0.1 \text{ m}^3$$

$$T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 65 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 0.94 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C}$$

Tiempo de 2 min

Transferencia de energía del sistema = aumento de energía del sistema

$$Q = \Delta U = m C_p (T_2 - T_1)$$

$$m = \rho V$$

$$m = \left(1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (0.1 \text{ m}^3) = 103 \text{ kg}$$

$$Q = (103 \text{ kg}) \left(0.94 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right) (65 - 20)^\circ\text{C} = 4356.9 \text{ KJ}$$

Como resultado se determina que es necesario transmitir **4356.9 KJ** de calor a la leche para elevar la temperatura de 20 a 65°C.

## 6.9. CALOR QUE PRODUCE EL AGUA CALIENTE Y TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL TUBO.

$$T_{ent} = 95 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{sal} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{m} = 0.553184 \text{ kg/s}$$

$$C_p = 4.214 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p (T_{ent} - T_{sal})$$

$$\dot{Q} = \left(0.553184 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) \left(4.214 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right) (95 - 65)^\circ\text{C} = 69.93 \text{ kW}$$

La transferencia de calor que esta haciendo el agua caliente hacia el tubo es de 69.93kW.

$$\dot{Q} = kA \frac{T_{int} - T_{sup}}{\Delta x}$$

Despejando la  $T_{sup}$  de la ecuación anterior obtenemos la temperatura que se encuentra en la superficie del tubo.

$$T_{sup} = T_{int} - \frac{\dot{Q}\Delta x}{kA}$$

Sustituyendo valores numéricos obtenemos:

$$T_{sup} = (95 \text{ } ^\circ\text{C}) - \frac{(69.93 \text{ kW})(1.893 \times 10^{-3} \text{ m})}{\left(17.2 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}\right) (2\pi(0.0254)(4))}$$
$$T_{sup} = 82.92 \text{ } ^\circ\text{C}$$

## 6.10. CÁLCULO DE LA TRANSFERENCIA DEL AGUA CALIENTE A LA LECHE.

$$T_{int} = 95 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{ext} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$D = 0.0254 \text{ m}$$

$$\Delta x = 1.897 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$k = 17.2 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

La formulación matemática de este problema se puede expresar como:

$$\frac{d}{dr} \left( r \frac{dT}{dr} \right) = 0$$

Con las condiciones de frontera siguientes:

$$T(r_1) = 95 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T(r_2) = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Al integrar la ecuación diferencial una vez con respecto a  $r$  obtenemos:

$$r \frac{dT}{dr} = C_1$$

Donde  $C_1$  es una constante arbitraria. Ahora se divide los dos miembros de esta ecuación entre  $r$  para llevarla a una forma fácilmente integrable.

$$\frac{dT}{dr} = \frac{C_1}{r}$$

Si se integra de nuevo con respecto a  $r$  obtenemos el método de:

$$T(r) = C_1 \ln r + C_2 \text{ --- (a)}$$

Ahora aplicamos las dos condiciones de frontera al reemplazar todas las ocurrencias  $r$  y  $T(r)$  en la ecuación (a) con los valores especificados en las fronteras. Se obtiene:

$$T(r_1) = T_1$$

$$\therefore T_1 = C_1 \ln r_1 + C_2$$

$$T(r_2) = T_2$$

$$\therefore T_2 = C_1 \ln r_2 + C_2$$

Las cuales son dos ecuaciones con dos incógnitas,  $C_1$  y  $C_2$  al resolverlas simultáneamente obtenemos:

$$C_1 = \frac{T_2 - T_1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

$$C_2 = T_1 - \frac{T_2 - T_1}{\ln(r_2/r_1)} \ln r_1$$

Si sustituimos en la ecuación (a) y reacomodamos, se determina que la variación de temperatura dentro del tubo es:

$$T(r) = \left(\frac{\ln(r/r_1)}{\ln(r_2/r_1)}\right)(T_2 - T_1) + T_1 \text{ --- (b)}$$

Con esto podemos tener que la velocidad de la pérdida de calor del agua caliente es simplemente la velocidad total de conducción de calor a través del tubo y, a partir de la ley de Fourier, se determina que es:

$$\dot{Q}_{tubo} = -kA \frac{dT}{dr} = -k(2\pi rL) \frac{C_1}{r} = -2\pi kLC_1 = 2\pi kL \frac{T_1 - T_2}{\ln(r_2/r_1)}$$

Sustituyendo los datos numéricos en la ecuación anterior se tiene que:

$$\dot{Q} = 2\pi(17.2 \frac{W}{m * ^\circ C})(4 m) \frac{(95 - 82.92 ^\circ C)}{\ln\left(\frac{0.0127}{0.010803}\right)}$$

$$\dot{Q} = 32.278 kW$$

$$\dot{q}_s = \frac{\dot{Q}}{A_s}$$

$$\dot{q}_s = \frac{32.278 kW}{2\pi(0.0254 m)(4 m)} = 50.563 kW/m^2$$

Encontramos que tenemos una transferencia de calor de 50.563 kW/m<sup>2</sup>.

## 6.11. CÁLCULO DE CARGA DE REFRIGERACIÓN.

$$Q = mc\Delta T$$

$$Q = (0.1 m^3) \left(1030 \frac{kg}{m^3}\right) \left(0.94 \frac{kJ}{kg * ^\circ C}\right) (65 - 3)^\circ C = 6002.84 kJ$$

$$\dot{Q}_{tubo} = -kA \frac{dT}{dr} = -k(2\pi rL) \frac{C_1}{r} = -2\pi kLC_1 = 2\pi kL \frac{T_1 - T_2}{\ln(r_2/r_1)}$$

Sustituyendo los datos numéricos en la ecuación anterior tenemos que es:

$$\dot{Q} = 2\pi(17.2 \frac{W}{m * ^\circ C})(4 m) \frac{(1 - 2.5 ^\circ C)}{\ln\left(\frac{0.0127}{0.010803}\right)}$$

$$\dot{Q} = -4.008 kW$$

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p(T_{ent} - T_{sal})$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{C_p(T_{ent} - T_{sal})} = \frac{-4.008 \text{ kW}}{\left(4.17 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right) (1 - 2.5)^\circ\text{C}} = 0.64 \text{ kg/s}$$

$$\dot{q}_s = \frac{\dot{Q}}{A_s} = \frac{-4.008 \text{ kW}}{2\pi(0.0254)(4)} = -6.278 \text{ kW/m}^2$$

Encontramos que tenemos una pérdida de calor de 6.278 kW/m<sup>2</sup>.

$$t = \frac{6002.84 \text{ kJ}}{4.008 \text{ kW}} = 1497 \text{ s} = 24 \text{ min } 57 \text{ seg}$$

**NOTA:**

En el **anexo No. 1** se encuentra el diseño final con simulación de los elementos utilizados donde se encuentran planos y diseños realizados en solidworks.

## **CAPÍTULO 7:**

### **RESUMEN DE RESULTADOS.**

El resumen se presenta de la siguiente manera:

- 1.- tanque y tapa: se necesita placa de acero inoxidable 304, calibre 14.
- 2.- flecha y aspas: par la flecha será necesario una barrila de acero inoxidable 304, de 9/16 de pulgada de diámetro y poder darle un acabado pulido para evitar concentraciones de esfuerzos, en cuanto a la aspa helicoidal utilizando 32.4 cm de placa de acero inoxidable con un espesor de 6.35 mm.
- 3.- motorreductor: se seleccionó un motorreductor marca RAISA, monofásico a 127 volts de corriente directa que entrega una de 35 rpm y un par de 304 kg.cm.
- 4.- caldera: se seleccionó una caldera de agua caliente a 95 °C, modelo RL marca ATTSU, de calentamiento instantáneo, con un flujo de agua caliente de 35 L/min.

## **CAPÍTULO 8:**

### **ALCANCES Y LIMITACIONES.**

El alcance de este proyecto es el diseño de un recipiente de pasteurización con un mecanismo de calentamiento y otro de enfriamiento, además del diseño de un agitador.

En relación a las limitaciones, la principal limitación son las dimensiones que debe tener el recipiente, al igual que las tuberías de enfriamiento y calentamiento, ya que al tratarse de un proyecto que solo está calculado para cierto volumen de líquido.



## **CAPITULO 9:**

### **CONCLUSION**

Como se puede apreciar en los resultados, los materiales y elementos aquí seleccionados han sido en base a cálculos, de acuerdo al modelo de diseño de la pasteurizadora. La utilización de estos elementos en su construcción es fundamental para su buen desempeño en la práctica y vida útil.

Los materiales seleccionados en el diseño se han tomado en cuenta debido a sus propiedades mecánicas y valores estandarizados en las diferentes normas.

Cabe destacar que las especificaciones y la selección de los elementos de unión a utilizar, como lo son tornillos, soldadura o remaches, no fueron mencionados, así que estas tendrán que ser deducidas en la etapa de ensamblado de las piezas.

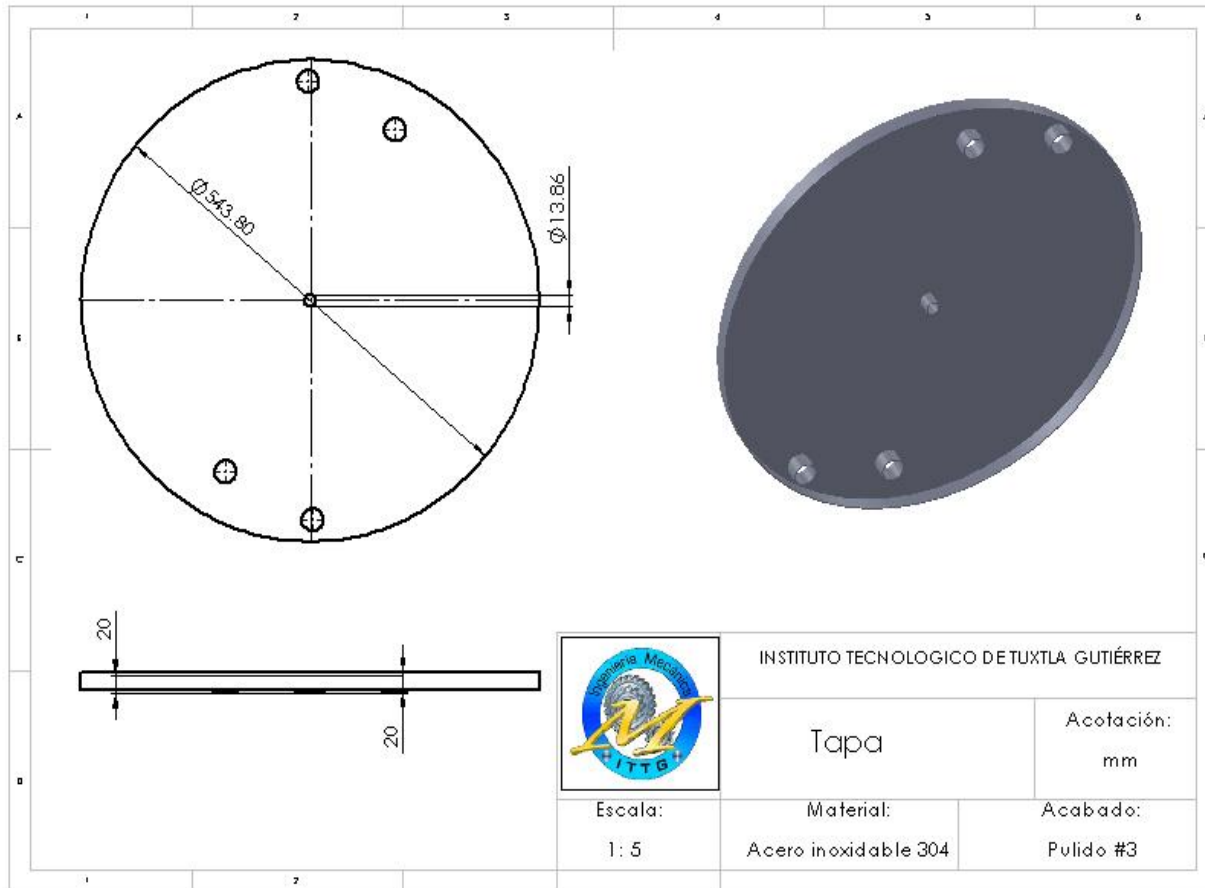
## **BIBLIOGRAFÍA:**

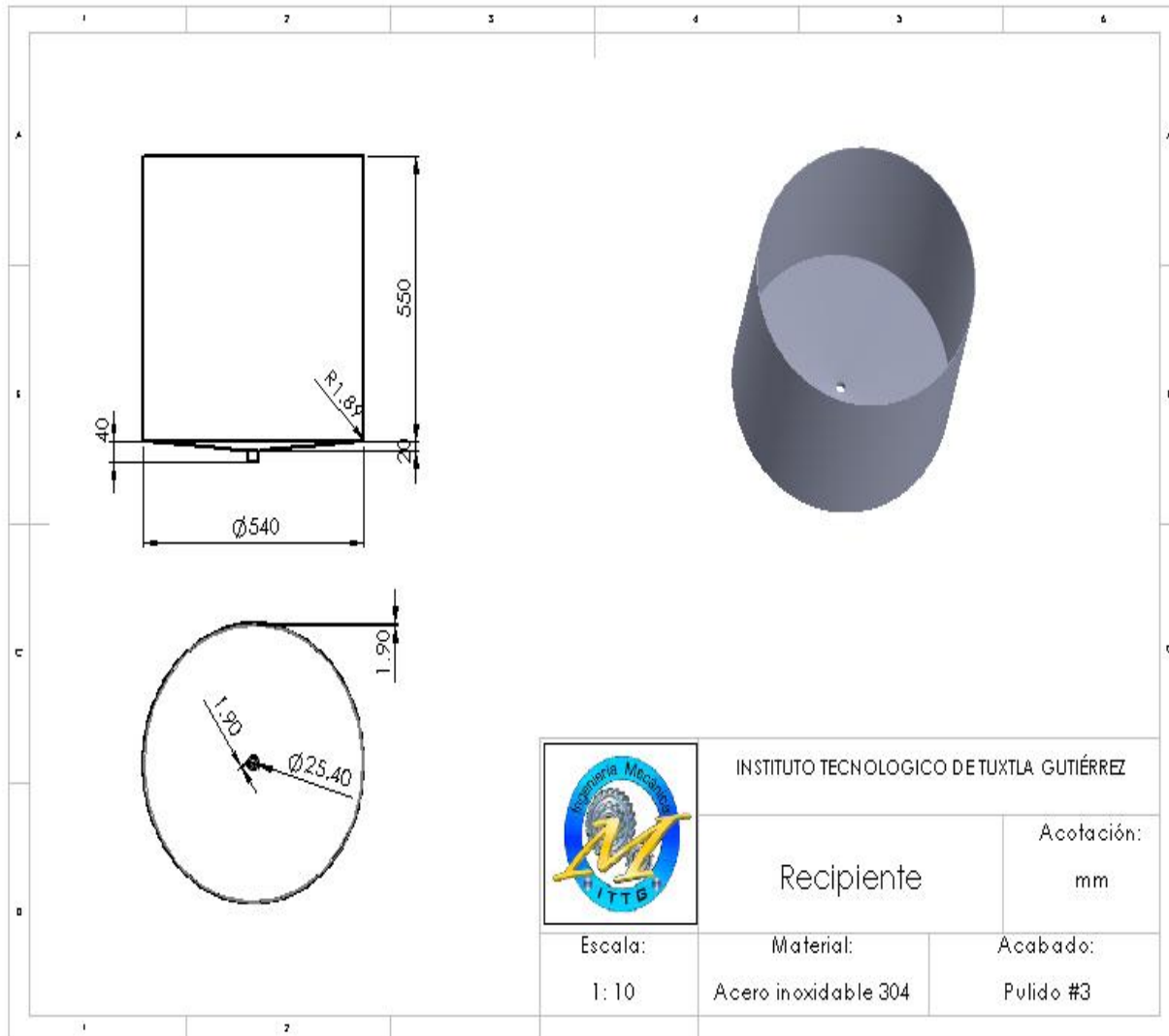
- [1] Transferencia de calor. Yunus A. Cengel. Ed. Mc Graw Hill. 2da. Ed. Español. 2004.
- [2] Elaboración, análisis y control de calidad de los helados. I.Cenzano. Ed. A. Madrid Vicente.
- [3] El libro blanco de la leche y los productos lácteos. Marco Estrada Martínez. 1ra. Edición. Editorial CANILEC. 2010.
- [4] Formulación del frio. Pierre Rapin y Patrick Jacquard. Ed. Alfaomega marcombo. 2002.
- [5] Mecánica de Materiales. Ferdinand P. Beer. Ed. Mc Graw Hill. 4ta. Ed. Español. 2007.
- [6] Catalogo de rodamientos. [www.skf.com.mx](http://www.skf.com.mx).
- [7] Manual de características del acero inoxidable. [www.aceroinoxidable.com](http://www.aceroinoxidable.com).
- [8] Apuntes de descripción de calderas y generadores de vapor. Marco Vázquez Quillotran. 2006.
- [9] GEA Process Engineering S.A. de C.V. sistemas de mezclado. <http://www.gea-niro.com.mx>
- [10] Catalogo ATTSU para calderas de vapor (La fuerza de un grupo). [www.attsu.com](http://www.attsu.com).
- [11] Distribuidora de Aceros y Materiales, S.A. de C.V. [www.distribuidoradeaceros.com](http://www.distribuidoradeaceros.com)
- [12] Fundación Red de Energía. Motores eléctricos: Buenas prácticas en eficiencia energética. 1 ed. 2007.
- [13] Catalogo de reductores de velocidad RAISA S.A. de C.V. [www.raisa.com](http://www.raisa.com)
- [14] Medidores de presión. [www.todoingenieriaindustrial.wordpress.com](http://www.todoingenieriaindustrial.wordpress.com).
- [15] Tutorial Solidworks 2012 Herramientas Básicas, Paul Tran, 2012

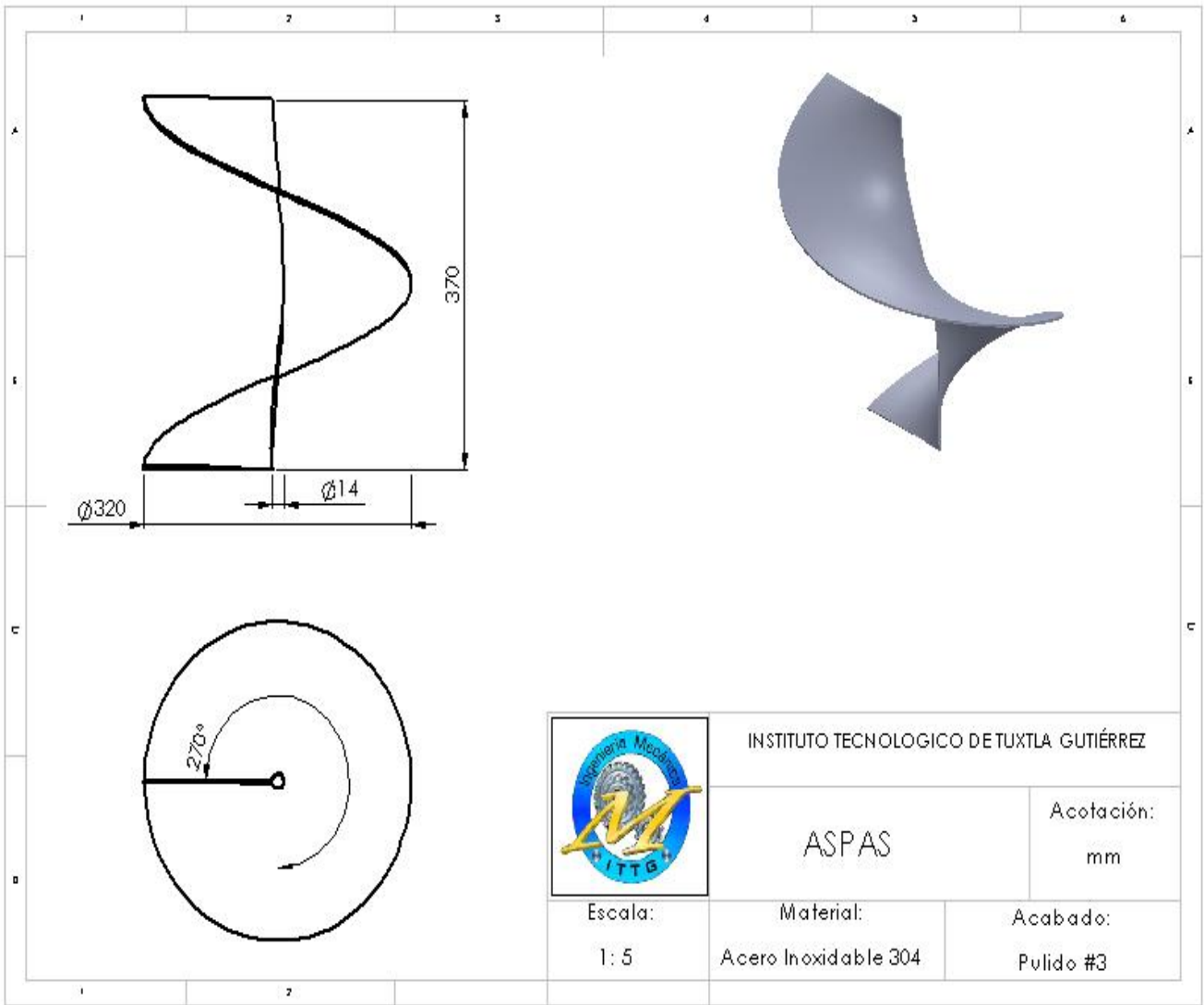
**ANEXOS:**

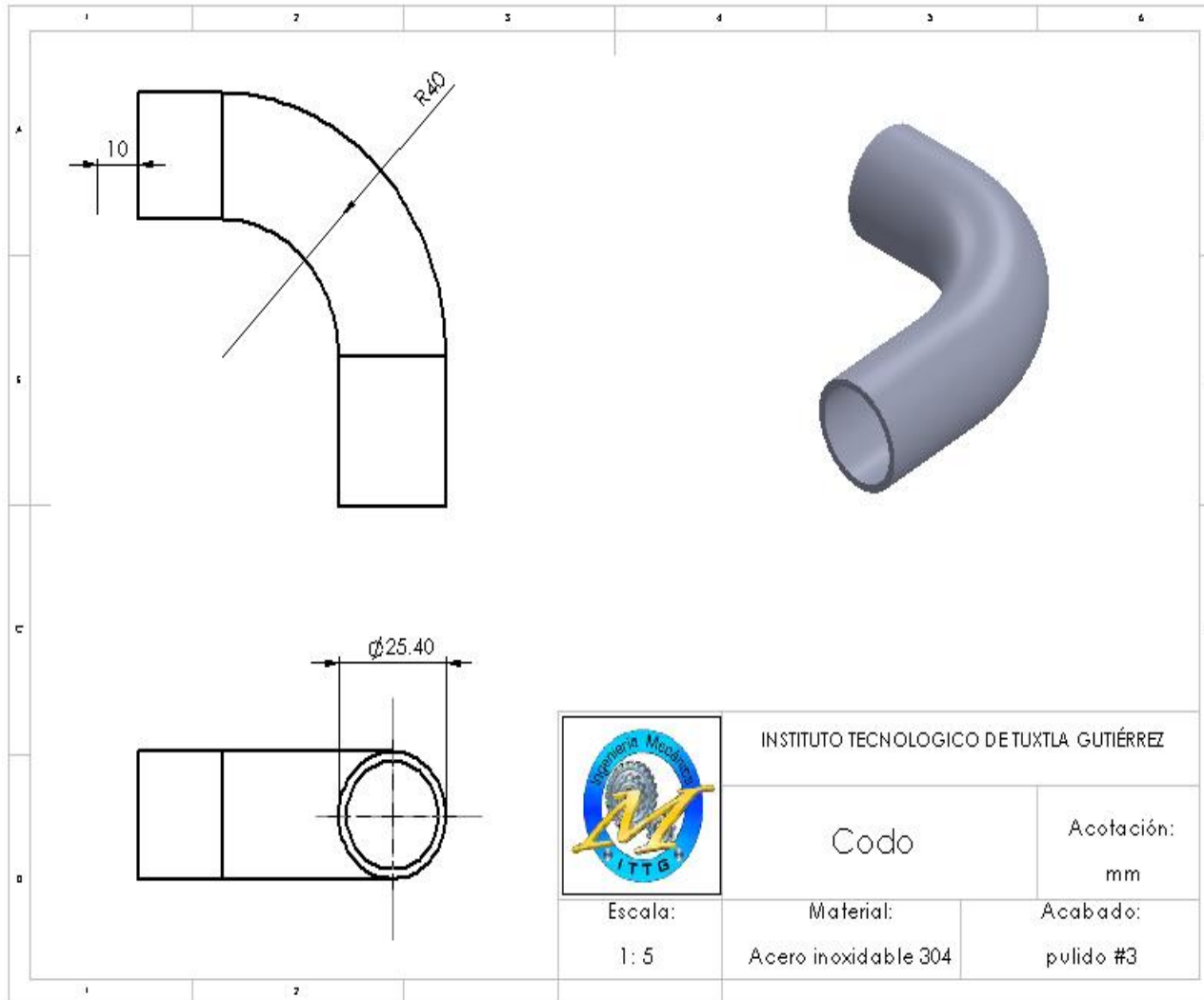
**ANEXO No. 1. FIGURAS REALIZADAS EN SOLIDWORKS.**

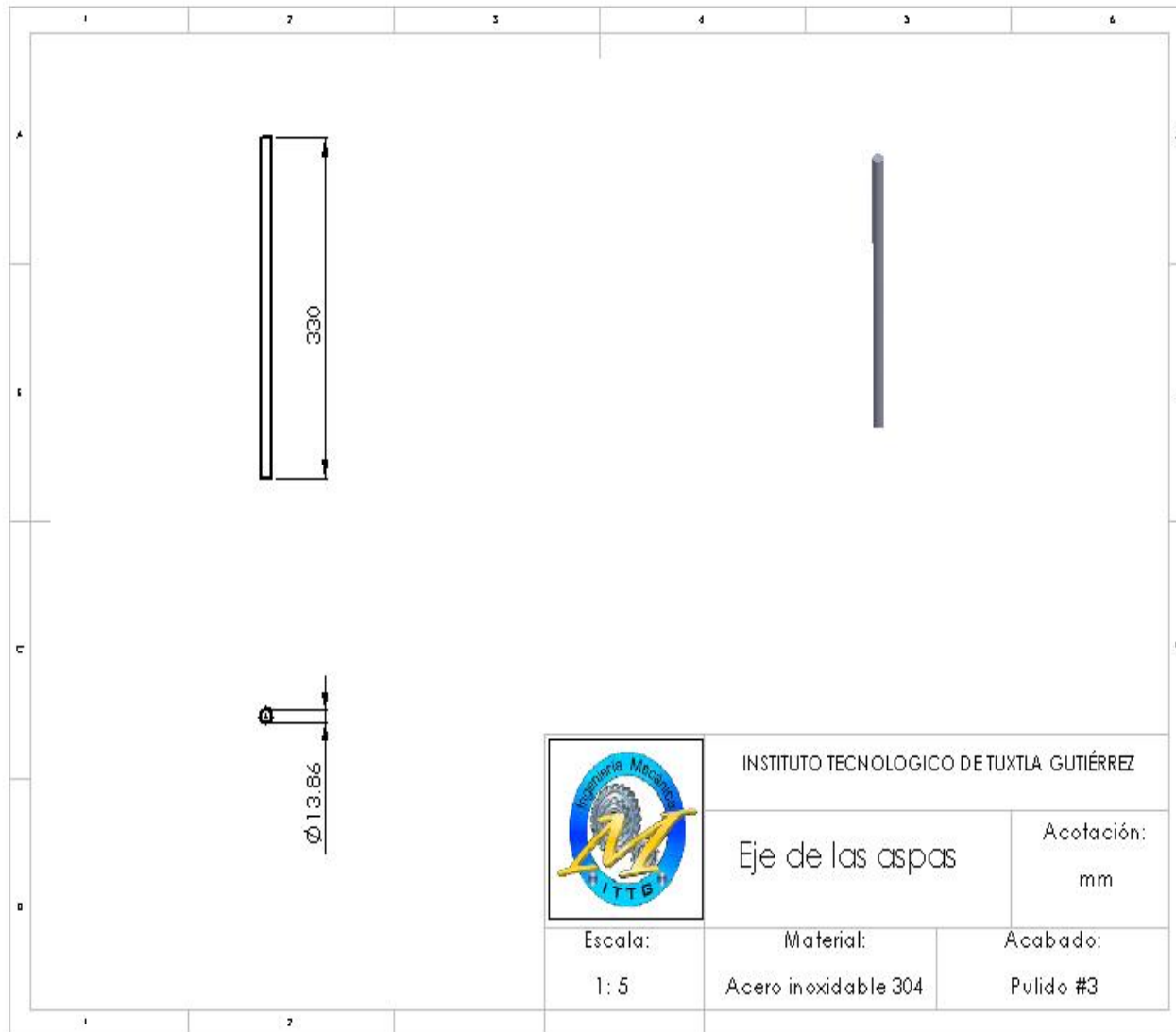




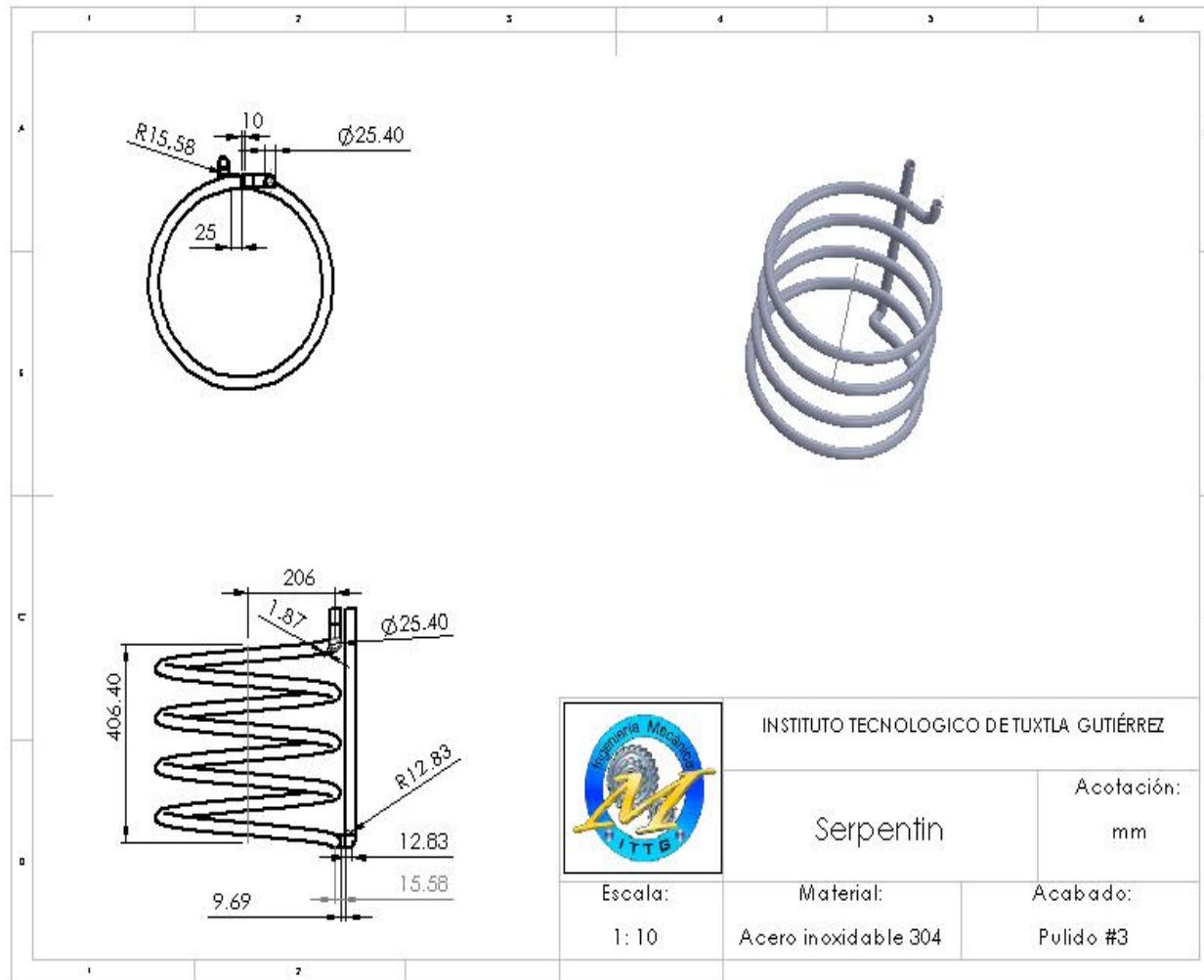


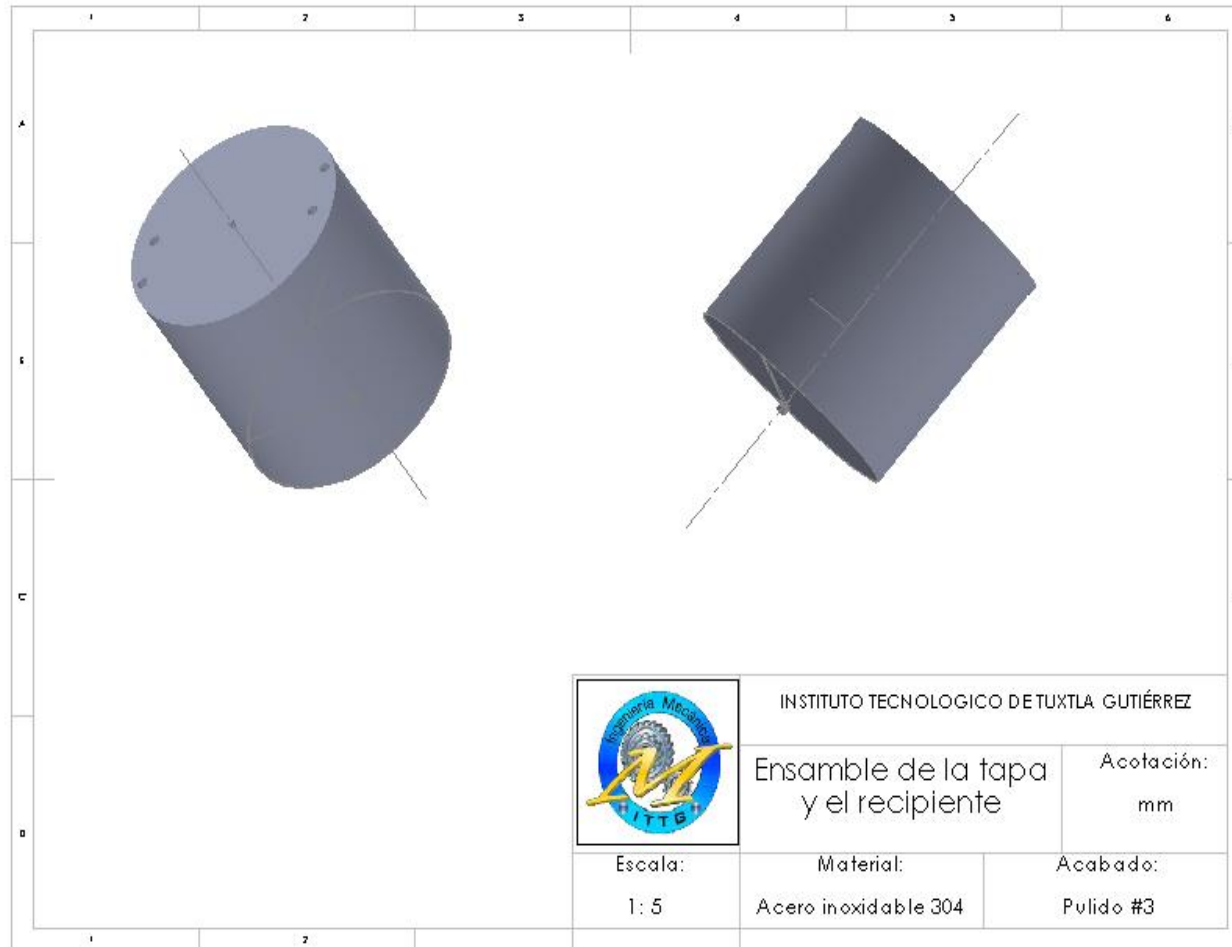




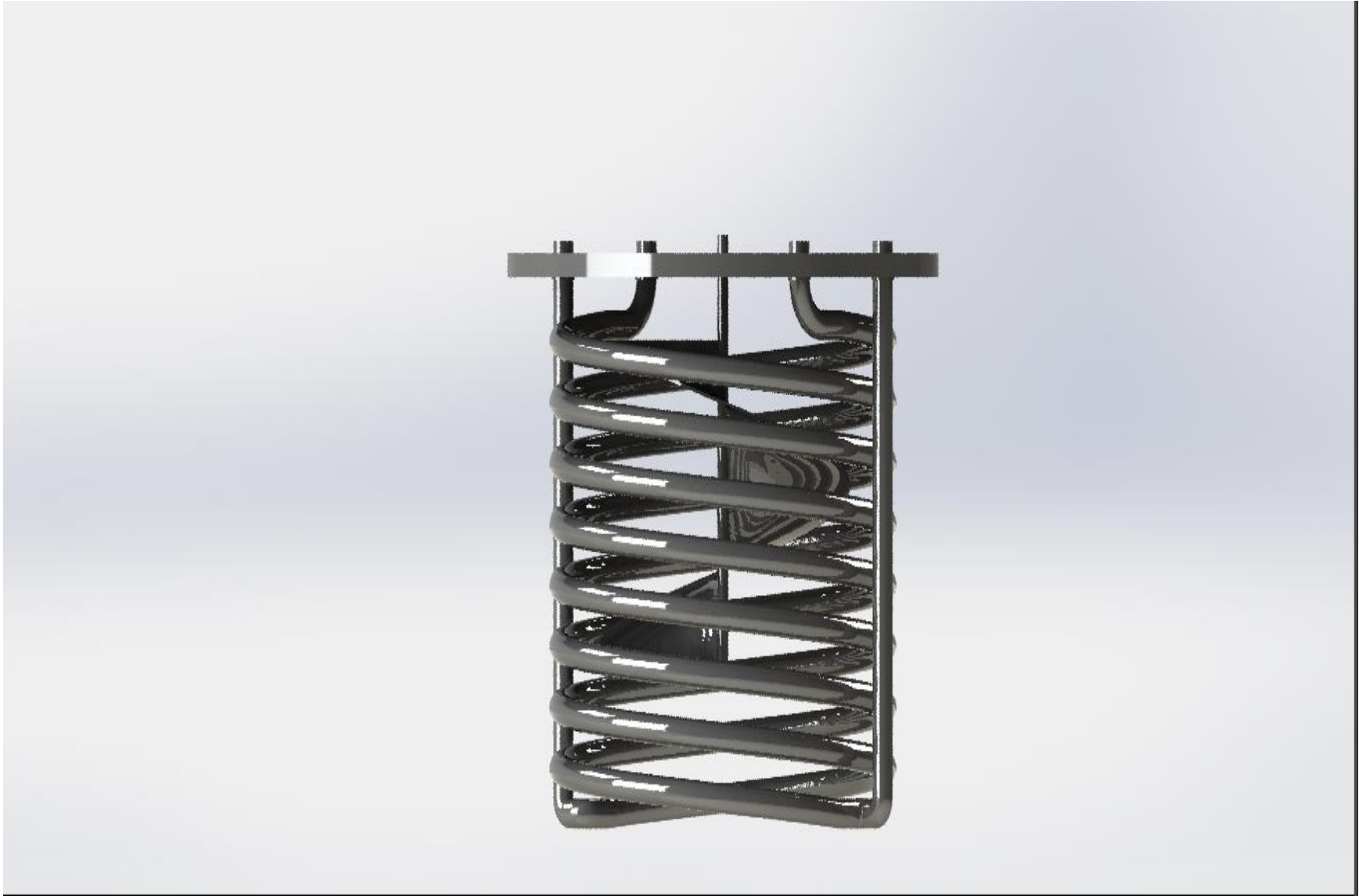




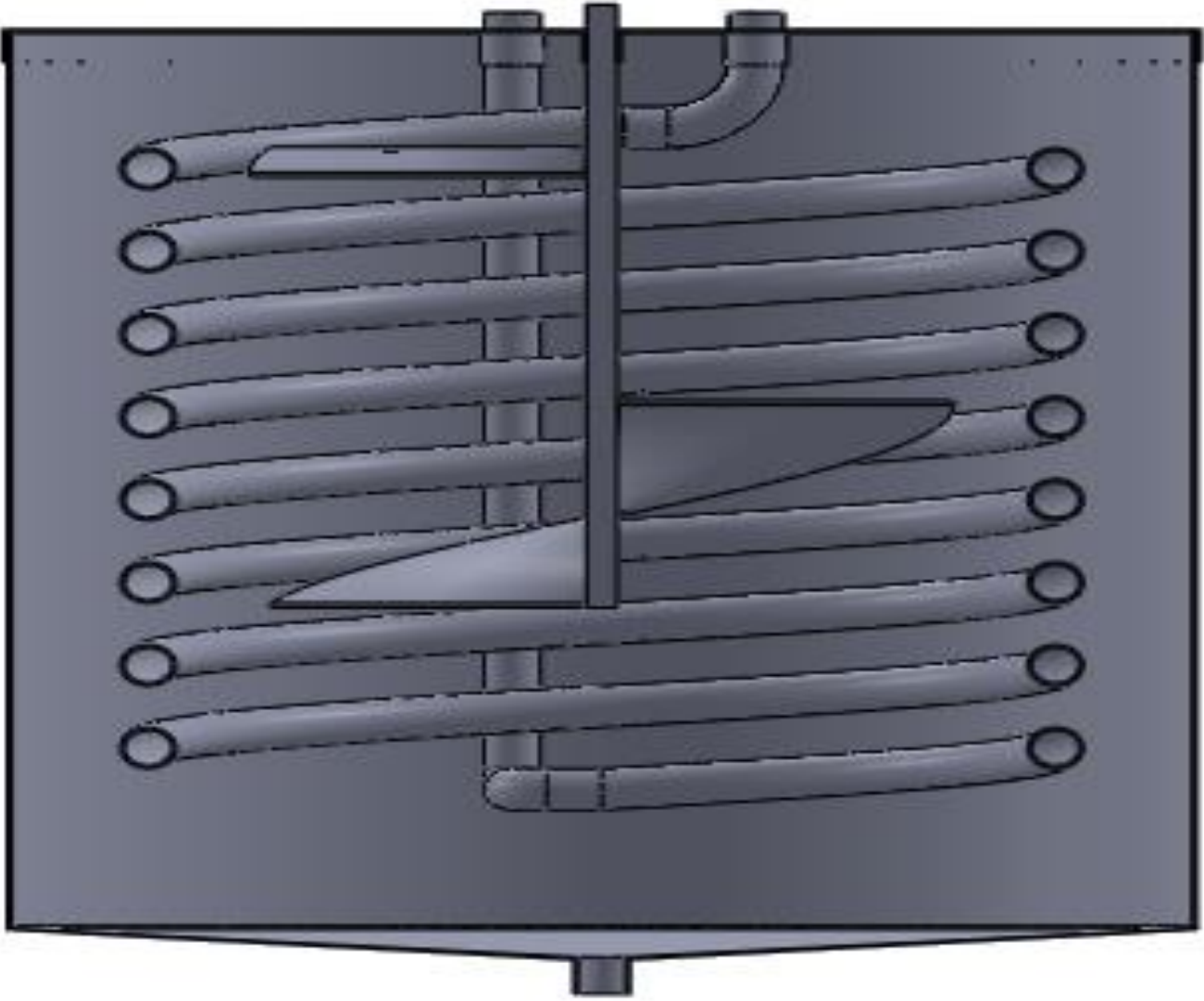


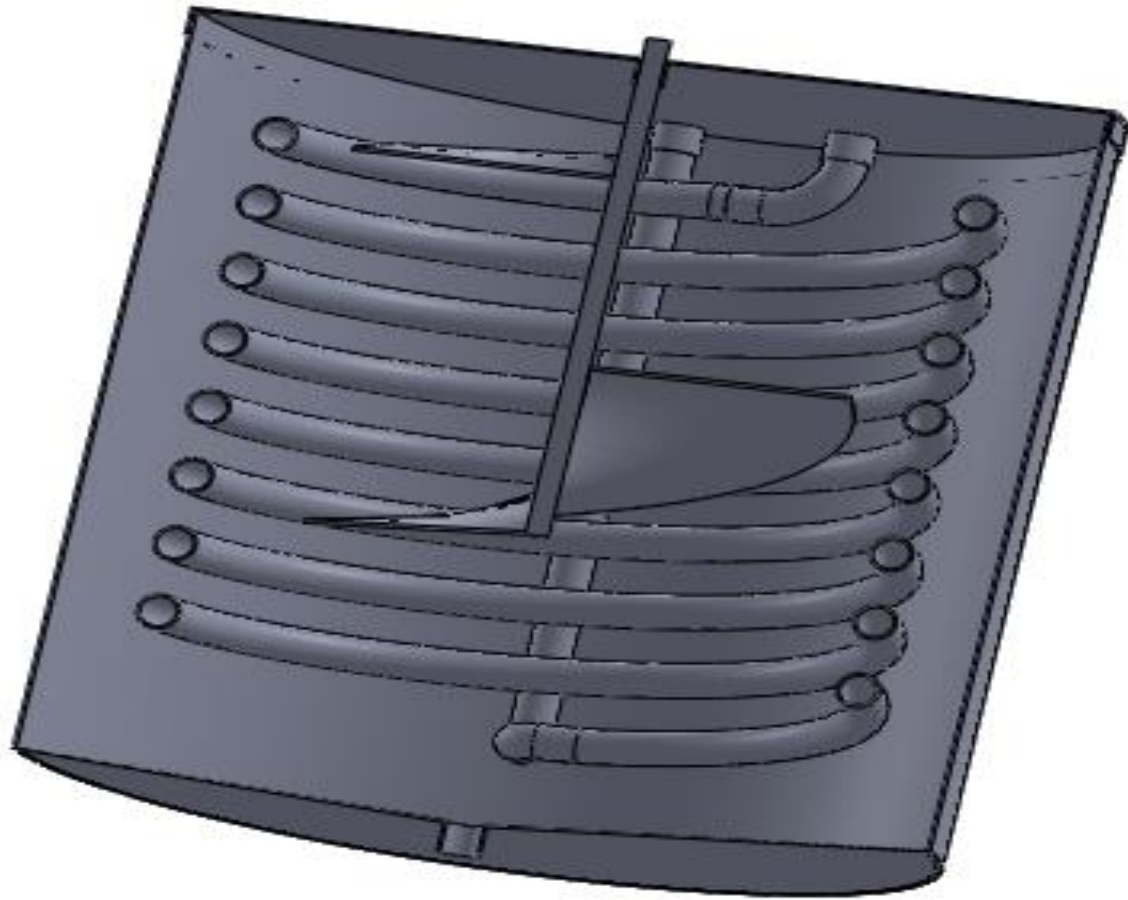












## ANEXO NO. 2. TABLAS Y PROPIEDADES.

**TABLA A-2**

Calores específicos de gas ideal de varios gases comunes (*conclusión*)

c) Como una función de la temperatura

$$\bar{c}_p = a + bT + cT^2 + dT^3$$

( $T$  en K,  $c_p$  en kJ/kmol · K)

Sustancia	Fórmula	$a$	$b$	$c$	$d$	Rango de temp., K	% de error	
							Máx.	Prom.
Acetileno	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	21.8	9.2143 × 10 <sup>-2</sup>	-6.527 × 10 <sup>-5</sup>	18.21 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	1.46	0.59
Aire	—	28.11	0.1967 × 10 <sup>-2</sup>	0.4802 × 10 <sup>-5</sup>	-1.966 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	0.72	0.33
Amoniaco	NH <sub>3</sub>	27.568	2.5630 × 10 <sup>-2</sup>	0.99072 × 10 <sup>-5</sup>	-6.6909 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.91	0.36
Azufre	S <sub>2</sub>	27.21	2.218 × 10 <sup>-2</sup>	-1.628 × 10 <sup>-5</sup>	3.986 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	0.99	0.38
Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	-36.22	48.475 × 10 <sup>-2</sup>	-31.57 × 10 <sup>-5</sup>	77.62 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.34	0.20
<i>i</i> -Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	-7.913	41.60 × 10 <sup>-2</sup>	-23.01 × 10 <sup>-5</sup>	49.91 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.25	0.13
<i>n</i> -Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	3.96	37.15 × 10 <sup>-2</sup>	-18.34 × 10 <sup>-5</sup>	35.00 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.54	0.24
Cloruro de hidrógeno	HCl	30.33	-0.7620 × 10 <sup>-2</sup>	1.327 × 10 <sup>-5</sup>	-4.338 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.22	0.08
Dióxido de azufre	SO <sub>2</sub>	25.78	5.795 × 10 <sup>-2</sup>	-3.812 × 10 <sup>-5</sup>	8.612 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	0.45	0.24
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	22.26	5.981 × 10 <sup>-2</sup>	-3.501 × 10 <sup>-5</sup>	7.469 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	0.67	0.22
Dióxido de nitrógeno	NO <sub>2</sub>	22.9	5.715 × 10 <sup>-2</sup>	-3.52 × 10 <sup>-5</sup>	7.87 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.46	0.18
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	6.900	17.27 × 10 <sup>-2</sup>	-6.406 × 10 <sup>-5</sup>	7.285 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.83	0.28
Etanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	19.9	20.96 × 10 <sup>-2</sup>	-10.38 × 10 <sup>-5</sup>	20.05 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.40	0.22
Etileno	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	3.95	15.64 × 10 <sup>-2</sup>	-8.344 × 10 <sup>-5</sup>	17.67 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.54	0.13
<i>n</i> -Hexano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	6.938	55.22 × 10 <sup>-2</sup>	-28.65 × 10 <sup>-5</sup>	57.69 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.72	0.20
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	29.11	-0.1916 × 10 <sup>-2</sup>	0.4003 × 10 <sup>-5</sup>	-0.8704 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	1.01	0.26
Metano	CH <sub>4</sub>	19.89	5.024 × 10 <sup>-2</sup>	1.269 × 10 <sup>-5</sup>	-11.01 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	1.33	0.57
Metanol	CH <sub>4</sub> O	19.0	9.152 × 10 <sup>-2</sup>	-1.22 × 10 <sup>-5</sup>	-8.039 × 10 <sup>-9</sup>	273-1000	0.18	0.08
Monóxido de carbono	CO	28.16	0.1675 × 10 <sup>-2</sup>	0.5372 × 10 <sup>-5</sup>	-2.222 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	0.89	0.37
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	28.90	-0.1571 × 10 <sup>-2</sup>	0.8081 × 10 <sup>-5</sup>	-2.873 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	0.59	0.34
Óxido nítrico	NO	29.34	-0.09395 × 10 <sup>-2</sup>	0.9747 × 10 <sup>-5</sup>	-4.187 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.97	0.36
Óxido nítrico	N <sub>2</sub> O	24.11	5.8632 × 10 <sup>-2</sup>	-3.562 × 10 <sup>-5</sup>	10.58 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.59	0.26
Oxígeno	O <sub>2</sub>	25.48	1.520 × 10 <sup>-2</sup>	-0.7155 × 10 <sup>-5</sup>	1.312 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	1.19	0.28
<i>n</i> -Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	6.774	45.43 × 10 <sup>-2</sup>	-22.46 × 10 <sup>-5</sup>	42.29 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.56	0.21
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	-4.04	30.48 × 10 <sup>-2</sup>	-15.72 × 10 <sup>-5</sup>	31.74 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.40	0.12
Propileno	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	3.15	23.83 × 10 <sup>-2</sup>	-12.18 × 10 <sup>-5</sup>	24.62 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.73	0.17
Trióxido de azufre	SO <sub>3</sub>	16.40	14.58 × 10 <sup>-2</sup>	-11.20 × 10 <sup>-5</sup>	32.42 × 10 <sup>-9</sup>	273-1300	0.29	0.13
Agua (vapor)	H <sub>2</sub> O	32.24	0.1923 × 10 <sup>-2</sup>	1.055 × 10 <sup>-5</sup>	-3.595 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	0.53	0.24

Fuente: B. G. Kyle, *Chemical and Process Thermodynamics*. Englewood Cliffs, Nueva Jersey, Prentice Hall, 1984. Usada con permiso.



**TABLA A-4**

**Agua saturada. Tabla de temperaturas**

Temp., $T$ °C	Pres. sat., $P_{sat}$ kPa	Volumen específico, $m^3/kg$		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Liq. sat., $v_f$	Vapor sat., $v_g$	Liq. sat., $u_f$	Evap., $u_{fg}$	Vapor sat., $u_g$	Liq. sat., $h_f$	Evap., $h_{fg}$	Vapor sat., $h_g$	Liq. sat., $s_f$	Evap., $s_{fg}$	Vapor sat., $s_g$
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2476.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

## PROPIEDADES FISICAS (CONDICIONES DE RECOCIDO) ACERO 304

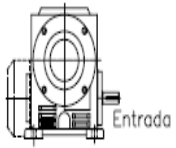
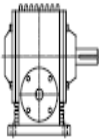
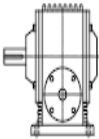
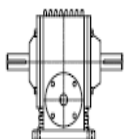
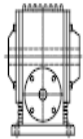
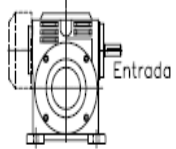
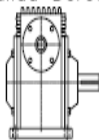
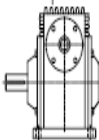
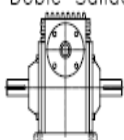
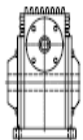
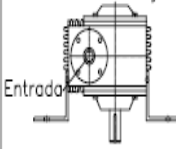
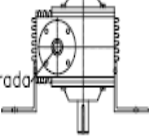
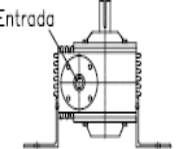
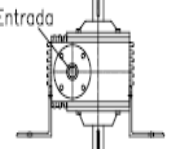
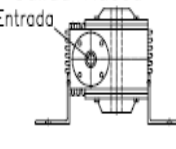
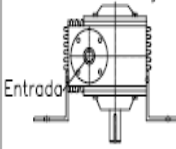
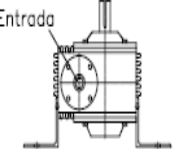
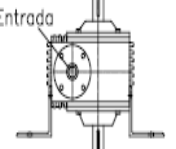
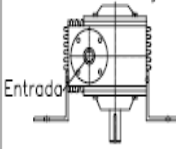
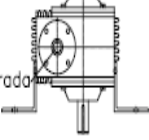
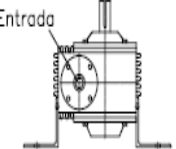
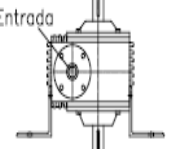
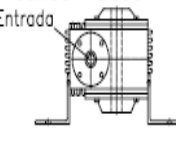
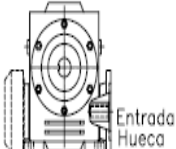
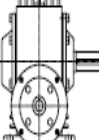
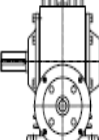
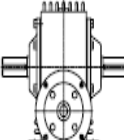
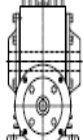
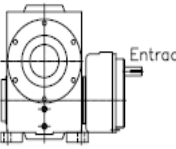
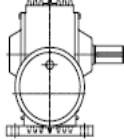
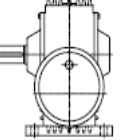
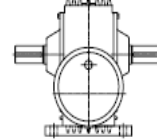
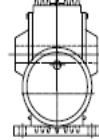

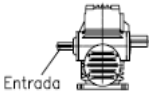


Unidades de las propiedades	Valor
Densidad $\text{g/cm}^3$ ( $\text{lb/in}^3$ )	8,0 (0,29)
Modulo elástico GPa ( $10^6$ psi)	193 (28,0)
Resistencia eléctrica $n \cdot m$	720
Calor específico $\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{K}$ ( $\text{Btu/lb} \cdot ^\circ\text{F}$ )	500 (0.12)
Conductividad térmica a $100\text{ }^\circ\text{C}$ ( $212\text{ }^\circ\text{F}$ ) $\text{W/m} \cdot \text{K}$ ( $\text{Btu/ft} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F}$ )	17,2 (9,6)
Rango de fusión $^\circ\text{C}$ ( $^\circ\text{F}$ )	1400-1450 (2550-2650)

## ACABADOS

El acero inoxidable 304 puede ser presentado con los siguientes acabados:

2B	Acabado laminado en frío por rodillos brillantes de Skin Pass. Éste es un acabo de uso general con un valor típico de Ra de 4 micropulgadas en calibres delgados.
BA	Este acabado es producido por un recocido brillante en una atmósfera inerte después del laminado en frío. Es más liso y brillante que el 2B. El brillo mínimo es de 40° gloss a 20° de inclinación, los valores típicos de Ra son de 2 micropulgadas para calibres delgados
Pulido #3 y # 4	Los acabados de pulidos son producidos por bandas abrasivas de carburo de silicio u óxido de aluminio, resultando un rango de cepillado de 25 a 50 y 8 a 20 micropulgadas respectivamente.
Rolled-On #3 y #4	Este acabado de superficie es producido por el embozado o grabado del material usando rodillos de Skin Pass especialmente preparados. Los valores típicos de Ra para #3 y #4 son 30 a 60 y 8 a 30 micropulgadas. Su aspecto final asemeja al de una superficie cepillada o pulida.

## POSICIONES DEL MOTORREDUCTOR.

		Entrada	Salidas							
38	UGS		Salida Derecha 	Salida Izquierda 	Doble Salida 	Salida Hueca 				
		45	UGSA		Salida Derecha 	Salida Izquierda 	Doble Salida 	Salida Hueca 		
				63	UGSV		Salida Abajo 	Salida Arriba 	Doble Salida 	Salida Hueca 
						76	UGSV		Salida Arriba 	Doble Salida 
90	UGSV		Salida Abajo 	Salida Arriba 	Doble Salida 	Salida Hueca 				
102	UGSC		Salida Derecha 	Salida Izquierda 	Doble Salida 	Salida Hueca 				
76 90 102	HUGS		Salida Derecha 	Salida Izquierda 	Doble Salida 	Salida Hueca 				
63/51 76/51 90/63 102/63	DUGS		Salida Derecha 	Salida Izquierda 	Salida Derecha 					

UGS-38 UGSA-38 UGSV-38 y UGSC-38

UGS-45 UGSA-45 UGSV-45 y UGSC-45

Reduccion Nominal	Descripcion de la capacidad	Velocidad de entrada			Reduccion Nominal	Descripcion de la capacidad	Velocidad de entrada		
		1750	1150	870			1750	1150	870
5	Pot. Entrada HP	1.03	0.77	0.63	6	Pot. Entrada HP	1.38	1.22	1.07
	Pot. Salida HP	0.927	0.693	0.567		Pot. Salida HP	1.19	1.05	0.92
	Par Salida Kg-cm	192.6	218.7	236.7		Par Salida Kg-cm	263	360	399
	Vel. Salida RPM	350	230	174		Vel. Salida RPM	350	230	174
7.6	Pot. Entrada HP	0.8	0.6	0.48	7.6	Pot. Entrada HP	1.15	1	0.88
	Pot. Salida HP	0.704	0.528	0.423		Pot. Salida HP	0.99	0.86	0.76
	Par Salida Kg-cm	219.1	250.8	264.9		Par Salida Kg-cm	280	374	476
	Vel. Salida RPM	233	153	116		Vel. Salida RPM	233	153	116
10	Pot. Entrada HP	0.65	0.5	0.4	10	Pot. Entrada HP	0.92	0.79	0.73
	Pot. Salida HP	0.55	0.42	0.34		Pot. Salida HP	0.79	0.68	0.63
	Par Salida Kg-cm	228.5	267.4	282.6		Par Salida Kg-cm	335	428	511
	Vel. Salida RPM	175	115	87		Vel. Salida RPM	175	115	87
16	Pot. Entrada HP	0.5	0.37	0.3	16	Pot. Entrada HP	0.68	0.59	0.54
	Pot. Salida HP	0.42	0.31	0.25		Pot. Salida HP	0.48	0.42	0.38
	Par Salida Kg-cm	262.1	294.8	315.8		Par Salida Kg-cm	353	453	540
	Vel. Salida RPM	117	77	58		Vel. Salida RPM	117	77	58
20	Pot. Entrada HP	0.37	0.29	0.24	20	Pot. Entrada HP	0.56	0.49	0.45
	Pot. Salida HP	0.274	0.215	0.178		Pot. Salida HP	0.4	0.35	0.32
	Par Salida Kg-cm	227.3	271.8	297		Par Salida Kg-cm	374	481	570
	Vel. Salida RPM	88	58	44		Vel. Salida RPM	88	58	44
26	Pot. Entrada HP	0.33	0.25	0.2	26	Pot. Entrada HP	0.49	0.43	0.38
	Pot. Salida HP	0.24	0.18	0.144		Pot. Salida HP	0.35	0.3	0.27
	Par Salida Kg-cm	249.4	287.5	304		Par Salida Kg-cm	394	504	570
	Vel. Salida RPM	70	46	35		Vel. Salida RPM	70	46	35
30	Pot. Entrada HP	0.29	0.23	0.19	30	Pot. Entrada HP	0.41	0.36	0.34
	Pot. Salida HP	0.2	0.15	0.13		Pot. Salida HP	0.26	0.23	0.21
	Par Salida Kg-cm	249.4	301	328.6		Par Salida Kg-cm	370	476	568
	Vel. Salida RPM	58	38	29		Vel. Salida RPM	58	38	29
40	Pot. Entrada HP	0.23	0.18	0.15	40	Pot. Entrada HP	0.35	0.31	0.28
	Pot. Salida HP	0.15	0.12	0.098		Pot. Salida HP	0.22	0.2	0.18
	Par Salida Kg-cm	249.5	297.1	327.2		Par Salida Kg-cm	388	498	569
	Vel. Salida RPM	44	29	22		Vel. Salida RPM	44	29	22
60	Pot. Entrada HP	0.18	0.15	0.12	60	Pot. Entrada HP	0.31	0.27	0.23
	Pot. Salida HP	0.11	0.092	0.073		Pot. Salida HP	0.17	0.15	0.13
	Par Salida Kg-cm	228.6	290	306.5		Par Salida Kg-cm	405	509	543
	Vel. Salida RPM	35	23	17		Vel. Salida RPM	35	23	17
80	Pot. Entrada HP	0.16	0.13	0.11	80	Pot. Entrada HP	0.28	0.23	0.19
	Pot. Salida HP	0.09	0.073	0.062		Pot. Salida HP	0.16	0.13	0.11
	Par Salida Kg-cm	224.5	227.6	310.4		Par Salida Kg-cm	419	478	509
	Vel. Salida RPM	29	19	15		Vel. Salida RPM	29	19	15
70	Pot. Entrada HP	0.13	0.11	0.09	70	Pot. Entrada HP	0.24	0.19	0.17
	Pot. Salida HP	0.07	0.059	0.049		Pot. Salida HP	0.12	0.1	0.09
	Par Salida Kg-cm	203.6	262.4	283.8		Par Salida Kg-cm	378	398	409
	Vel. Salida RPM	25	16	12		Vel. Salida RPM	25	16	12

### ANEXO No. 3. FALLAS EN RODAMIENTOS.

<b>Principales fallas de los rodamientos y como prevenirlas.</b>		
<b>Síntoma</b>	<b>Causa</b>	<b>Solución</b>
Descascarillado	1. Carga excesiva. 2. Precarga excesiva. 3. Sobrecarga debido a dilatación por calentamiento.	1. Revisión del diseño de la máquina y la selección del rodamiento. 2. Cuidado en la instalación. 3. Analizar el diseño de la máquina y la aplicación del rodamiento.
En las pistas	Presencia de basura, impurezas.	Reemplazo del rodamiento considerando una mayor protección para evitar la entrada de impurezas.
Circunferencia sobre las pistas	Oxidación y ralladuras.	Reemplazo del rodamiento considerando una mejor protección para evitar la entrada de impurezas.
Áreas descascarilladas fuera del centro	1. Desalineamiento de la flecha o de los alojamientos del rodamiento. 2. Instalación inadecuada. 3. Desgaste.	Corregir el Desalineamiento, instalar el rodamiento de reemplazo correctamente.
Descascarillado fuera del centro	Excesiva carga axial.	Corregir el Desalineamiento o instalación inadecuada.
Descascarillado diagonal a las pistas	1. Flexión de la flecha. 2. Desalineamiento de los anillos interior y exterior.	Seleccionar un rodamiento más adecuado a la aplicación.
Áreas descascarilladas en los intervalos de los elementos rodantes	1. Vibración sin rotación. 2. Oxidación.	Suprimir la vibración, protección de los rodamientos.
<b>Atascamiento o frenado</b>		
Cambio de color o reblandecimiento de los elementos rodantes o de las pistas	1. Sobrecarga. 2. Lubricación inadecuada. 3. Lubricante incorrecto.	Precarga correcta. Chequeo del método de lubricación y selección del lubricante. Considerar la aplicación del rodamiento.
Daño visible	Sobrecarga	Revisar la aplicación del rodamiento.
<b>Fractura o agrietamiento</b>		
a. Fractura b. Agrietado	1. Descascarillado bajo impacto o durante la instalación. 2. Excesivo juego o radio grande en las esquinas.	1. Cuidado en el manejo o instalación. 2. Inspección del montaje y precarga. 3. Verificar la exactitud de la flecha y alojamiento.
<b>Daño en la jaula</b>		
a. Daño b. Desgaste	Carga angular. Alta velocidad de rotación.	Cuidado en la operación y reevaluación de la aplicación.

c. Desgaste de los alveolos de la jaula. d. Ralladuras.	Lubricación inadecuada. Presencia de impurezas.	Revisar el método de lubricación o selección del lubricante.
<b>Oxidación</b>		
Oxidación en todo el rodamiento.	1. Almacenaje inadecuado. 2. dejarlos sin protección o sea desempacarlos antes de su uso. 3. Limpieza pobre. 4. Insuficiente protección contra la oxidación.	Correcto almacenaje y protección contra la corrosión.
Oxidación localizada	1. Empaque inadecuado. 2. Montaje holgado.	Mejorar el almacenaje y la práctica de mantenimiento.
Corrosión en las superficies de montaje	1. Montaje holgado. 2. Protección pobre.	Insistir en que las flechas y los alojamientos tengan las tolerancias correctas. Protección contra la humedad.
<b>Desgaste</b>		
Desgaste rápido de las pistas o de los elementos rodantes.	1. Presencia de impurezas en el lubricante. 2. Oxidación.	Revisar lubricantes y sistema de lubricación.
Desgaste de la jaula.	Lubricación inadecuada.	Revisar lubricantes y sistema de lubricación.
<b>Erosión eléctrica</b>		
Cráteres semejantes o picaduras	Descarga eléctrica.	Desviación de la corriente a tierra o un aislante más efectivo.
<b>Asperezas</b>		
Rugosidad y superficies picadas	Impurezas prensadas entre los elementos rodantes y las pistas.	Mejorar las prácticas de mantenimiento.
Golpes durante el manejo	Descuido en el manejo.	Mejorar las prácticas de mantenimiento.
<b>Embarradura</b>		
Ralladura de los elementos rodantes o de las pistas.	1. Lubricación inadecuada. 2. Inclinación de los elementos rodantes. 3. lubricante impropio.	Verificar el lubricante y método de lubricación.
<b>Deslizamiento</b>		
a. Desgaste de la pista en su superficie de montaje. b. Deslizamiento, decoloración.	1. Excesivo juego interno en el montaje. 2. Holgura de la jaula, Abrasión.	Verificar los asientos y la exactitud del maquinado de la flecha y alojamientos o revaluación del diseño.

## **ANEXO NO. 4. ESPECIFICACIONES PARA FABRICACIONES SOLDADAS DE ACERO INOXIDABLE.**

### **ASTM A240- “Heart resisting chromium and chromium-nickel stainless Steel plate, sheet and strip for pressure vessels”**

Es una especificación básica para fabricaciones soldadas de acero inoxidable. Requiere templado por disolución en la Usina. Esta especificación incluye 40 grados austeníticos, 4 dúplex y 16 ferríticos.

Precaución: se debe tener cuidado en seleccionar los grados más bajos en carbono o estabilizados en aplicaciones que requieran resistencia a la temperatura.

### **ASTM A262 - “Detecting susceptibility to intergranular attack in austenitic stainless steel”**

Es una especificación suplementaria que cubre cinco pruebas que pueden ser incluidas en los documentos de fabricación cuando se requiera la máxima Resistencia al ataque intergranular. Cuando se usa la A262, los criterios a ser encontrados en la prueba deben ser incluidos como criterios para/ no paso, y no son parte de la A262.

### **ASTM A262 - “Stainless chromium-nickel steel-clad plate, sheet and strip”**

Es la especificación para construcción revestida, usando grados austeníticos cubiertos por la A240.

### **ASTM A 265 - “Nickel and nickel-base alloy-clad Steel plate”**

Es la especificación para construcción revestida usando los 10 grados de aleación más alta de níquel.

### **ASTM A312 – “Seamless and welded austenitic steel pipe.” “ASTM A403 – Wrought austenitic stainless steel piping fittings.”**

Son las especificaciones más antiguas para caños de aceros inoxidables austeníticos utilizados en ambientes agresivos, desarrollados y ampliamente usados por la industria química. Ambos productos requieren un temple por disolución después de la soldadura. La mayoría de los aceros inoxidables están cubiertos.



Precaución: se debe tener cuidado en seleccionar los grados mas bajos en carbono o estabilizados para servicios don requiera resistencia a la corrosión. Están incluidos los grados más altos de carbono y tamaños desde 1/8 de pulgada a 30 pulgadas de diámetro.

**ASTM A 778 – “Welded, unannealed austenitic stainless Steel tubular products”**

**ASTM A774 – “As welded austenitic stainless steel fittings for general corrosive services at low and moderated temperatures.”**

Se utiliza cuando los grados bajos en carbono y estabilizados se pueden usar en la condición soldada. El templado por disolución después de la soldadura no se requiere. Solo los grados bajos en carbono y estabilizados se incluyen en estas especificaciones. Están cubiertos en tamaños desde 3 a 48 pulgadas de diámetro.

**ASTM A 409 – “Welded large diameter austenitic Steel pipe for corrosive or high temperature service.”**

Cubre los espesores menores, con soldadura lineal o en espiral, caños desde 14 pulgadas hasta 30 pulgadas de diámetro. Se requiere templado por disolución, a menos que específicamente no se lo requiera. Se cubren 14 grados.

Precaución: se debe tener cuidado en seleccionar los grados con bajo carbono o estabilizados para servicios resistentes a la corrosión, dado que se incluyen los grados con más alto contenido de carbono. No hay especificaciones para accesorios.