



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

**“Rediseño del sistema de agitación de salmuera para mejorar el
congelamiento de bloques de agua en empresa SARITA COLONIA
S.A.C”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Br. Chanamé Bravo Walter (ORCID: 0000-0001-7740-8280)

ASESOR:

Ing. Salazar Mendoza Aníbal Jesús (ORCID: 0000-0003-4412-8789)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

CHICLAYO – PERÚ

2021

Dedicatoria

Este trabajo de investigación se lo dedico principalmente a Dios, por brindarme la vida acompañada de una buena salud, por guiarme en todos los pasos que doy, por darme las fuerzas necesarias para cumplir mis metas.

A mis padres: Walter Chanamé Baldera y Blanca Bravo Chozo que son el pilar de mi vida, las fuerzas para salir adelante, el motivo de seguir cumpliendo mis metas trazadas, a mis hermanos y hermanas, por el apoyo único que me brindan día a día.

Walter Chanamé Bravo.

Agradecimiento

Agradecer a Dios por estar conmigo cuando más lo necesito, por permitirme gozar de una buena salud, por ayudarme a cumplir una de las metas trazadas en mi vida.

A mis padres por el apoyo incondicional que día a día me dan, por las motivaciones y las alegrías de verme cumplir una meta más.

A la universidad CESAR VALLEJO sede Chiclayo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica y a sus docentes por compartir sus conocimientos durante el tiempo que duró mi carrera profesional.

A la empresa SARITA COLONIA S.A.C, por permitirme realizar este proyecto de investigación en sus instalaciones.

Un gran agradecimiento al Ingeniero Aníbal Jesús Salazar Mendoza, por compartir sus conocimientos adquiridos en su formación y experiencia profesional, por su ayuda y guía en cada paso de la realización de este proyecto de investigación.

Walter Chanamé Bravo.

Índice

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice	iv
Índice de Tablas.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Realidad problemática	1
1.2 Trabajos Previos	5
1.3 Teorías Relacionadas al Tema	7
1.3.1 El diseño.....	7
1.3.2 Termodinámica.....	9
1.3.2.1 Sistemas cerrados y abiertos	9
1.3.3 Transferencia de calor	10
1.3.3.1 Mecanismos de transferencia de calor	10
1.3.3.1.1 Conducción.....	10
1.3.3.1.2 Convección.....	12
Números adimensionales.....	13
Correlaciones empíricas para la transferencia de calor	16
Resistencia térmica a la transferencia de calor por convección y conducción.....	18
1.3.4 Sistema de refrigeración.....	21
Sistema de refrigeración por compresión de vapor	21
Componentes de un sistema de refrigeración por compresión de vapor.....	24
1.3.5 Hielo en bloques.....	24
1.3.6 Refrigerante.....	25

1.3.6.1 Intercambio térmico entre refrigerantes	26
1.3.7 Amoniaco	26
1.3.8 Salmuera.....	27
1.3.9 Agitación	27
1.3.10 Agitadores	28
1.3.11 Impulsores	30
1.3.12 Tipos de flujos en la operación de agitación.....	32
1.3.13 Números adimensionales y criterios de cálculos para agitadores	34
1.3.13.1 Número de Reynolds.....	34
1.3.13.2 Número de potencia	35
1.3.13.3 Número de Froude.....	35
1.3.13.4 Consumo de potencia para número de Reynolds inferiores a 300.....	37
1.3.13.5 Consumo de potencia para número de Reynolds > 10000.....	37
1.3.14 Elemento mecánico flexible.....	37
Correas trapezoidales o correas en “V”	38
1.3.15 Momento de torsión en ejes	38
1.3.16 Momento flector en ejes.....	39
1.3.17 Diseño del eje.....	40
1.3.17.1 Dimensionamiento del eje.....	40
1.3.17.2 Esfuerzos para el diseño de ejes.....	41
1.4 Formulación del Problema.....	42
1.5 Justificación del Estudio	42
1.6 Hipótesis	43
1.7 Objetivos.....	43
II. MÉTODO	44
2.1 Diseño de Investigación.....	44
2.2 Variables y Operacionalización.....	44

2.2.1 Identificación de variables	44
2.2.2 Operacionalización de variables.....	45
2.3 Población y Muestra	47
2.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	47
2.5 Métodos de Análisis de Datos	48
2.6 Aspectos éticos	49
III. RESULTADOS	50
3.1 Estado situacional del proceso de fabricación de hielo en bloques	50
3.1.1 Sistema de refrigeración.....	50
3.1.1.1 Componentes del sistema de refrigeración.....	50
3.1.2 Sistema para el congelamiento del agua contenida en los moldes	59
3.1.3 Sistema de agitación de salmuera.....	62
3.1.4 Moldes.....	64
3.2 Propuesta de una mejora para optimizar el proceso de congelamiento del agua contenida en los moldes	66
3.2.1 Refrigerante secundario.....	66
3.2.2 Moldes a utilizar.....	68
3.2.2.1 Separación de molde a molde en el área de congelamiento	69
3.2.2.2 Bastidores	71
3.2.3 Agua a congelar.....	71
3.2.4 Cálculos de coeficientes de transferencia de calor por convección	73
3.2.5 Cálculo de flujo de calor necesario para generar hielo en bloques	82
3.2.5.1 Coeficiente global de transferencia de calor para cada etapa del proceso	82
3.2.5.2 Área contacto para la transferencia de calor	84
3.2.5.3 Flujo de calor necesario para las tres etapas del proceso	88
3.2.6 Tiempo de duración del proceso para la fabricación de hielo en bloque	89
Enfriamiento del agua	89

Congelamiento del agua enfriada.....	90
Subenfriamiento del hielo	90
3.2.7 Carga frigorífica de la poza N° 2 para la fabricación de hielo en bloques.....	91
3.2.7.1 Calor extraído en la fabricación del hielo en bloques	91
Enfriamiento del agua	91
Congelamiento del agua enfriada.....	92
Subenfriamiento del hielo	92
3.2.7.2 Carga térmica debido al enfriamiento de los moldes	93
3.2.7.3 Carga térmica debido a los agitadores de la salmuera	94
3.2.7.4 Pérdidas de carga térmica a través de paredes, fondo y cubierta de la poza de salmuera	95
3.2.7.5 Pérdidas caloríficas incalculables.....	101
3.3 Diseño y cálculo del sistema de agitación de salmuera	102
3.3.1 Diseño del agitador mecánico	102
3.3.2 Velocidad angular	102
3.3.3 Cálculo del número de Reynolds	103
3.3.4 Potencia de arrastre que consume la propela	105
3.3.5 Motor eléctrico a utilizar	106
3.3.6 Sistema de transmisión.....	107
Transmisión por fajas trapezoidales.....	107
Potencia transmitida	108
Faja a seleccionar	108
3.3.7 Diámetro de poleas.....	109
3.3.8 Distancia entre ejes de las poleas	109
3.3.9 Longitud de la faja.....	110
3.3.10 Factor de corrección	110
Factor por ángulo de contacto	110

3.3.11 Potencia efectiva por faja	111
Potencia permitida por faja	112
Potencia adicional	112
3.3.12 Número de fajas a utilizar	112
3.3.13 Cálculos de fuerzas cortantes y de momentos.....	113
3.3.13.1 Momento torsor.....	113
3.3.13.2 Fuerza que ejerce la salmuera	114
3.3.13.3 Fuerza tangencial en la polea conducida.....	115
3.3.13.4 Fuerza tangencial que actúa en el impulsor	116
3.3.13.5 Cálculo de fuerzas radiales.....	116
Fuerza resultante en la polea conducida.....	116
3.3.13.6 Sumatoria de fuerzas y momentos	121
3.3.13.7 Diagramas de fuerzas cortantes y de momentos	122
3.3.13.8 Momentos resultantes.....	124
3.3.14 Cálculo del diámetro del eje del agitador.....	124
3.3.15 Cálculos de esfuerzos a los que se somete el eje propulsor	127
3.3.16 Carga sometida al rodamiento de la chumacera.....	128
3.3.17 Cálculos para el rodamiento de la chumacera.....	130
Carga del rodamiento	131
Índice básico de vida.....	131
3.3.18 Cálculo de cuñas.....	132
3.3.19 Soporte del agitador	133
3.3.20 Sistema eléctrico para los agitadores mecánicos.....	134
3.3.20.1 Cálculos de los equipos de protección para el sistema eléctrico de los agitadores mecánicos.....	134
3.4 Análisis económico del proyecto	140
Costos de materiales para las cubiertas de la poza de salmuera.....	140

Costo de materiales para el túnel de agitación de la poza de salmuera.....	141
Costos de inversión para el rediseño del sistema de agitación.....	142
Costos del sistema eléctrico para los agitadores mecánicos	145
IV. DISCUSIÓN.....	147
V. CONCLUSIONES	148
VI. RECOMENDACIONES	150
REFERENCIAS.....	151
ANEXOS	154

Índice de Tablas

Tabla 1: Valores de las constantes K_L y K_T para tanques que consta de cuatro deflectores en la pared del tanque, cuya ancho es igual a la décima parte del diámetro del tanque.....	37
Tabla 2: Rediseño del sistema de agitación de salmuera.....	45
Tabla 3: Congelamiento del agua contenida en los moldes.....	46
Tabla 4: Parámetros eléctricos del compresor de tornillo VILTER 01 VSS 451	52
Tabla 5: Parámetros eléctricos del compresor de tornillo VILTER 02 VSM 301	52
Tabla 6: Parámetros eléctricos del compresor de tornillo VILTER 03 VSM 501	53
Tabla 7: Características de tuberías del condensador 01	54
Tabla 8: Características de tuberías de los condensadores 02-03.....	54
Tabla 9: Dimensión del tanque receptor del sistema de refrigeración - poza N° 2.....	55
Tabla 10: Características de los evaporadores 01 y 02.....	57
Tabla 11: Medidas de los moldes con los que trabaja la poza de salmuera N° 2.....	65
Tabla 12: Características de la salmuera	66
Tabla 13: Nueva dimensión de los moldes	69
Tabla 14: Propiedades térmicas del agua y del hielo.....	72
Tabla 15: Dimensiones de las cubiertas para el área del congelador	99
Tabla 16: Dimensiones de las cubiertas para el área del corredor.....	99
Tabla 17: Número de potencia para diferentes tipos de impulsores.....	105
Tabla 18: Costos de materiales para las cubiertas de la poza de salmuera N° 2	140
Tabla 19: Costos de materiales para el túnel de agitación de la poza N° 2	141
Tabla 20: Costos para el rediseño del sistema de agitación.....	142
Tabla 21: Costos del sistema eléctrico para los agitadores mecánicos.....	145

RESUMEN

Este trabajo de investigación se basa en dar soluciones a la empresa SARITA COLONIA S.A.C, planta de fabricación de hielo en bloques, donde el problema más resaltante es la duración del proceso para la fabricación de dicho producto en el cual está involucrado el sistema de agitación, motivo por el cual el objetivo principal de este trabajo de investigación es rediseñar el sistema de agitación, con la finalidad de mejorar la mezcla y el movimiento de la salmuera, logrando que la transferencia de calor entre evaporadores-salmuera-agua contenida en los moldes, sea mejor; optimizando así el proceso de fabricación de hielo en bloques.

El tiempo que tarda el proceso de congelamiento del agua contenida en los moldes que están sumergidos en la poza de salmuera, es lento, por lo que afecta económicamente a la empresa tanto en el consumo de energía eléctrica como en la producción de hielo en bloques.

El rediseño del sistema de agitación de salmuera, se realizará teniendo en cuenta varios parámetros de diseño, como por ejemplo el material del agitador con el que va ser diseñado teniendo en cuenta que estará en contacto con la salmuera.

En uno de los objetivos específicos del presente trabajo de investigación se propone una mejora para contribuir con la optimización del proceso de congelamiento del agua contenida en los moldes, ya que estos moldes con los que cuenta la poza están sobredimensionados. El tiempo que tarda el proceso de fabricación de hielo en bloque está en función también del espesor del molde donde está el agua a congelar, es decir si los moldes están sobredimensionados el tiempo de fabricación de hielo en bloque será más lento.

La mejora para la optimización del congelamiento del agua contenida en los moldes llenos de agua que este trabajo de investigación propone, se basa en cálculos para determinar la separación adecuada que se debe establecer de molde a molde de acuerdo a las dimensiones de la poza y de los moldes, con el fin de ganar una buena área de contacto entre la salmuera y los moldes obteniendo una mejor transferencia de calor.

Palabras Clave: Diseño de agitación, tiempo de congelamiento, fabricación de hielo en bloques, transferencia de calor.

ABSTRACT

This research work is based on providing solutions to the company SARITA COLONIA SAC, a block ice manufacturing plant, where the most outstanding problem is the duration of the process for the manufacture of said product in which the stirring system is involved. This is why the main objective of this research work is to redesign the agitation system, in order to improve the mixing and movement of the brine, achieving that the heat transfer between evaporators-brine-water contained in the molds, be better; thus optimizing the block ice making process.

The time it takes for the process to freeze the water contained in the molds that are submerged in the brine pool is slow, which affects the company economically both in terms of electricity consumption and the production of block ice.

The redesign of the brine agitation system will be carried out taking into account several design parameters, such as the agitator material with which it will be designed taking into account that it will be in contact with the brine.

In one of the specific objectives of this research work, an improvement is proposed to contribute to the optimization of the process of freezing the water contained in the molds, since these molds that the pool has are oversized. The time it takes for the block ice making process is also a function of the thickness of the mold where the water to be frozen is, that is, if the molds are oversized, the block ice making time will be slower.

The improvement for the optimization of the freezing of the water contained in the molds filled with water that this research work proposes is based on calculations to determine the adequate separation that must be established from mold to mold according to the dimensions of the pool and the the molds, in order to gain a good contact area between the brine and the molds, obtaining a better heat transfer.

Keywords: Stirring design, freezing time, block ice making, heat transfer.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

Hoy en día, debido a la alta competencia industrial que se vive, es necesario que las empresas industriales logren que sus productos finales que se ofrecen al mercado sean de muy buena calidad, que cumplan con las normas establecidas y sobre todo con las expectativas de los consumidores, pues para ello es necesario trabajar en cada una de sus operaciones de manera eficiente, esto implica tener en un estado óptimo todos los procesos que se necesitan para obtener el producto final, implica también que el consumo de energía eléctrica en todos sus procesos sea el necesario.

Logrando brindar un producto final de muy buena calidad, se genera beneficios tanto para el cliente como para la misma empresa en su desarrollo.

Problemática a nivel internacional:

Las fábricas de hielo al tener un grado alto de producción, requieren de una cantidad de tiempo considerable para dar mantenimiento a todos los equipos y maquinarias que forman parte de sus procesos, ya que en su mayoría han sobrepasado su vida útil. Así como también las instalaciones en general se encuentran en un estado deteriorado, pero que siguen en funcionamiento, logrando posicionar al sistema en una gran probabilidad de falla. Los motores eléctricos de la fábrica de hielo trabajan con una eficiencia menor a la que debería de trabajar.

Las principales amenazas de las fábricas de hielo son las competencias que existen con otras fábricas de operación relativamente más económica con menores costos de mantenimiento; y la competencia de las tiendas de convivencia de cadena nacional que acaparan el mercado de los clientes al satisfacer sus necesidades de refrigeración en el punto de venta de las tiendas.

Los incrementos del consumo de energía eléctrica que de mes a mes desafían la operatividad de la fábrica. (De la Peña Barrón, 2012)

En el país de Ecuador la mayoría de fábricas elaboran hielo en forma de bloques o marquetas los cuales por su tamaño son triturados según el uso que se le dé. Los productos del mar necesitan también el hielo para mejorar y conservar los diferentes tipos productos de la pesca.

La fabricación de hielo ha usado técnicas antiguas que conlleva diferentes inconvenientes como son los costos por la mano de obra y también de operaciones, pues necesita de cuidado permanente, es decir tener los procesos que permiten la fabricación de hielo en un estado óptimo.

En la actualidad hay cambios profundos que sucede en el diseño, operación y administración de las industrias del hielo, esto se debe a la introducción simultánea de los conceptos de aseguramiento de calidad del producto con una mejor transferencia de calor. (Terán Mayorga, 2015)

En todas las empresas industriales debe existir una buena confiabilidad operacional, en donde el objetivo sea asegurar la competitividad de la empresa; para así disminuir la cantidad de fallas que generan interrupciones no programadas, porque hoy en día la mayoría de fábricas industriales, en sus procesos o en algunos de ellos no son eficientes, debido a fallas o deterioro de algún equipo o maquinaria que sea parte del proceso, por lo que trae muchas consecuencias para la empresa como por ejemplo perdidas en la producción por ende perdidas económicas. (El Mantenimiento y la Eficiencia Energética, 2010)

Problemática a nivel nacional:

Las empresas productoras de hielo en el Perú tienen inconvenientes y deficiencias en el área de producción, lo cual conlleva a pérdidas económicas (debido a que la producción se paralizará por dichos inconvenientes), afectando también al consumidor del producto final obteniendo su insatisfacción debido a la calidad del producto. Hoy en día el rubro empresarial es muy competitivo y exigente, por lo que, las empresas deben estar en la capacidad y condiciones de operar utilizando sus mejores estrategias, con la finalidad de obtener una buena posición en el mercado, buscando el reconocimiento y la fidelización de sus consumidores. Por lo general, en prácticas actuales de gestionar la capacidad de producción, las empresas no cuentan con procedimientos adecuados para su ciclo de fabricación, no obstante, con la ayuda de maquinarias y experiencia en este segmento, hacen que la producción obtenga los resultados esperados y genere rentabilidad. Sin embargo se necesita tener todos los procesos óptimos, para producir a su máxima capacidad y en su tiempo establecido, teniendo en cuenta la calidad de producto final que se debe entregar al mercado consumidor. (Zuloeta Lagos, y otros, 2017)

En la actualidad, las plantas productoras de hielo están en incremento, de manera que es una de las industrias más importantes de los últimos años ya que sirve para diferentes usos, por ejemplo para la conservación de alimentos, para la industria pesquera; el hielo es muy importante para la conservación de la calidad del pescado de exportación.

En el sistema productivo de hielo en bloque se observa que el tiempo de duración para el proceso de congelamiento es un problema que se hace presente diariamente sobre todo cuando la temporada es alta, debido al incremento de su demanda. (De los santos Reyna, y otros, 2017)

Actualmente existe gran cantidad de fenómenos que se asocian con los fluidos y su interacción con lo que lo rodea. A partir de estos fenómenos la ciencia decide plantear diversas formulaciones para su estudio mediante modelos matemáticos, en la actualidad, no se dispone de una ecuación analítica que describa en general el comportamiento de los fluidos.

La capacidad de agitación relacionada con el mezclado es de mucha importancia ya que tiene gran impacto en el costo de producción y operación del mismo. El diseñar y fabricar un sistema de agitación, tiene gran importancia pues se relaciona directamente con el proceso, lo que se traduce en calidad de mezcla, tiempo de mezcla y consumo de energía. (Arrieta Valderrama, 2012)

Problemática local:

La fábrica de hielo SARITA COLONIA S.A.C, ubicada en la carretera Chiclayo – Lambayeque, en el km 778, dedicada a la fabricación de hielo en bloques, el cual es destinado para la industria pesquera siendo su mercado objetivo, la planta cuenta con 5 pozas de salmuera en donde son sumergidos los moldes llenos de agua para dar inicio al proceso de congelamiento con la ayuda del sistema de refrigeración y de agitación, una de las pozas que tiene más capacidad de producción de hielo en bloques es la N° 2, la cual se va a tomar como muestra para la realización de este proyecto de investigación, tiene la capacidad de almacenar 1060 moldes llenos de agua.

La poza está conformada por el área de agitación, corredor (ubicación de evaporadores), congelamiento (ubicación de los moldes llenos de agua). Para más detalles ver figura 33.

La producción de hielo en bloques, se hace posible mediante un sistema de refrigeración por compresión de vapor, en donde el refrigerante es el amoníaco llamado también medio de transmisión de calor, el cual pasa por distintas etapas de dicho sistema.

Los evaporadores están sumergidos en la salmuera en el área del corredor, en la última etapa del sistema de refrigeración el refrigerante primario llega a dichos evaporadores donde se produce la absorción de calor a presión constante (el refrigerante se evapora por completo, absorbiendo calor del espacio refrigerado), en esta etapa se realiza la transferencia de calor con la salmuera (refrigerante secundario) la cual debería estar en constante movimiento.

El refrigerante secundario, el cual trabaja a temperaturas bajo 0°C , al estar en constante movimiento y con ayuda del sistema de refrigeración, se logra que la temperatura de dicho refrigerante se mantenga homogéneamente, obteniéndose una mejor transferencia de calor, de modo que el congelamiento del agua contenida en los moldes será mejor, el movimiento de la salmuera se hace posible mediante los agitadores electromecánicos, los cuales son muy importante para este proceso, esta poza de salmuera consta de dos agitadores electromecánicos.

La problemática encontrada en la producción de hielo en bloques está en el sistema de agitación de la salmuera, debido a que los agitadores generan una inadecuada cantidad de flujo de salmuera que pasa por los evaporadores produciéndose la transferencia de calor no óptima, esto se puede dar debido a que los agitadores mecánicos han sido diseñado empíricamente y debido también a la ubicación de dichos agitadores, se ubican en el área de agitación a lo ancho del área de congelamiento, a una distancia de 3 metros entre dichos elementos, generando constante movimiento del fluido en este tramo, pero en el tramo más largo donde se ubican los evaporadores, la salmuera no tiene un adecuado movimiento como debería de ser, afectando a la mezcla y temperatura de la salmuera, por tal motivo el proceso de congelamiento del agua contenida en los moldes se hace más lento. Esta ubicación de los agitadores afecta también al nivel de la salmuera, ya que parte de ella que se encuentra más cercano a los agitadores está en un nivel adecuado, pero llega un momento en que se excede el nivel saliéndose de la poza desperdiciando parte de este fluido y en una parte en donde se ubican los evaporadores se tiene una considerable pérdida de nivel de salmuera, que al ingresar al área de congelamiento, esta pérdida de nivel de salmuera genera problemas con la transferencia de calor entre la salmuera y el agua contenida en los moldes, afectando al tiempo de congelamiento del agua.

A pesar que el tiempo para la producción de hielo en bloque es lento, en dicho producto aparece un problema que es de mucha importancia ya que este producto se entrega al consumidor (mercado). El problema es que en el bloque de hielo (producto final) quedan partes sin congelar tanto en la parte superior como en el centro del bloque, generando problemas a la empresa debido a la calidad del producto final que produce la planta.

En cada poza de salmuera se produce un problema con la temperatura de dicha solución, debido a su inadecuada agitación, logrando que su temperatura no sea constante, trayendo como consecuencia que el tiempo de congelamiento de los bloques de agua, tarde, ya que para que el proceso de congelamiento del agua contenida en los moldes sea óptimo, la temperatura de trabajo de la salmuera debe ser de -12°C .

1.2 Trabajos Previos

A nivel internacional:

En la investigación titulada, **“Parámetros de diseño en agitadores de fluidos industriales para tanques de recirculación”**, contiene los procedimientos para calcular, modelar y simular, los cuales que son necesarios para la determinación de las condiciones de operación a los que se someten tanto los elementos del conjunto de agitación como del conjunto motriz del sistema de recirculación de fluidos industriales de la empresa Siderúrgica del Orinoco “Alfredo Maneiro” Puerto Ordaz, Venezuela. Por medio de la mecánica de fluidos computacional (CFD), se concluyó que las velocidades siguen el patrón característico para álabes inclinados a 45° y los valores de las mismas son inferiores a la velocidad de la punta del mismo. El análisis estático efectuado sobre el modelo original del conjunto de agitación mostró un esfuerzo máximo de 260,1 MPa y un factor de seguridad de 0,66 en la unión del álabe y el núcleo. En esta investigación concibe el análisis de los diferentes modelos de agitadores como el de sus características y condiciones de funcionamiento; ya que existen los que generan corrientes paralelas al eje del rodete (rodetes de flujo axial), y los que generan corrientes en dirección tangencial o radial (rodetes de flujo radial). (Medina, y otros, 2015)

En el trabajo de investigación titulado “**Análisis, diseño y modelamiento por elementos finitos del eje para un agitador mecánico de la empresa Flow Control And Handling S.A.**”, Se diseña y se hace el modelamiento del eje para un agitador mecánico vertical a través del método de elementos finitos, teniendo en consideración las cargas críticas como el par torsor y el momento flector. Al realizar este modelamiento, al eje se le considera como una viga en voladizo en donde se analizan las velocidades críticas y los esfuerzos. (Bolívar Martínez, 2013)

A nivel nacional:

La tesis que lleva como título “**Estudio del flujo en un tanque agitador vertical de impulsor ptb con superficie libre mediante el programa ansys cfx v.14.0**”, contribuye con el mejoramiento y optimización de nuevos diseños, para fabricar tanques agitadores, que minimicen el tiempo de operación, que incrementen la eficiencia de mezcla y que disminuya los costos de fabricación. En este trabajo se explica sobre las generalidades técnicas en tanques agitadores, número adimensionales que se utilizan en la mezcla, ecuaciones matemáticas para conocer el comportamiento de los fluidos. (Huerto Bujaco, 2013)

En la tesis titulada "**Diseño-construcción e instalación de tanque agitador**", señala que la agitación es una operación unitaria, que en un fluido produce movimientos irregulares, turbulentos, a través de dispositivos mecánicos que actúan sobre el mismo. La agitación es aplicada ampliamente en la parte industrial para acelerar las operaciones como el mezclado, la transferencia de calor, etc. Debido a esta operación, en el seno de un fluido se genera movimientos violentos e irregularidades. Si la materia que recibe estos movimientos es una sustancia única, entonces se dirá que se trata de una agitación. En un sentido mecánico un agitador se puede requerir para efectuar una de varias operaciones, como por ejemplo puede ser necesario para lograr la dispersión de un soluto miscible, igualmente a través de una masa. (Neyra Navarro, y otros, 2013)

A nivel local:

En el trabajo de investigación titulado "**Mejora de la producción de la fábrica de hielo Sarita Colonia SAC**". Tesis pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Se Evalúa la producción y diseña las mejoras que se necesitan con la finalidad de mejorar la productividad en la fábrica de hielo Sarita colonia S.A.C; se determina que en base a la demanda se pueda definir la capacidad de producción ideal. Optó por realizar un diagnóstico a la línea productiva con el objetivo de optimizar los tiempos del proceso de fabricación de hielo en bloques, se diseña las modificaciones que se necesitan para obtener la incrementación de la capacidad de producción. (Salazar Larios, 2015)

1.3 Teorías Relacionadas al Tema

1.3.1 El diseño

Es un proceso enfocado en la innovación, siendo este muy repetitivo, para ello es de mucha importancia la toma de decisiones, en distintos casos estas decisiones son tomadas con poca, adecuada y excesiva información.

Diseñar es formular un plan con la finalidad de dar soluciones a problemas satisfaciendo una necesidad específica, el resultado de dicho plan puede lograr la creación de algo físicamente real, por lo que dicha creación debe de ser seguro, confiable, útil, etc. Teniendo muy en cuenta que se pueda fabricar y comercializar.

El diseño en la ingeniería:

La ingeniería mecánica está relacionada directamente con el sistema productivo y su suministro, el procesamiento de energía, las técnicas de automatización y las herramientas de transporte. La disciplina están basadas en mecánica de sólidos y de fluidos, transferencia de masa y momento, teoría eléctrica y de la información.

Fases del proceso del diseño:

Las fases para el proceso del diseño comienza identificando la necesidad que se presente, seguidamente tener la decisión de reaccionar a dicha necesidad, luego de iterar varias veces, se termina presentando los planes con finalidad de darle solución a la necesidad que se presenta, según la naturaleza del diseño, algunas fases de este son posibles reiterar durante la vida del producto. (Budynas y Nisbett, 2008, p. 5)

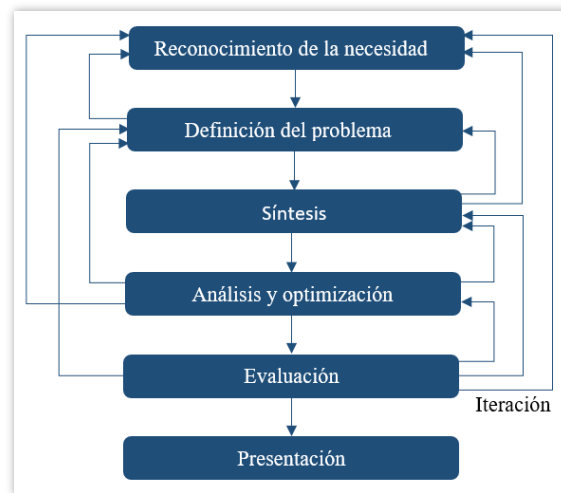


Figura 01: Fases del proceso de diseño

Fuente: (Budynas y otros, 2008, p. 6)

Consideraciones de diseño:

Para diseñar elementos se debe considerar importantes características, como:

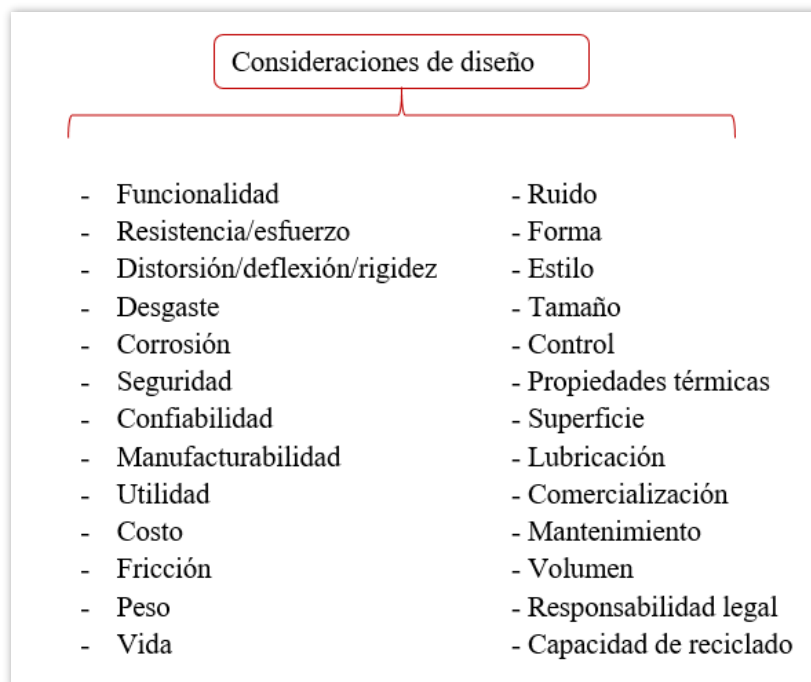


Figura 02: Consideraciones de diseño

Fuente: (Budynas y otros, 2008)

Herramientas y recursos de diseño:

Actualmente existen muchas herramientas y recursos disponibles que ayudan a dar soluciones a problemas de diseño. Existen programas computacionales (software) que proporcionan herramientas de gran capacidad para diseñar, analizar y simular componentes mecánicos.

A demás existe una variedad de información y se pueden encontrar desde libros de ciencia/ingeniería hasta folletos o catálogos de los fabricantes.

Herramientas computacionales:

El software para el diseño asistido por computadora (CAD) es muy importante, debido a que nos ayuda a desarrollar diseños en tres dimensionales (3-D) a partir de los cuales se producen vistas ortográficas convencionales en dos dimensiones con dimensionamiento automática.

La ventaja de esta herramienta es que permite crear rápidamente prototipos y manufactura. Existe una gran variedad de software CAD disponibles que son de mucha ayuda para el diseño. (Budynas, y otros, 2008)

1.3.2 Termodinámica

Parte de la física que estudia las transformaciones de la energía reversibles e irreversibles, en forma de calor y trabajo de los sistemas macroscópicos.

Esta rama de la física trata de la cantidad de transferencia de calor a medida que un sistema pasa a través de un proceso de un estado de equilibrio a otro y no hace referencia al tiempo de duración de dicho proceso.

1.3.2.1 Sistemas cerrados y abiertos

Se puede considerar sistemas cerrados, si se elige para estudio una masa fija; y sistemas abiertos si se elige para estudio un volumen fijo.

Sistema cerrado o masa de control:

En un sistema cerrado ninguna masa puede ingresar o salir.

En este sistema la energía puede cruzar la frontera en forma de calor o trabajo.

Sistema abierto o volumen de control:

Es aquella región elegida apropiadamente en el espacio, este sistema encierra un dispositivo que está relacionado con flujo másico, como un compresor, turbina.

La energía y la masa pueden cruzar la frontera de un volumen de control.

Un volumen de control puede tener fronteras fijas, móviles, reales o imaginarias. (Cengel y Boles, p.10)

1.3.3 Transferencia de calor

La energía puede ser transferida desde o hacia una masa, a través de dos mecanismos los cuales son calor (Q) y trabajo (W), por los cuales la energía puede cruzar la frontera de un sistema cerrado o masa de control.

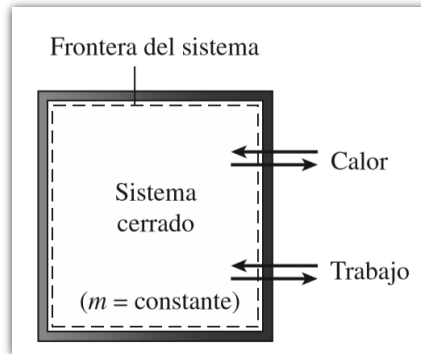


Figura 03: Transferencia de energía

Fuente: (Cengel y Boles, p.60)

Calor (Q): Forma de transferencia de energía entre un sistema y el exterior o entre dos sistemas, debido a una diferencia de temperatura. Es decir, una interacción de energía será calor solo si ocurre debido a una diferencia de temperatura.

La presencia de una diferencia de temperatura es el requisito básico para la transferencia de calor, ya que dicha diferencia es la fuerza impulsora para lograr la transferencia de calor. Los mecanismos de transferencia de calor son: por conducción, por convección y por radiación. Todos estos modos de transferencia de calor necesitan de la existencia de una diferencia de temperatura, todos pasan de un ámbito de alta temperatura a uno de menor de temperatura.

1.3.3.1 Mecanismos de transferencia de calor

1.3.3.1.1 Conducción

En sólidos, líquidos o gases puede ocurrir la conducción, en los sólidos la conducción se da al combinar la vibración de las moléculas de una red y el traslado de energía a través de electrones libres. Pero en el caso de estos dos últimos la conducción es debido a las colisiones de las moléculas mientras se mueven aleatoriamente.

Ley de Fourier de la conducción de calor:

$$\dot{Q}_{\text{cond.}} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (\text{W})$$

Siendo:

$\dot{Q}_{\text{cond.}}$: Tasa de transferencia de calor por conducción, en (W).

k : Conductividad térmica del material, en (W/m .K).

A : Área perpendicular a la dirección que se transfiere el calor, en (m²).

$\frac{dT}{dx}$: Gradiente de temperatura.

Sabiendo que para la conductividad térmica:

$$1 \text{ W/m. K} = 1 \text{ W/m. } ^\circ\text{C}$$

Conducción en una pared plana:

En una pared plana cuyas superficies están a distintas temperaturas, la fluidez del calor será solo en dirección perpendicular a dichas superficies (figura 04).

Ley de Fourier:

$$\dot{Q}_{\text{cond.}} = -kA \frac{(T_2 - T_1)}{L} \quad (\text{W})$$

En dónde:

T_1 = Temperatura, lado izquierdo ($x = 0$)

T_2 = Temperatura, lado derecho, ($x = L$), siendo “L” el espesor de la pared.

Al considerar la transferencia de calor por conducción análoga al flujo de electricidad, donde su ecuación se asemeja a la de la ley de ohm. Por lo que para la analogía eléctrica, se puede expresar de la siguiente manera:

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{total}}}$$

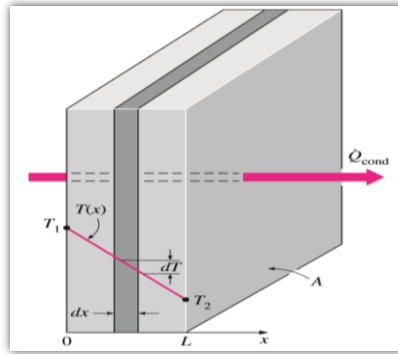


Figura 04: Conducción en una pared.

Fuente: (Cengel, p. 133)

Conductividad térmica (k): Propiedad física, la cual mide la capacidad que tiene un material para conducir calor, dicha conductividad de calor va a variar según la naturaleza del material y a la temperatura a la que se encuentre.

La conductividad térmica de los materiales varía con la temperatura de una manera diferente, dependiendo si se trata de un sólido, líquido o un gas. (Herrera, 2005, p. 16)

1.3.3.1.2 Convección

Este modo de transferir calor se da entre una superficie sólida y un líquido o gas adyacente en movimiento. La convección tiene que ver con los efectos combinados de conducción y el movimiento del fluido, al ser más rápido este movimiento, la transferencia de calor por convección será mayor.

La razón de este tipo de transferencia de calor es proporcional a la diferencia de temperatura y es expresada por la ley de Newton del enfriamiento:

$$\dot{Q}_{\text{conv.}} = hA(T_s - T_f) \quad (W)$$

Siendo:

$\dot{Q}_{\text{conv.}}$: Tasa de transferencia de calor por convección.

h : Coeficiente de transferencia de calor por convección, en $(W/m^2 \cdot K)$ o $(W/m^2 \cdot ^\circ C)$.

A : Área de transferencia de calor, en (m^2) .

T_s : Temperatura de la superficie.

T_f : Temperatura del fluido distante de la superficie.

Al existir una diferencia de temperatura en el interior de un fluido, se genera un movimiento de partículas, las que también transfieren calor de una parte del fluido a otra. Por lo que este mecanismo de transferencia de calor consiste en dicha existencia.

Hay dos formas de convección (natural y forzada).

Si un fluido es obligado a circular sobre superficies a través de medios externos como por ejemplo un ventilador, bomba, viento; la convección es forzada.

Si el movimiento de un fluido es generado por las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido; la convección es natural.

Coefficiente de transferencia de calor por convección (h):

Parámetro cuya determinación se basa en la experiencia y su valor va a depender de todas las variables que influyen sobre la convección, como la naturaleza del movimiento del fluido, las propiedades y la velocidad masiva de dicho fluido, la configuración geométrica de la superficie.

Números adimensionales

Entre los más importantes podemos resaltar los siguientes:

Número de Nusselt:

Número adimensional cuyo nombre es recibido en honor a Wilhelm Nusselt, quien contribuyo significativamente con la transferencia de calor por convección.

Este número adimensional representa el mejoramiento de la transferencia de calor a través de una capa de fluido, como resultado de la convección en relación con la conducción a través de la misma capa.

$$\text{Nu} = \frac{hL_c}{k} \quad [1]$$

Siendo:

h : coeficiente conectivo, en (W/m²°C).

L_c : Longitud característica, en (m).

k : Conductividad térmica del fluido, en (W/m°C).

La convección será más eficaz, si el número de Nusselt es mayor.

Número de Prandtl:

Número adimensional utilizado para describir de la mejor manera el espesor relativo de las capas límite de velocidad y térmica, el número de Prandtl está definido por:

$$\text{Pr} = \frac{\text{Difusividad molecular de la cantidad de movimiento}}{\text{Difusividad molecular del calor}}$$

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{C_p \mu}{k} \quad [2]$$

Dónde:

ν : Viscosidad cinemática del fluido, en (m²/s).

α : Difusividad térmica, en (m²/s).

C_p : Calor específico del fluido, en (J/kg. °C)

μ : Viscosidad dinámica del fluido, en (kg/m s).

k : Conductividad térmica del fluido, en (W/m. °C).

El nombre de este número adimensional se debe a Ludwig Prandtl, quien introdujo el concepto de capa límite en 1904. (Cengel, p. 365)

Número de Reynolds:

Su nombre se debe a Osborn Reynolds, quien luego de experimentos logra descubrir que el régimen de flujo va a depender principalmente de la razón de las fuerzas de inercia a las fuerzas viscosas en el fluido. (Cengel)

El número de Reynolds es utilizado para conocer las características del movimiento de un fluido. Para flujo externo se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Re} = \frac{\text{fuerzas de inercia}}{\text{fuerzas viscosas}}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho v L_c}{\mu} \quad [3]$$

Dónde:

ρ : Densidad del fluido, en (kg/m³).

v : Velocidad del fluido, en (m/s).

L_c : Longitud característica, en (m).

μ : Viscosidad dinámica del fluido, en (kg/m.s).

En tuberías no circulares la longitud característica es equivalente al diámetro hidráulico (D_h), el cual es igual a:

$$D_h = \frac{4A_c}{P} \quad [4]$$

Dónde:

A_c : Área de la sección transversal del tubo, en (m^2).

P : Perímetro mojado, en (m).

Número de Grashof:

Es un número adimensional que se encarga de proporcionar el criterio principal para determinar el tipo de flujo del fluido (laminar o turbulento) en la convección natural. Está definido por:

$$G_r = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu^2}$$

En dónde:

g : Aceleración gravitacional, en (m/s^2).

β : Coeficiente de expansión térmica del fluido ($1/K$)

T_s : Temperatura de la superficie.

T_∞ : Temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie.

L_c : Longitud característica, en (m).

ν : Viscosidad cinemática del fluido, en (m^2/s).

Temperatura fílmica o de película:

Temperatura a la cual deben ser evaluadas las propiedades del fluido.

$$T_f = \frac{(T_s + T_\infty)}{2} \quad [5]$$

Número de Rayleigh:

El número de Rayleigh es producto del número de Grashof y el número de Prandtl.

Es considerado como la razón de la flotabilidad y los productos de las difusividad térmica y de cantidad de movimiento.

$$Ra = Gr * Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu\alpha}$$

Dónde:

α : Difusividad térmica, en (m²/s).

(Hernández y otros, 2015, p.18). Señalan que generalmente, la convección inicia para valores del Ra > 1000, pero si el Ra < 10 entonces la transferencia de calor es completamente por conducción.

Correlaciones empíricas para la transferencia de calor

En la práctica, las correlaciones empíricas casi siempre resultan ser útiles en los propósitos de diseño e ingeniería, dichas correlaciones son el resultado de métodos experimentales realizados, presentándose ecuaciones en función al número de Nusselt con la finalidad de determinar el coeficiente convectivo, motivo por el cual a continuación se detallan las correlaciones empíricas en convección externa forzada y en convección interna forzada.

Convección externa forzada: Para flujos a través de cilindros largos, el número de Nusselt puede ser expresado de manera compacta de la siguiente forma:

$$Nu = CRe^mPr^n$$

$$Nu = \frac{hD}{k} = CRe^mPr^n \quad [6]$$

Esta relación es para solo un cilindro o para cilindros que están orientados de tal forma que el flujo sobre ellos no resulte afectado por la presencia de otros. Asimismo, también se pueden aplicar a superficies lisas. (Cengel, p. 413)

En dónde:

D: longitud características (m)

m, n, C: Constantes experimentales determinadas.

Para el caso de la **convección interna forzada**, en situaciones de enfriamiento y calentamiento se hace uso del flujo de líquido o gas a través de ductos y tubos, en ellas el fluido es forzado a desplazarse por un tramo de ducto o tubo que es suficientemente largo como para transferir el calor deseado. (Cengel, p. 451) Quedando la ecuación semejante para dicha convección de la siguiente manera:

$$Nu = f(Re, Pr)$$

En dónde:

Re: Determina la similitud hidromecánica entre las corrientes de los agentes portadores de calor. (Número de Reynolds)

Pr: Característica termofónica del agente portador de calor. (Número de Prandtl)

Expresión clásica para calcular la transferencia de calor en flujo turbulento completamente desarrollados en tubos lisos.

$$Nu = 0.023 * Re^{0.8} * Pr^n \quad [7]$$

Esta expresión es conocida como ecuación de Dittus-Boelter, [Dittus y Boelter (1930)]

Para el enfriamiento del fluido:

$$n = 0.3$$

Para el calentamiento del fluido:

$$n = 0.4$$

(Cengel, p. 474)

Coefficiente de transferencia de calor total (U)

Es la intensidad total de transferencia de calor por medio de un material, es utilizado para cálculos en intercambiadores de calor. Este coeficiente se expresa en $W/m^2.C$

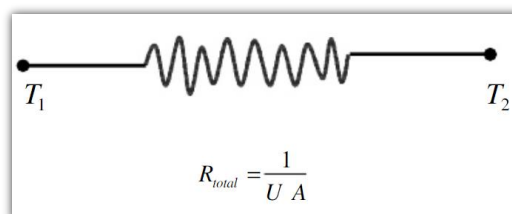


Figura 05: Coeficiente global de transferencia de calor

Resistencia térmica a la transferencia de calor por convección y conducción

Si se tiene una pared plana con un espesor “L”, área “A” y la conductividad térmica “k” del material de pared, donde los lados externos de dicha pared se exponen a la convección debido a que están en contacto con fluidos que tienen sus respectivos coeficientes convectivos h_1 y h_2 , a temperaturas $T_{\infty 1}$ y $T_{\infty 2}$ respectivamente. Se considera una transferencia de calor unidimensional en estado estacionario.

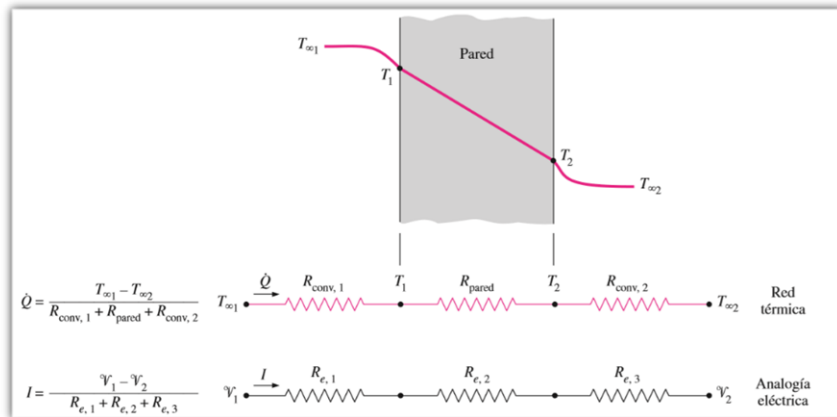


Figura 06: Analogía térmica y eléctrica.

Fuente: (Cengel, p. 135)

En condiciones estacionarias se tiene:

$$\dot{Q} = h_1 A (T_{\infty 1} - T_1) = k A \frac{T_1 - T_2}{L} = h_2 A (T_2 - T_{\infty 2})$$

Reacomodando la expresión:

$$\dot{Q} = \frac{(T_{\infty 1} - T_1)}{\frac{1}{h_1 A}} = \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{L}{k A}} = \frac{(T_2 - T_{\infty 2})}{\frac{1}{h_2 A}}$$

Dónde:

$$\frac{1}{h_1 A} = R_{conv,1}; \quad \frac{L}{k A} = R_{pared}; \quad \frac{1}{h_2 A} = R_{conv,2}$$

Se determina la resistencia térmica total, sumando cada resistencia debido a que se encuentran en serie.

$$R_{total} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{L}{k A} + \frac{1}{h_2 A} = R_{conv,1} + R_{pared} + R_{conv,2} \quad (^\circ\text{C}/\text{W})$$

Entonces:

$$\dot{Q} = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{R_{\text{total}}} = \frac{\Delta T}{R} \quad (\text{W})$$

Reemplazando en la ecuación del coeficiente de transferencia de calor total (figura 05), se obtiene:

$$UA = \frac{1}{R_{\text{total}}} (\text{W}/^{\circ}\text{C})$$

$$\dot{Q} = UA\Delta T \quad (\text{W}) \quad [8]$$

Diferencia de temperatura media logarítmica (LMTD)

Es usada para calcular la fuerza impulsora de la temperatura para la transferencia de calor, generalmente en intercambiadores de calor. En el método de la LMTD se analiza la temperatura tanto de un fluido frío como de uno caliente, considerando como un máximo y un mínimo de temperatura la temperatura del fluido caliente y la del fluido frío respectivamente.

La LMTD es una representación exacta de la diferencia de temperatura promedio entre los fluidos caliente y frío. Puede representarse mediante un gráfico donde nos ayuda a entender cómo es que se transmite el calor del cuerpo caliente al frío. La ecuación [8] se puede expresar de la siguiente forma:

$$\dot{Q} = UA * F(\text{LMTD}) \quad [9]$$

F: Factor de corrección, en función del arreglo del flujo del fluido.

En intercambiadores de calor los fluidos pueden fluir de dos formas, pueden seguir un mismo sentido (fluidos paralelos) o pueden seguir sentidos contrarios (fluidos contracorriente).

La figura 07, muestra la gráfica de la LMTD para fluidos paralelos, es decir el fluido caliente y el frío ingresan por un extremo de la tubería donde fluirán en un mismo sentido, conforme fluyen sus temperaturas se van acercando.

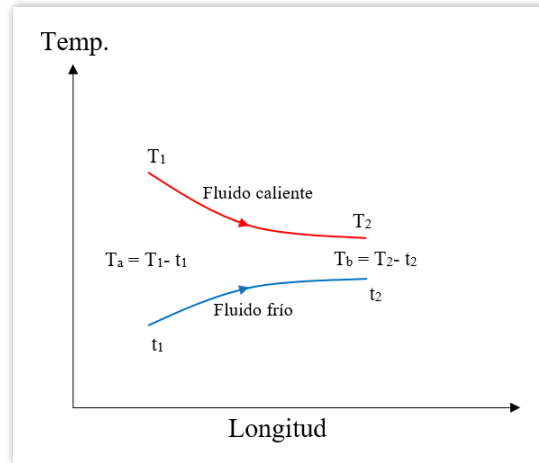


Figura 07: LMTD – fluidos paralelos.

Fuente: Elaborado por el autor.

La figura 08 muestra la gráfica de LMTD para fluidos contracorriente, en el cual los fluidos ingresan por extremos opuestos, fluyendo en sentidos contrarios pero en una misma dirección. En el momento en que los fluidos se encuentran en su estado de menor temperatura se genera la transferencia de calor.

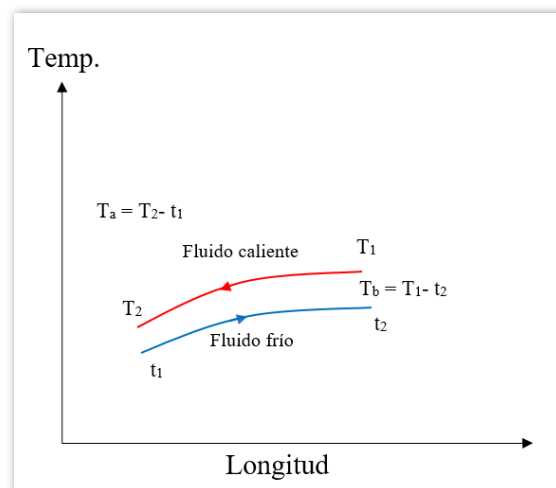


Figura 08: LMTD – contraflujo.

Fuente: Elaborado por el autor.

Para determinar la LMTD en los tipos de flujo mencionados anteriormente, se hará uso de la siguiente expresión:

$$LMTD = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln\left(\frac{\Delta T_a}{\Delta T_b}\right)} = \frac{\Delta T_b - \Delta T_a}{\ln\left(\frac{\Delta T_b}{\Delta T_a}\right)} \quad [10]$$

1.3.4 Sistema de refrigeración

Llamado también sistema frigorífico que se basa en la termodinámica y ha sido diseñado con la finalidad de realizar el intercambio de calor entre el refrigerante y el proceso con el objetivo de facilitar la liberación del calor irrecuperable al medio ambiente.

La clasificación de los sistemas de refrigeración industrial está en función de su diseño y funcionamiento. El intercambio de calor entre el medio de proceso y el refrigerante se vuelve intenso mediante de intercambiadores, en el cual el refrigerante descarga su calor al ambiente.

(SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL), si el refrigerante está en contacto con el ambiente, se trata de un sistema abierto. Será un sistema cerrado cuando el refrigerante circule por tubos o serpentines.

Ciclos de refrigeración

La refrigeración es una de las principales áreas que aplican la termodinámica, la cual utiliza varios ciclos, los cuales se detallan a continuación:

Ciclo de refrigeración por compresión de vapor (ciclo de utilizado con más frecuencia).

Ciclo de refrigeración de gas.

Ciclo de refrigeración en cascada, la cual utiliza más de un ciclo de refrigeración.

Ciclo de refrigeración por absorción.

Ciclo de refrigeración termoeléctrica. (Cengel y Boldes, 2009, p. 615)

Sistema de refrigeración por compresión de vapor

Este ciclo es utilizado con mayor frecuencia, en el cual el refrigerante se evapora y se condensa alternadamente, para luego comprimirse en la fase de vapor. Los refrigeradores, sistemas de acondicionamiento de aire y bombas de calor hacen uso de este ciclo.

El tipo de sistema de este ciclo es cerrado, realiza la transferencia de energía a través de las paredes. Para este ciclo se hace uso de compresor, condensador, dispositivo de expansión, evaporador. (Ramos, 2017)

Ciclo ideal por compresión de vapor

Consta de cuatro procesos los cuales son:

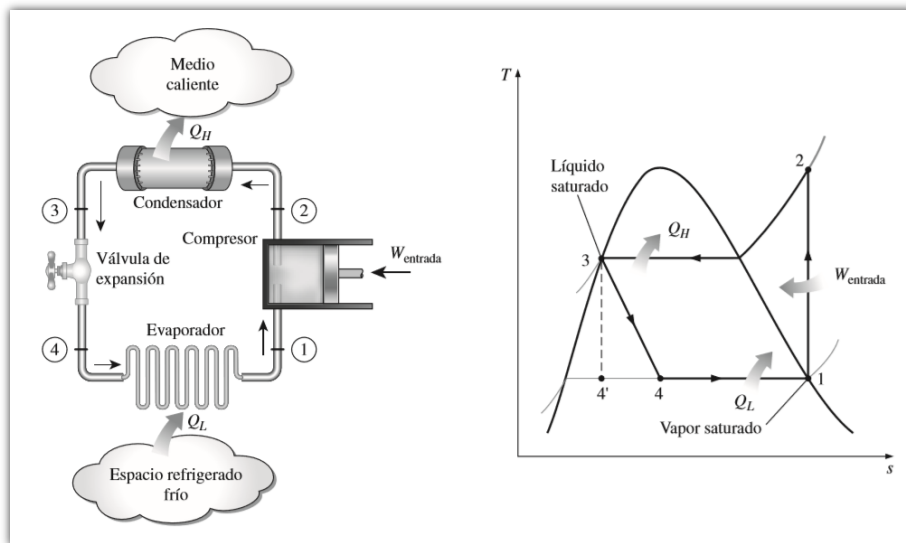


Figura 09: Esquema y diagrama T-s para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.

Fuente: (Cengel y Boldes, 2009, p. 619)

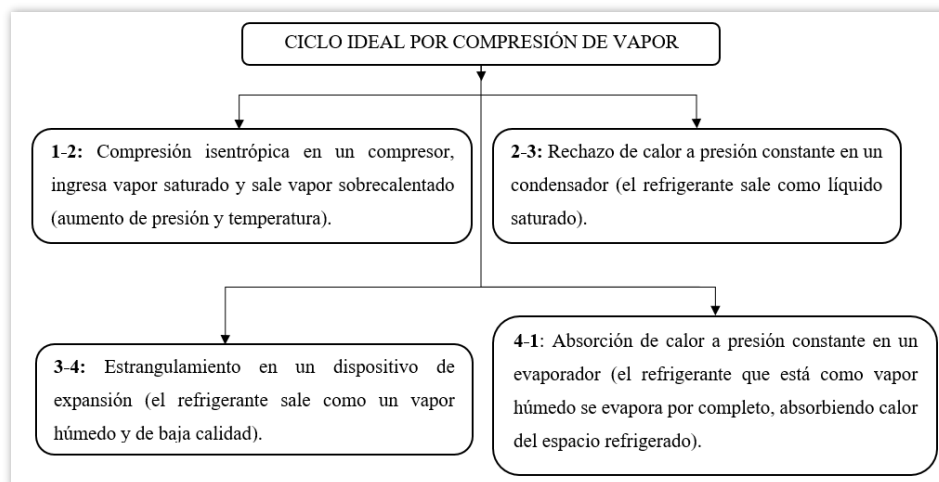


Figura 10: Procesos del ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.

Ciclo real por compresión de vapor

Este ciclo difiere de un ciclo ideal en muchos aspectos, en donde el más resaltante se da debido a las irreversibilidades que se dan en varios componentes.

(Paredes Quispe, y otros, 2015), nos indica que las irreversibilidades de los procesos, afectan sustancialmente al ciclo de refrigeración por compresión de vapor en los siguientes aspectos:

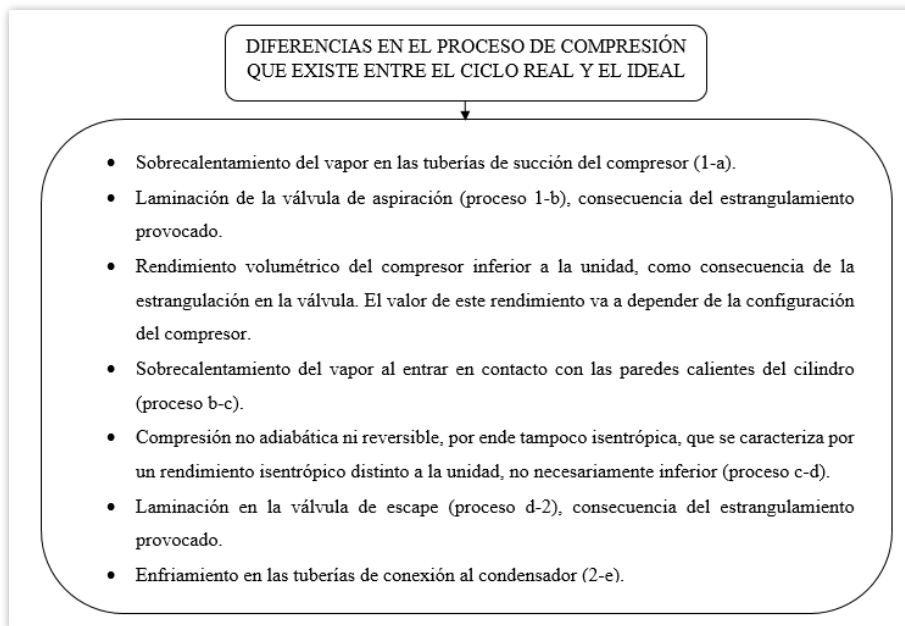


Figura 11: Diferencias en el proceso de compresión que existe entre el ciclo real y el ideal

Fuente: (Paredes y Córdova, 2015, p. 15)

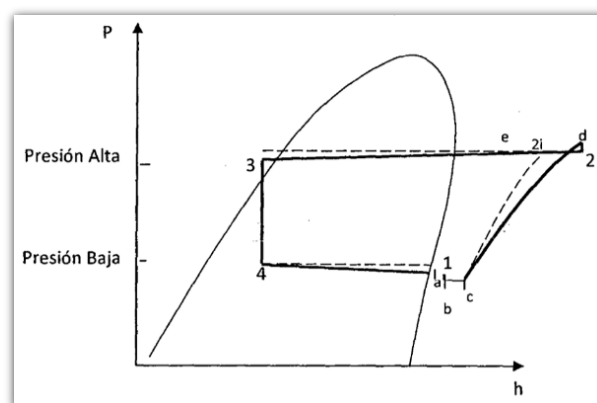


Figura 12: Diagrama P-h, proceso de compresión en un ciclo real.

Fuente: (Paredes y Córdova, 2015, p. 15)

Componentes de un sistema de refrigeración por compresión de vapor

Este sistema está compuesto por los siguientes principales componentes que se detallan:

Compresor: Es una de las cuatro partes principales de un sistema de refrigeración por compresión, siendo el que suministra trabajo al sistema, es encargado de hacer que el refrigerante circule a través del sistema logrando aumentar la presión del vapor del refrigerante con el fin de crear el diferencial de presión entre el condensador y el evaporador.

Condensador: En refrigeración el condensador es un intercambiador de calor capaz de rechazar todo el calor del sistema, dicho calor se compone del calor que absorbe el evaporador más el calor que se produce debido a la degradación de parte de la energía mecánica entregada al compresor.

El compresor descarga el refrigerante calentado a alta presión al condensador, dicho condensador rechaza el calor desde el gas hacia un medio más frío, seguidamente el refrigerante frío se condensa nuevamente al estado líquido, drenándose desde el condensador para así continuar en el ciclo de refrigeración.

Válvula de expansión: Elemento que se puede controlar automática o manualmente, de dicho control depende el paso del refrigerante.

Es construida para soportar un específico rango de presión, temperatura y corrosión. Esta válvula es la unidad expansiva que produce un cambio en la presión del fluido.

Gracias a este dispositivo se logra mejorar la eficiencia de los sistemas de refrigeración, ya que regula el flujo másico del refrigerante en función de la carga térmica.

Evaporador: llamado también intercambiador de calor, el cual es conformado por una serie de tubos dispuestos en una carcasa (recipiente metálico). Es en este componente donde llega el refrigerante líquido, parcialmente vaporizado para que enseguida se genere la ebullición a baja presión de la parte del fluido que aún queda líquida, por lo que resulta, vapor seco saturado. Este fluido líquido proviene de la unidad expansora. Existen varios tipos de evaporadores los cuales deben ser elegidos de acuerdo a la aplicación que se le designe.

1.3.5 Hielo en bloques

Existen dos sistemas generales de fabricación de hielo en bloque las cuales son:

Sistema tradicional con baño de salmuera y el sistema de evaporación directa.

Fabricación lenta

Es el método tradicional que se emplea desde hace muchos años, el cual consiste en bañar con una salmuera (a una temperatura inferior a 0 °C) a los moldes que contienen agua; estos moldes generalmente tienen forma de tronco de pirámide.

En este sistema, los moldes llenos de agua son sumergidos a una piscina de salmuera de cloruro sódico o cálcico en circulación. El dimensionamiento de los moldes y la temperatura de trabajo de la salmuera se seleccionan de manera que el tiempo de duración para el congelamiento dure entre 8 y 24 horas, por cada periodo de producción.

Generalmente el peso del hielo en bloque oscila entre 20 y 50 Kg. Se debe tener en cuenta que si el espesor del hielo en bloque es mayor, el tiempo de congelamiento aumentará.

Fabricación rápida

Hay varios métodos de fabricación rápida de hielo, los cuales todos utilizan el sistema de expansión directa, es decir el gas refrigerante se evapora al estar en contacto con el molde que contiene agua, congelándose rápidamente esta. (Fierro, p. 7)

Plantas generadoras de hielo en bloques

Plantas cuyos principios están basados en la termodinámica, conformadas por sistemas frigoríficos que tienen como objetivo producir hielo en bloques generalmente de 50 kg, también existen plantas que generan hielo en bloques con un peso de 25 y 100 kg.

Generalmente las plantas que producen hielo en bloques usan el método tradicional.

Tiempo de congelamiento

Para el cálculo de este tiempo, se debe tener en cuenta los factores que intervienen en el proceso, como el sistema de refrigeración, el dimensionamiento de los moldes, temperatura media de la salmuera y la agitación de la salmuera. Siendo los más resaltantes que ayudan a que el proceso de congelamiento sea menos lento, el espesor del molde y la temperatura media de la salmuera, la cual tiene mucho que ver también con el sistema de agitación de esta misma.

1.3.6 Refrigerante

Sustancia que actúa como agente de enfriamiento, logrando obtener la absorción de la energía térmica de otro cuerpo o sustancia. El refrigerante ideal tiene la capacidad de descargar en el condensador toda la energía térmica que absorba del evaporador, la línea de succión y del compresor.

1.3.6.1 Intercambio térmico entre refrigerantes

Para la fabricación de hielo en bloques, primero intercambia calor el evaporador (refrigerante principal) con la salmuera (refrigerante secundario), seguidamente el refrigerante secundario (salmuera) intercambia calor con los moldes llenos de agua, produciéndose así el congelamiento del agua contenida en el moldes.

1.3.7 Amoniaco

El amoniaco es un compuesto químico cuya fórmula es NH_3 , es un gas incoloro de olor penetrante, en la industria se encuentra disponible como gas licuado en cilindros de acero y cisternas de hasta 20 toneladas.

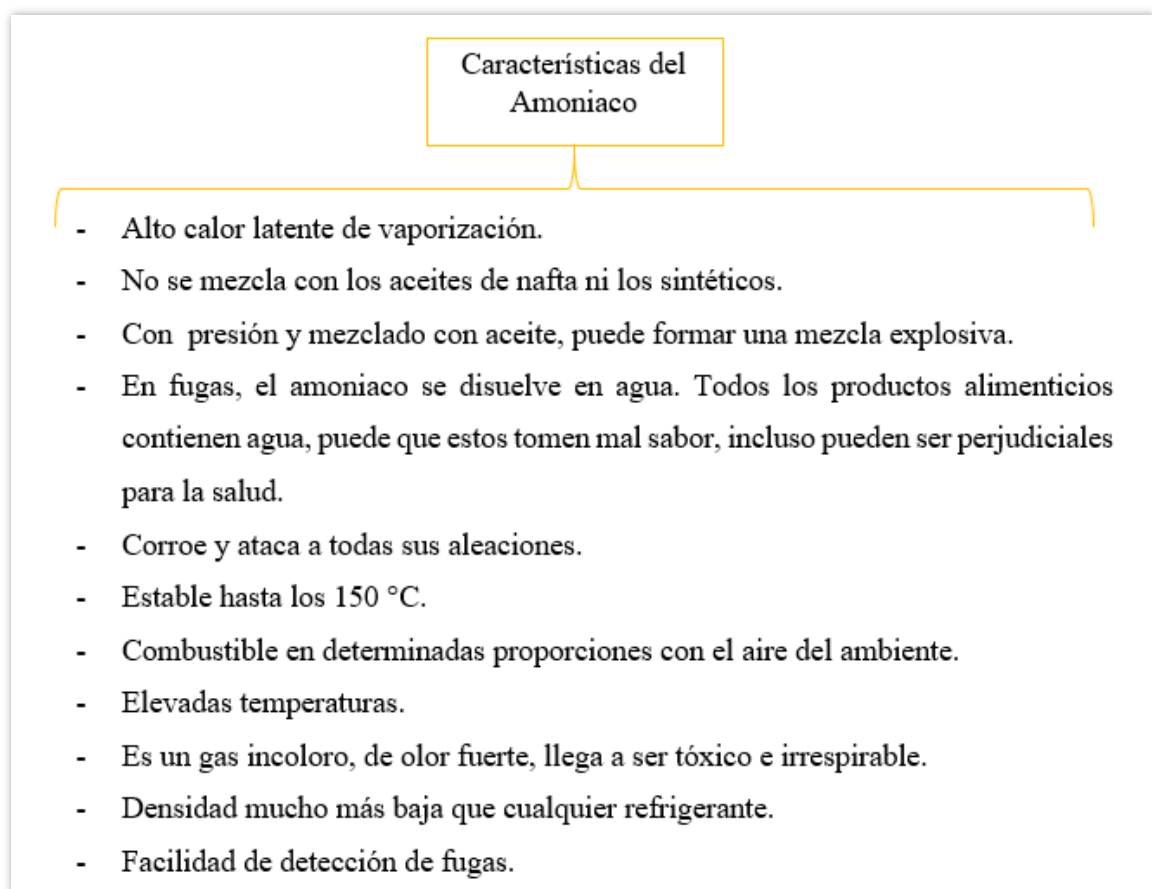


Figura 13: Características del amoniaco.

Fuente: (Renedo, 2010)

1.3.8 Salmuera

Mezcla de agua con sal industrial, que para fabricar hielo en bloques es utilizada como refrigerante secundario, que al estar en constante movimiento es enfriada por el evaporador por donde circula el amoniaco refrigerado), para luego transferirle calor a los moldes contenidos de agua. Aplicaciones de la salmuera:

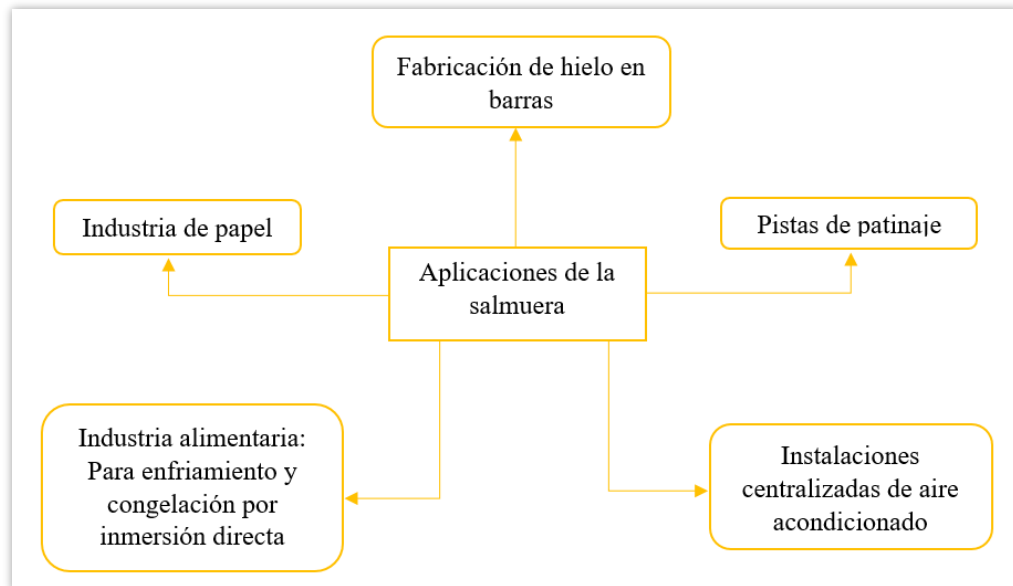


Figura 14: Aplicaciones de la salmuera.

Fuente: (Renedo, 2010)

Circulación de la salmuera:

La circulación de la salmuera es muy importante para el proceso de congelación del agua contenida en los moldes, dicha circulación es generada mecánicamente con agitadores que son accionados por un motor eléctrico, al girar dicho agitador pone en movimiento el fluido en dirección conveniente; se instala dentro del tanque en un lugar adecuado para impulsar la salmuera por sus canales. El eje del agitador puede ser horizontal o vertical.

1.3.9 Agitación

Es el movimiento rotatorio que se induce a un fluido el cual se encuentra dentro de un contenedor. El objetivo de la agitación tal vez sea incrementar la transferencia de calor en el fluido o incrementar el transporte de materia, es decir mezclar, para obtener una distribución especialmente uniforme de dos o más fases que en un inicio estaban separadas.

Casos en los que se usa la agitación:

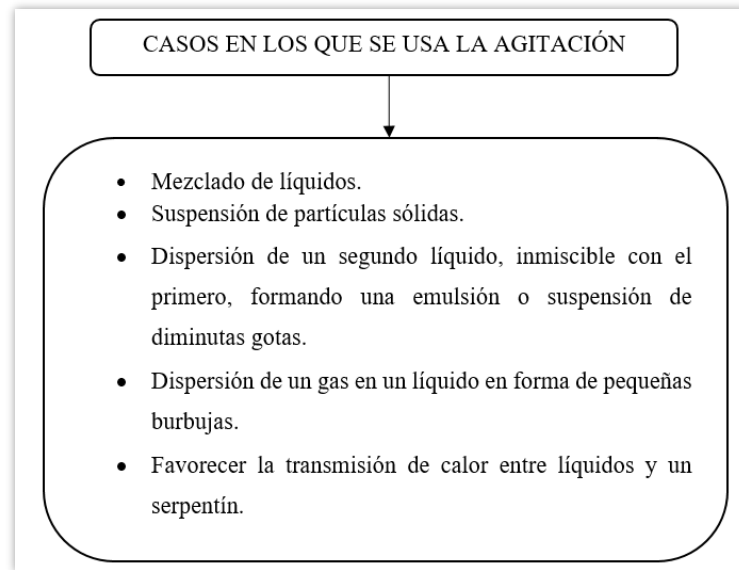


Figura 15: Casos en los que se usa la agitación.

1.3.10 Agitadores

Los agitadores son instrumentos que son utilizados en la industria, cuya principal función es agitar y mezclar líquidos o sólidos de baja densidad. El principal objetivo de los agitadores es garantizar la homogeneidad de la mezcla.

Existen agitadores de flujo axial que generan corrientes paralelas al eje del agitador, y agitadores de flujo radial que dan origen a corrientes en dirección tangencial o radial.

Los principales tipos de agitadores que pueden resolver quizás el 95 % de los problemas de agitación de líquidos son, de tipo de hélice, de paletas, y de turbina.

Agitadores de hélice

Agitadores de flujo axial, en condiciones de operar a alta velocidad y son utilizados en líquidos pocos viscosos. Este tipo de agitadores giran de 500 a varios millares de rpm, al ser pequeños, giran a la máxima velocidad del motor, es decir a 1150 o 1750 rpm.

Como los álabes de la hélice cortan fuertemente al líquido, entonces se les puede utilizar para dispersar sólidos y también para preparar suspensiones.

Los agitadores de hélice son eficaces en tanques de gran tamaño, son utilizados en líquidos inmiscibles, jarabes, salmuera, emulsiones.

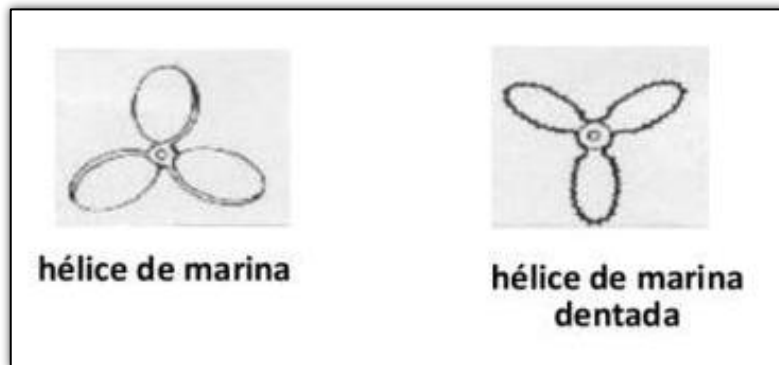


Figura 16: Agitadores de hélice.

Fuente: (Padilla Velásquez, 2013)

Agitadores de paletas

Agitadores cuyo flujo es radial, conformada por paletas que giran a bajas o moderadas velocidades en el centro del tanque, logrando impulsar radial y tangencialmente al líquido. La variación del número de paletas que pueden conformar el agitador depende de su complejidad, el agitador eficaz es conformado por una paleta plana, la cual gira sobre un eje vertical (empleado para problemas sencillos). (Mezcladores.pdf).

Este tipo de agitadores giran a una velocidad comprendida entre 20 y 150 rpm.

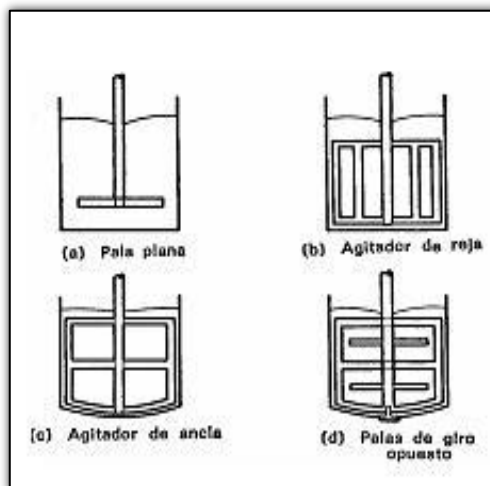


Figura 17: Agitadores de paleta.

Fuente: (Quispe, 2017, p. 24)

Agitadores de turbina

Este tipo de agitadores son eficaces en líquidos de poca viscosidad, generan intensas corrientes, las cuales se extienden por todo el tanque y destruyen las masas de líquido inmovilizado.

A poca distancia del rodete existe una zona de corrientes de alta turbulencia e intensos esfuerzos cortantes.

La mayoría de estos agitadores son similares a los agitadores de múltiples paletas pero cortas, girando a altas velocidades sobre un eje. Las paletas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales.

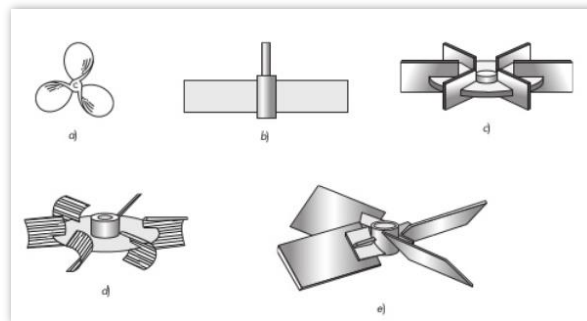


Figura 18: Agitadores para líquidos de viscosidad moderada.

Fuente: (McCabe y otros, 2007, p. 262)

a) agitador marino de tres palas **b)** turbina simple de pala recta **c)** turbina de disco **d)** agitador de pala cóncava CD-6 (Chemineer, Inc.); **e)** turbina de pala inclinada.

1.3.11 Impulsores

Los impulsores pueden tener un flujo axial o radial, su clasificación se basa en sus aplicaciones, en el patrón de flujo y en geometrías especiales. Los impulsores de flujo axial son eficaces mezclando líquidos y sólidos en suspensión, los de flujo radial son utilizados con mayor frecuencia para la dispersión de gas.

Para determinar la eficacia de un impulsor, se debe basar en la comprensión de los requisitos del proceso y el conocimiento de las propiedades físicas.

Impulsor de flujo axial

Para la mezcla, suspensión de sólidos, inducción de gas y transferencia de calor se utilizan este tipo de impulsores. El impulsor de flujo axial más antiguo es la hélice marina, el cual es utilizado frecuentemente como un mezclador con ingreso lateral en grandes tanques y con ingreso superior en tanques pequeños.

Impulsores de flujo radial

Este tipo de impulsores se utilizan en fluidos de baja y media viscosidad. Se utilizan para cualquier tipo de mezcla que puede ser de una y múltiples fases, los impulsores de flujo radial son más eficaces para la dispersión de gas-líquido y líquido-líquido, así mismo brindan mayor corte y niveles de turbulencia con un menor bombeo.

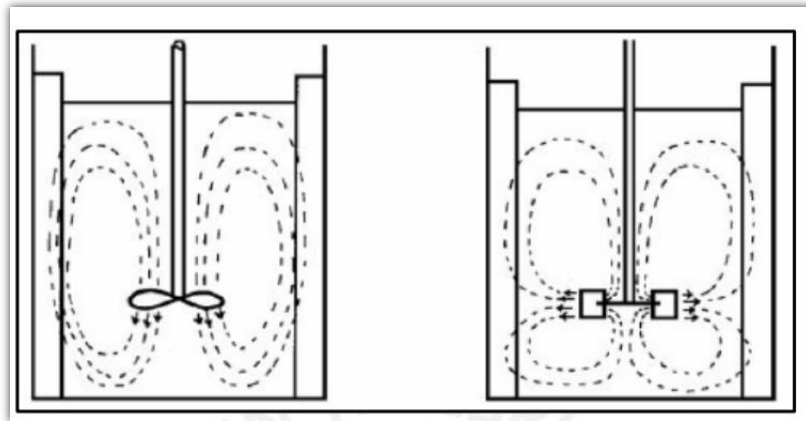


Figura 19: Patrones de flujo axial (lado izquierdo) y de flujo radial (lado derecho).

Fuente: (Arrieta, 2012, p.27)

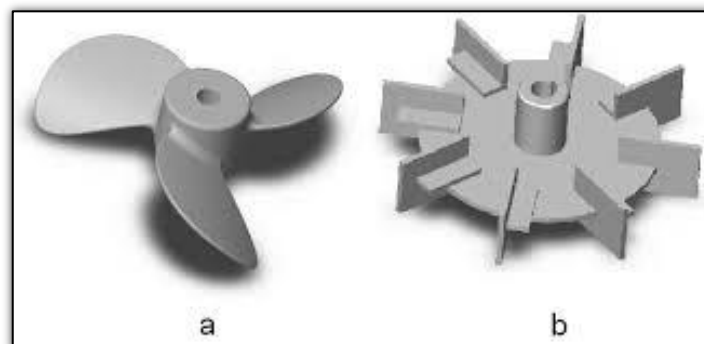


Figura 20: Impulsor de flujo axial [a], impulsor de flujo radial [b].

Fuente: (Huerto, 2013, p. 9)

1.3.12 Tipos de flujos en la operación de agitación

Flujo radial:

Se llama movimiento radial al giro de los impulsores en un tanque provisto de obstrucciones, el líquido se mueve desde el impulsor en un plano perpendicular al eje de rotación.

Flujo axial:

Se da cuando la corriente parte del impulsor en la dirección del eje rotacional.

En el flujo axial el líquido se mueve hacia arriba, abajo y horizontalmente. Se conduce una buena mezcla mediante el activo cambio de materia entre el fondo y la parte superior.

Flujo tangencial:

En este tipo de flujo la corriente es circular y no existe movimiento vertical. El movimiento del líquido es como el de un carrusel y la probabilidad de mezcla es baja, ya que el líquido no sufre fuerza lateral ni vertical. (Palate Meza, y otros, 2016)

Flujo laminar:

El movimiento de un fluido es perfectamente ordenado, de modo que el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse. El mecanismo de traslado es únicamente molecular.

Flujo turbulento:

Las partículas de un fluido se mueven desordenadamente y sus trayectorias forman diminutos remolinos aperiódicos.

Este flujo se muestra a altas velocidades o al aparecer obstáculos abruptos en el desplazamiento del fluido. (Dinámica de fluidos)

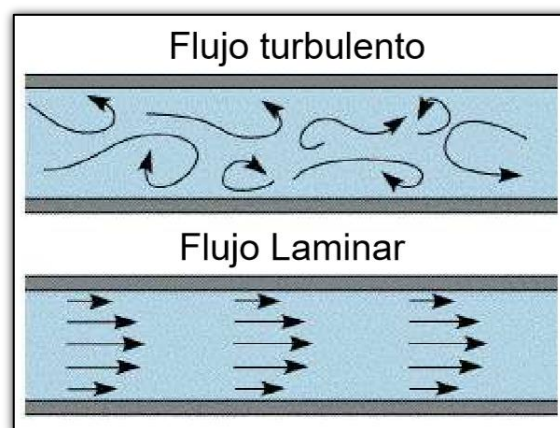


Figura 21: Flujo turbulento y laminar.

Fuente: (Dinámica de fluidos)

Flujo circulatorio:

Cuando se tiene un agitador de eje vertical, las componentes tangencial y radial se ubican en un plano horizontal, mientras que la componente axial es vertical. Para lograr una mezcla resultan ser útiles las componentes axial y radial

Debido a que el flujo tangencial sigue una trayectoria circular alrededor del eje, se genera vórtices en la superficie del fluido. Tal como se puede ver en la figura 22.

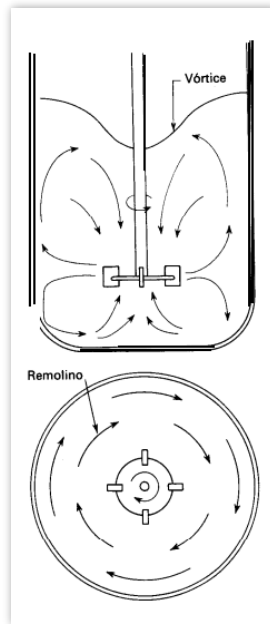


Figura 22: Formación de vórtice - tipo de flujo agitado en un tanque.

Fuente: (McCabe, y otros)

Uno de los métodos para evitar el flujo circulatorio y los remolinos que se generan en el recipiente, es la utilización de placas deflectoras, las cuales se detallan a continuación.

Placas deflectoras:

Al utilizar placas deflectoras o “baffles”, ubicadas radialmente al interior del recipiente, generan que la turbulencia del fluido sea mayor, ayudando en la mejora de la mezcla. La anchura habitual para las placas deflectores es de 1/10 a 1/12 del diámetro del tanque.

En general se usan 4 deflectores, pues suelen ser suficientes.

No se necesita hacer uso de estos dispositivos si el eje del agitador está distante del centro del recipiente o si está inclinado.

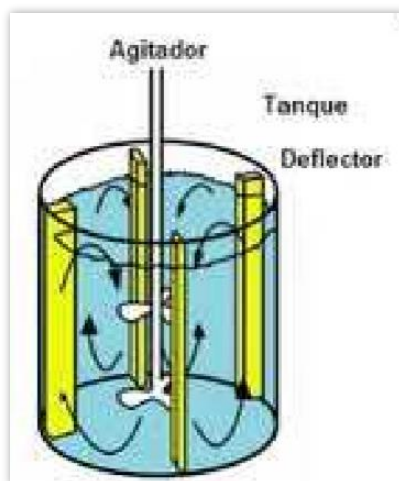


Figura 23: Recipiente de agitación con placas deflectoras.

Fuente: (Mezclado de fluidos, p. 11)

Para la mezcla laminar en fluidos viscosos no se necesita hacer uso de estos dispositivos, en el caso de los recipientes cuadrados y rectangulares tampoco se necesita hacer uso de placas deflectoras o “baffles”, debido a que las esquinas de dichos recipiente, rompen el patrón de flujo tangencial. (Paul, y otros, 2003, p. 348)

1.3.13 Números adimensionales y criterios de cálculos para agitadores

1.3.13.1 Número de Reynolds

Número adimensional que representa la medida de la magnitud relativa de los esfuerzos inerciales con relación a los esfuerzos viscosos. Ayuda a caracterizar la naturaleza del flujo, para conocer si se trata de un flujo laminar, transicional o turbulento. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{n * d_i^2 * \rho}{\mu} \quad [11]$$

Dónde:

d_i : Diámetro del impulsor, en (m).

n : Velocidad de agitación, en (rps).

ρ : Densidad del fluido, en (kg/m^3).

μ : Viscosidad del fluido, en ($kg/m.s$).

El tipo de régimen de un flujo causado por un agitador, basándose en el número de Reynolds, se clasifica así:

- Si: $Re \leq 10^2$, régimen laminar.
- Si: $10^2 < Re < 10^3$, régimen transitorio.
- Si: $Re > 10^3$, régimen turbulento.

1.3.13.2 Número de potencia

Brinda una idea sobre la cantidad total de potencia que necesita el agitador para que funcione. Es definido por la relación que hay entre la caída de presión alrededor de un aspa y la presión característica. (Arrieta, 2012, p.30)

Se calcula mediante:

$$N_p = \frac{P'}{\rho * n^3 * d_i^5} \quad [12]$$

Dónde:

P' : Potencia de arrastre consumida por el impulsor, en (W).

ρ : Densidad del fluido, en (kg/m^3).

n : Velocidad de agitación, en (rps).

d_i : Diámetro del impulsor, en (m).

1.3.13.3 Número de Froude

Cuando el fluido que está en un recipiente mantenga un movimiento de ondas significativo debido a la falta de placas deflectoras, este número adimensional se utiliza en el consumo de potencia. No es de importancia cuando se usan deflectores o cuando el número de $Re < 300$.

El número de Froude se determina mediante:

$$F_r = \frac{n^2 * d_i}{g}$$

Dónde:

n : Velocidad de agitación, en (rps)

d_i : Diámetro del impulsor, en (m)

g : Aceleración de la gravedad, en (m/s^2)

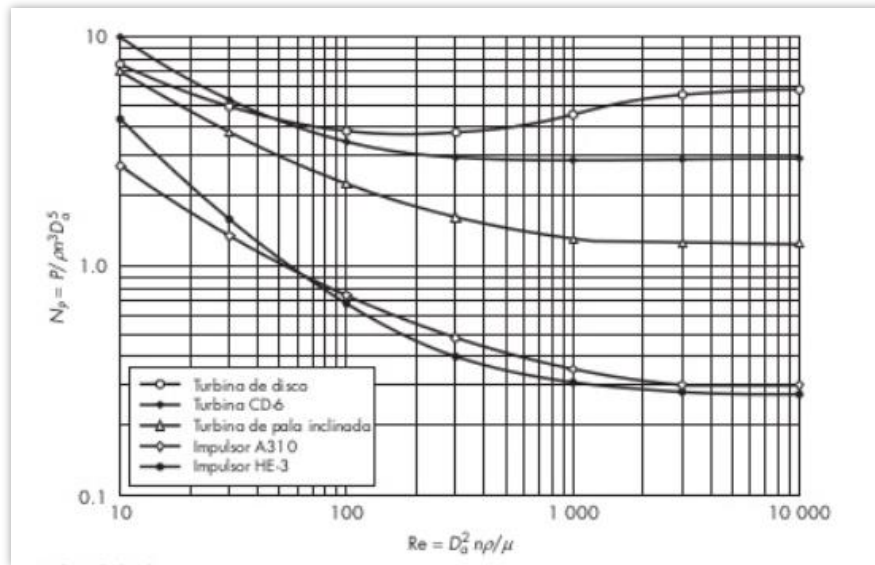


Figura 24: Número de potencia en función del número de Reynolds, para turbinas e impulsores de alta eficiencia.

Fuente: (McCabe y otros, 2007, p. 275)

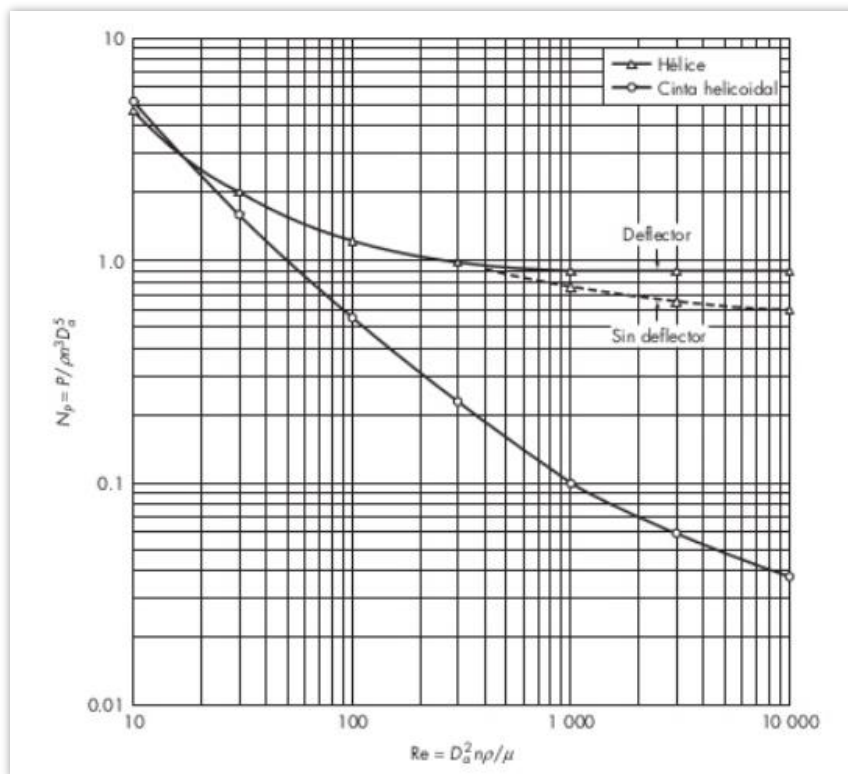


Figura 25: Número de potencia en función del número de Reynolds, para hélices marinas (paso 1.5:1) y cintas helicoidales.

Fuente: Fuente: (McCabe y otros, 2007, p. 276)

1.3.13.4 Consumo de potencia para número de Reynolds inferiores a 300

Debido a que este régimen del flujo es laminar, donde no hay influencia de la densidad, las líneas de número de potencia contra el número de Reynolds coinciden para recipiente con o sin placas deflectoras. Quedando la ecuación de la potencia:

$$P' = K_L * n^2 * d_i^3 * \mu$$

1.3.13.5 Consumo de potencia para número de Reynolds > 10000

Régimen de flujo totalmente turbulento, el número de potencia no depende del número de Reynolds y la viscosidad no influye. Quedando la ecuación:

$$P' = K_T * n^2 * d_i^3 * \mu$$

Siendo K_L y K_T constantes, las cuales se detallan a continuación.

Tabla 1: Valores de las constantes K_L y K_T para tanques que consta de cuatro deflectores en la pared del tanque, cuyo ancho es igual a la décima parte del diámetro del tanque.

Tipo de impulsor	K_L	K_T
Hélice, paso cuadrado, tres palas	41,0	0,32
Hélice paso de 2, tres palas	43,5	1,00
Turbina seis palas planas	71,0	6,30
Turbina seis palas curvas	70,0	4,80
Turbina de ventilador, seis palas	70,0	1,65
Turbina, dos palas planas	36,5	1,70
Turbina cerrada, seis palas curvas	97,2	1.08

Fuente: (McCabe, y otros, p. 262)

1.3.14 Elemento mecánico flexible

Para la transmisión de potencia a través de distancias relativamente largas, se utilizan elementos mecánicos flexibles entre las cuales tenemos correas, cables o cadenas

Correa

Elemento flexible que absorben vibraciones y choques de los cuales transmiten un mínimo al eje arrastrado. Son utilizadas para transmitir potencia entre árboles normalmente paralelos, entre los cuales no es preciso mantener una relación de transmisión exacta y constante, debido a pérdidas producto del deslizamiento de las correas sobre la polea.

Correas trapezoidales o correas en “V”

Son hechas con tejido de algodón o nylon, impregnada con caucho. Este tipo de correa puede ser utilizado en poleas más pequeñas, las cuales son acanaladas.

Se pueden hacer uso de varias correas de este tipo montada en una sola polea anclada.

De acuerdo a las normas ISO, este tipo de correas se dividen en dos grupos, los cuales son:

- Correas de secciones con los perfiles clásicos (Z, A, B, C, D, E).
- Correas estrechas de secciones (SPZ, SPA, SPB, SPC).

1.3.15 Momento de torsión en ejes

En un eje, el momento torsor es generado por una fuerza tangencial, la cual se ubica a una distancia “r”, en la práctica dicho momento actúa simultáneamente, siendo constante a lo largo del eje.

Cuando se tiene una fuerza constante “F” actuando en dirección tangencial sobre la superficie exterior de una flecha de radio “r” girando a una velocidad angular (rpm), se produce el trabajo, el cual es el producto de la fuerza por la distancia, siendo la potencia “P” el trabajo realizado por unidad de tiempo y; siendo también el producto de la fuerza por la velocidad.

$$W_{\text{flecha}} = F * v = Fr\omega = M_t\omega$$

Dónde:

W_{flecha} : Trabajo de la flecha.

F: Fuerza expresada en newton.

v: Velocidad, en (m/s).

r: Radio, en (m).

ω : Velocidad angular, en (Rad/s).

M_t : Momento torsor (torque), expresado en N.m

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

n: Revoluciones por minuto.

ω : Velocidad angular, en (Rev/s).

En consecuencia la potencia transmitida por una flecha girando a una velocidad angular, influenciando el momento de torsión (M_t) es:

$$P = M_t\omega = M_t(2\pi n/60) \quad [13]$$

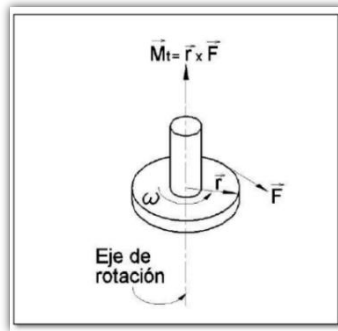


Figura 26: Momento torsor y fuerza tangencial.

Fuente: (Cengel, y otros, 2006)

Fuerza tangencial:

$$M_t = r * F_t$$

$$F_t = \frac{M_t}{r} \quad [14]$$

Dónde:

F_t : Fuerza tangencial, en Newton.

r : Radio, en (m).

1.3.16 Momento flector en ejes

El momento flector se determina por medio de sumatorias de fuerzas y de momentos, considerando al eje como una viga en voladizo. Para calcular este momento es recomendable organizar todas las fuerzas que actúan en la viga, un diagrama de cuerpo libre.

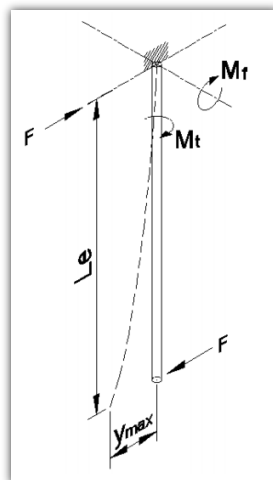


Figura 27: Fuerza en el eje, cálculo del momento flector.

Fuente: (Cengel, y otros, 2016)

La deflexión máxima ocurre y está dada en la longitud máxima del eje:

$$Y_{m\acute{a}x} = \frac{FL_e^3}{3EI}$$

Dónde:

$Y_{m\acute{a}x}$: Deflexión máxima, en (m).

I : Inercia, en (m⁴).

E : Módulo de elasticidad, en (GPa).

1.3.17 Diseño del eje

Para este diseño es de mucha importancia evaluar los esfuerzos a los que se somete el eje, sobretodo en los puntos más críticos, los cuales se localizan en la superficie exterior, en donde el momento flexionante es grande (ubicaciones axiales), en donde se presenta el par de torsión.

1.3.17.1 Dimensionamiento del eje

Para determinar el diámetro de un eje (barra redonda), es muy importante tener en cuenta las propiedades características del material con el que será diseñado el eje, se debe considerar también la evaluación de los esfuerzos y velocidades críticas.

Dicho cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$d = \left[\frac{32n_f}{\pi} \sqrt{\left[\frac{k_t M}{S'_n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad [15]$$

(Robert L.Mott)

Dónde:

d : Diámetro de eje, en (m).

n_f : Factor de seguridad estimado.

k_t : Factor de concentración del esfuerzo por fatiga de la flexión.

M : Momento flector resultante, en (Nm).

T : Momento torsor, en (Nm).

S_y : Esfuerzo de fluencia, en (MPa).

S'_n : Resistencia a la fatiga modificada, en (MPa)

La resistencia a la fatiga modificada es igual a:

$$S_n = S_n * C_m * C_{st} * C_R * C_s \quad [16]$$

Dónde:

S_n : Límite de resistencia a la fatiga.

C_m : Factor del material.

C_{st} : Factor de Carga.

C_R : Factor relacionado con la confiabilidad deseada.

C_s : Factor modificador de tamaño.

1.3.17.2 Esfuerzos para el diseño de ejes

Como ya se ha mencionado anteriormente, los esfuerzos que se generan en el eje, deben ser evaluados en puntos críticos.

Para el caso en donde el esfuerzo flexionante sea completamente reversible y la torsión sea constante, el momento flector medio (M_m) y el momento torsor alternante (T_a) son iguales a cero. El esfuerzo flector alternante y el esfuerzo cortante medio se determinan mediante:

Esfuerzo flector alternante:

$$\sigma'_a = \frac{32 * k_t * M_{flector}}{\pi d^3} \quad (\text{MPa}) \dots \dots \dots [17]$$

Esfuerzo cortante medio:

$$\sigma'_m = \left[3 \left(\frac{16 * M_t}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{MPa}) \dots \dots \dots [18]$$

Es necesario determinar los valores de esfuerzos de momento flector alternante, para verificar la resistencia del material.

1.4 Formulación del Problema

¿De qué manera el rediseño del sistema de agitación de salmuera mejorará el congelamiento de bloques de agua en la empresa Sarita Colonia S.A.C?

1.5 Justificación del Estudio

Justificación Técnica:

El objetivo primordial de esta investigación es mejorar el congelamiento del agua contenida en los moldes, para ello se realizará el rediseño mecánico del sistema de agitación de salmuera, en lo cual es necesario utilizar software de diseño mecánico CAD / CAE (Diseño Asistido por Computadora/ Ingeniería Asistida por Computadora) que es de mucha ayuda en el diseño y en la simulación de los agitadores mecánicos y que dará realce a la investigación debido a que se utilizará software con tecnología actual.

Justificación Económica:

Con el rediseño del sistema de agitación de salmuera, el proceso de congelamiento del agua contenida en los moldes, mejorará, debido a que la agitación de la salmuera será uniforme ayudando a que la temperatura también sea uniforme. Al tener una temperatura homogénea en la salmuera el tiempo de congelamiento del agua contenida en los moldes disminuirá, contribuyendo en el ahorro de energía eléctrica, y aumentando la producción de los bloques de hielo.

Justificación Social:

Con la mejora del congelamiento del agua contenida en los moldes, implica que los procesos que son necesarios para la producción del hielo en bloques deben estar en óptimo estado de funcionamiento, obteniendo así un producto final de buena calidad satisfaciendo a los clientes del mercado.

Justificación Ambiental:

Con el rediseño del sistema de agitación de salmuera, se evitará contaminar el suelo, ya que actualmente parte de la salmuera se desperdicia, al excederse de nivel, debido a la mala ubicación de los agitadores mecánicos, haciendo que parte de la salmuera salga del contenedor (tipo canal) con dirección al suelo, contaminándolo.

Con este rediseño se realizará el consumo necesario de energía eléctrica, es decir se hará buen uso de esta energía. Ya que el sistema actual ha sido diseñado empíricamente.

1.6 Hipótesis

Al proponer una mejora para optimizar el proceso de fabricación de hielo en bloques y realizando un buen rediseño del sistema de agitación, con una adecuada y correcta ubicación, la agitación y temperatura de la salmuera será uniforme, mejorando la congelación del agua contenida en los moldes.

1.7 Objetivos

Objetivo General:

Rediseñar el sistema de agitación de salmuera para mejorar el congelamiento de los bloques de agua en la empresa SARITA COLONIA S.A.C.

Objetivos Específicos:

- Determinar el estado situacional del proceso de fabricación de hielo en bloques.
- Proponer una mejora para optimizar el proceso de congelamiento del agua contenida en los moldes.
- Realizar el diseño y cálculo del sistema de agitación de la salmuera.
- Elaborar un análisis económico del proyecto.

II. MÉTODO

2.1 Diseño de Investigación

No experimental:

Está investigación es no experimental, ya que se realizará las evaluaciones correspondientes de las variables, por medio de las observaciones, a través de la realidad problemática para posteriormente realizar un análisis.

Este trabajo de investigación inicia con la búsqueda de información sobre las variables a estudiar, luego se determina parámetros del congelamiento del agua contenida en los moldes y así poder seleccionar el tipo de agitador y comenzar a diseñar el sistema de agitación de salmuera.

Descriptiva:

Se observa y se describe la problemática tal y como se presenta, de forma natural sin manejo o intervención del investigador.

Aplicada:

De acuerdo al uso de los resultados de la investigación, ya que dichos resultados se podrían tomar inmediatamente para dar solución al problema real que tiene la empresa SARITA COLONIA S.A.C.

2.2 Variables y Operacionalización

2.2.1 Identificación de variables

Variable Independiente:

Rediseño del sistema de agitación de salmuera.

Variable Dependiente:

Congelamiento de bloques de agua en empresa SARITA COLONIA S.A.C.

2.2.2 Operacionalización de variables

Tabla 2: Rediseño del sistema de agitación de salmuera

Variable Independiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Escala de Medición	Instrumentos
Rediseño del sistema de agitación de salmuera.	El diseño es un proceso innovador y repetitivo, de toma de decisiones; es una formulación de un plan con la finalidad de satisfacer una necesidad específica o dar soluciones a problemas. El diseño debe ser seguro, competitivo, confiable, útil, y así poder ser comercializado, pues para ello se deben seguir las fases del diseño, características del diseño, y utilizar herramientas y recursos del diseño. (Budynas y Nisbett, 2008, p.4)	Al tener un buen sistema de agitación, la mezcla de la salmuera será uniforme, generando que la temperatura de dicha salmuera sea constante, contribuyendo con la mejora del proceso de congelamiento del agua contenida en los moldes. Se debe tener en cuenta el tipo de flujo, esto se podrá saber mediante la ecuación del número de Reynolds.	Potencia del motor eléctrico.	Razón.	Ficha de tomas de datos de los parámetros.
			Régimen de Flujo.		
	La función de la agitación es inducir movimiento a un fluido de manera específica, en un patrón circulatorio dentro de un contenedor.(Zorrilla y otros, 2015, p.3)		Flujo Volumétrico.		

Tabla 3: Congelamiento del agua contenida en los moldes

Variable Dependiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Escala de Medición	Instrumentos
Congelamiento de los bloques de agua	<p>En esta etapa los moldes rectangulares de 20x40cm y 100cm de altura, llenos de agua, son sumergidos al área de congelamiento de la poza, esta poza contiene salmuera que es el refrigerante secundario (agua con sal industrial), esta salmuera trabaja a una temperatura de -12°C, la cual es obtenida por los evaporadores que son serpentines por donde circula el amoniaco refrigerado, dichos evaporadores están ubicados en el área del corredor de la poza, totalmente rodeado por la salmuera. Con ayuda de los agitadores mecánicos se mantiene homogénea a la mezcla (salmuera), y se logra hacer su recirculamiento por las áreas de la poza. Es así como se genera la transferencia de calor entre evaporador – salmuera – moldes llenos de agua.</p>	<p>El congelamiento de los moldes llenos de agua consiste en sumergirlos en una piscina de salmuera, en donde se encuentra el evaporador sumergido totalmente, el cual es parte del sistema de refrigeración y en conjunto con el sistema de agitación, hacen que sea posible el congelamiento del agua contenida en los moldes.</p>	Capacidad de congelamiento.	Razón.	Ficha de recolección de datos.

2.3 Población y Muestra

Población:

La población está representada por 5 pozas de salmuera con sus respectivos componentes que en conjunto forman parte del proceso para la producción de hielo en bloques en la empresa SARITA COLONIA S.A.C.

Muestra:

La muestra estará representada por la poza de salmuera N°2 con sus respectivos componentes que en conjunto contribuyen en la producción de hielo en bloques, se realizará un estudio para verificar el estado en el que se encuentra, seguidamente se realizará el rediseño del sistema de agitación de la salmuera ya que es el enfoque de la presente investigación.

2.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

2.4.1.1 Técnicas de recolección de datos:

Para la recolección de datos se realizará las siguientes técnicas:

Entrevista: Se aplicará al personal del área de producción de hielo en bloques de la empresa SARITA COLONIA S.A.C. con el fin de obtener información sobre los problemas y las fallas que se presentan en el proceso respecto al funcionamiento de los equipos que lo conforman.

Observación directa: Se realizará la visita a la empresa SARITA COLONIA S.A.C para observar el estado actual en el que se encuentran todos los componentes del proceso de congelamiento del agua, así también se observará el tamaño de la poza de salmuera, densidad de salmuera, potencia actual de los agitadores, tipos de agitadores, temperatura de salmuera, etc.

Análisis documental: Se revisará libros, manuales técnicos, revistas, planos, programas computarizados que sean referentes a la investigación para extraer la información requerida para el dimensionamiento y cálculo del sistema de agitación de salmuera.

2.4.1.2 Instrumentos de recolección de datos:

Guía de preguntas: Se realizará un cuestionario de interrogantes al personal del área de producción de hielo en bloques de la empresa SARITA COLONIA S.A.C, con el fin de conocer la necesidad de realizar el rediseño del sistema de agitación de salmuera para así mejorar el proceso de congelamiento del agua contenida en los moldes. (ANEXO 01)

Ficha de observación: Se estará presente en el proceso de fabricación de hielo en bloques, con el fin de recoger toda la información de los parámetros necesarios para la producción. (ANEXO 02)

Ficha de análisis de documentos: Para recopilar toda la información necesaria de documentos, manuales técnicos, libros, revistas, para incrementar conocimientos y así contribuir en la presente investigación. (ANEXO 03)

2.4.2 Validez y confiabilidad

Validez:

Este trabajo de investigación será válido mediante criterio experto, con respecto al rediseño del sistema de agitación de la salmuera, para mejorar el congelamiento de los bloques de agua en la empresa SARITA COLONIA S.A.C.

Confiabilidad:

La presente investigación utilizará instrumentos ya validados por autores que anteriormente han realizado estudios relacionados al tema, por consiguiente se cita a los autores, el año de publicación y número de página de donde se obtiene la información presentada, teniendo en cuenta el tipo ISO-690.

La confiabilidad también será dada por la evaluación de los profesionales que validarán el instrumento, si requieren alguna modificación se les dará prioridad a sus opiniones, así este trabajo de investigación tendrá seguridad y firmeza de los resultados obtenidos.

2.5 Métodos de Análisis de Datos

Para procesar todos los datos recopilados de las entrevistas, primero se realizará una transcripción de la información obtenida. Seguidamente se pasará a organizar la información en tablas simples de datos donde se colocarán las preguntas y respuestas resumidas de cada entrevistado.

2.6 Aspectos éticos

En este trabajo de investigación se considera aspectos éticos como la prioridad intelectual, el respeto y agradecimiento a la colaboración de la empresa. Al aplicar el instrumento de recolección de datos se procurará su privacidad y protección de su identidad.

Se coordinará directamente con la empresa para la publicación de estos aspectos cuando se requiera. El tema ético se manejará alineándonos al código Deontológico del colegio de ingenieros del Perú, el cual describe al ingeniero como un especialista con vocación de servicio, veraz, objetivo y ético.

III. RESULTADOS

Desarrollo de objetivos específicos planteados.

3.1 Estado situacional del proceso de fabricación de hielo en bloques

3.1.1 Sistema de refrigeración

Para la fabricación del hielo en bloques se sigue un proceso en el cual el refrigerante primario es el amoníaco (NH₃) R-717, utilizado por sus buenas características de sus propiedades, dicho refrigerante es el que pasa por distintas etapas mediante el ciclo de refrigeración por compresión de vapor, en el cual se realiza la compresión isentrópica en el compresor ingresando vapor saturado y saliendo vapor sobrecalentado con dirección al condensador en donde rechaza el calor a presión constante, saliendo del condensador como líquido saturado, pasando al tanque receptor de líquido, luego se realiza el estrangulamiento en el dispositivo de expansión donde el refrigerante sale como vapor húmedo y de baja calidad, llegando a la etapa en que ingresa al evaporador (el cual está sumergido completamente en la poza de salmuera) y se repite el ciclo.

La etapa en la que el refrigerante primario llega al evaporador se produce la absorción de calor a presión constante (el refrigerante que está como vapor húmedo se evapora por completo, absorbiendo calor del espacio refrigerado). Esta etapa es muy importante debido a que al estar en contacto el refrigerante secundario (salmuera) con los evaporadores, se genera la transferencia de calor, se utiliza la salmuera debido a sus propiedades y características.

El evaporador está sumergido completamente en la salmuera, la cual está en movimiento mediante los agitadores, circulando esta salmuera alrededor de los moldes, absorbiendo el calor que le cede el agua que va a ser congelada.

Este sistema de refrigeración tiene la capacidad de generar una adecuada carga frigorífica que con ayuda del sistema de agitación de la salmuera se logra producir 53 toneladas de hielo en bloques.

3.1.1.1 Componentes del sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración está compuesto por 2 compresores de tornillo, 3 condensadores, tanque receptor, válvulas de paso, válvulas solenoides, válvulas de expansión, 2 evaporadores tipo serpentín. Este sistema de refrigeración funciona para dos pozas (N° 1 y 2).

Compresores:

La planta cuenta con 5 compresores, de los cuales 2 de ellos son reciprocantes o alternativos y los otros 3 son de tipo tornillo, 4 funcionan actualmente.

Los compresores que componen el sistema de refrigeración para la poza N° 2 son los compresores de tornillo VILTER 01 y 02.

Compresores Reciprocantes o Alternativos:

Son utilizados con frecuencia, integran en los sistemas de refrigeración. Estos compresores emiten gases refrigerantes de forma intermitente, mientras que otros tipos de compresores lo hacen continuamente.

Este tipo de compresores se dividen en abiertos, semi-herméticos o herméticos.

En un compresor alternativo abierto, el compresor y el motor encuentran separados, conectados mediante una correa en “V”. Debido a la separación que hay entre el compresor y el motor se puede utilizar como refrigerante al amoniaco.

En compresores alternativos semi-herméticos o herméticos, el compresor y el motor se encuentran juntos manteniendo un eje común. No se puede utilizar amoniaco como refrigerante debido que el compresor y el motor se encuentran juntos.

Compresores de tornillo:

Los compresores de tornillo son también utilizados con frecuencia en conexión con los sistemas de refrigeración. Estos compresores emiten gases refrigerantes continuamente, el motor y compresor se encuentran separados, este tipo de compresores pueden utilizar al amoniaco como refrigerante.

El compresor de tornillo puede ser lubricado o exento. La diferencia entre ambos está en el sistema de lubricación.

En el compresor de tornillo exento, los rotores trabajan en seco, suministrando aire sin contaminarse por el aceite de lubricación.

Compresores del sistema de refrigeración para la poza N° 2:

Compresores de tornillo VILTER los cuales se detalla en las siguientes tablas.

Compresor de Tornillo VILTER 01 VSS 451:

Tabla 4: Parámetros eléctricos del compresor de tornillo VILTER 01 VSS 451

COMPRESOR VILTER 01	
PARÁMETROS DEL MOTOR SEGÚN PLACA	MEDIDA
POTENCIA	200 HP
REVOLUCIONES POR MINUTO	3565 Rpm
VOLTAJE	460 V
AMPERAJE	214 A
FRECUENCIA	60 Hz

Fuente: Elaboración propia.

Compresor de Tornillo VILTER 02 VSM 301:

Tabla 5: Parámetros eléctricos del compresor de tornillo VILTER 02 VSM 301

COMPRESOR VILTER 02	
PARÁMETROS DEL MOTOR SEGÚN PLACA	MEDIDA
POTENCIA	150 HP
REVOLUCIONES POR MINUTO	3560 Rpm
VOLTAJE	460 V
AMPERAJE	165A
FRECUENCIA	60 Hz

Fuente: Elaboración propia.

Compresor de Tornillo VILTER 03 VSM 501:

Tabla 6: Parámetros eléctricos del compresor de tornillo VILTER 03 VSM 501

COMPRESOR VILTER 03	
PARÁMETROS DEL MOTOR SEGÚN PLACA	MEDIDA
POTENCIA	200 HP
REVOLUCIONES POR MINUTO	3570 Rpm
VOLTAJE	460 V
AMPERAJE	223 A
FRECUENCIA	60 Hz

Fuente: Elaboración propia.



Figura 28: Compresor VILTER 03.

Fuente: Propia del autor.

Condensadores:

La planta cuenta con 5 condensadores los cuales 2 son originales y 3 son hechizos.

Para el sistema de refrigeración de la poza N° 2 se cuenta con 3 condensadores los cuales se detallan a continuación.

Condensador 01:

Tabla 7: Características de tuberías del condensador 01

CONDENSADOR 01	
DATOS	UNIDAD
Diámetro de la tubería	0.019 m
Distancia de la tubería	3 m
Espesor de la tubería (Sch)	0.0004 – 0.0008 m
Columnas	32 unid.
Filas	10 unid.

Fuente: Elaboración propia.

El diámetro real de la tubería es de 0.0182 m, por ende el radio es de 0.0091 m, por lo tanto el volumen de la tubería es:

$$V = \pi r^2 h = 0.000780466 \text{m}^3$$

El condensador 01 consta de 320 tuberías, por lo tanto el volumen es:

$$V = 0.000780466 \text{m}^3 * 320 = 0.25 \text{m}^3$$

Condensador 02 – 03:

Tabla 8: Características de tuberías de los condensadores 02-03

CONDENSADORES 02 - 03	
DATOS	UNIDAD
Diámetro de la tubería	0.019 m
Distancia de la tubería	3 m
Espesor de la tubería (Sch)	0.0004 – 0.0008 m
Columnas	16 unid.
Filas	10 unid.

Fuente: Elaboración propia.

El diámetro real de la tubería es de 0.0182 m, por ende el radio es de 0.0091 m, por lo tanto el volumen de la tubería es:

$$V = \pi r^2 h = 0.000780466 \text{ m}^3$$

Los condensadores

01 y 02 constan de 160 tuberías, por lo tanto el volumen es:

$$V = 0.000780466 \text{ m}^3 * 160 = 0.125 \text{ m}^3$$

Recibidores:

Depósito de acumulación para el exceso de refrigerante, una de sus funciones es almacenar el refrigerante para que puede ser bombeado, en ocasiones que cualquier componente del sistema requiera de reparación o cuando el sistema tiene que ser parado por un prolongado tiempo.

Dimensión del tanque recibidor del sistema de refrigeración:

Tabla 9: Dimensión del tanque recibidor del sistema de refrigeración – poza N° 2

Dimensiones	
Altura	4.68 m
Diámetro	0.75 m

Fuente: Elaboración propia.

El volumen del tanque recibidor es:

$$V = \pi r^2 h = 2.067560665 \text{ m}^3 = 2067.56 \text{ L}$$

SURGE DRUM: llamado también tambor de compensación, el cual consta de varias funciones importantes las cuales son: separar el líquido del gas que regresa del evaporador, permitir que el gas pase al compresor a través de la línea de succión; devolver el líquido al evaporador para su recirculación.

Una de sus funciones es también absorber la violenta oleada del líquido que se produce cuando la línea de succión de un evaporador inundado se abre rápidamente. La caída inmediata de presión sobre el líquido que se encuentra en el evaporador, después del momento en que la línea de succión se abre, crea una enorme cantidad de vapor.

Para este sistema de refrigeración de la poza N° 02, se trabaja con 2 SURGE DRUM cada uno están conectados con el evaporador, válvulas (de paso, solenoide y de expansión) y línea de succión hacia el compresor.

Los SURGE DRUM con los que consta la poza es de las siguientes dimensiones:

Altura = 1.5 m

Diámetro = 0.6 m

$$V = \pi r^2 h = 0.424115 \text{ m}^3$$

Evaporadores:

La poza N° 2 cuenta con 1 evaporador inundado tipo serpentín de tubos desnudos, dicho evaporador está dividido en 2, cada división consta de un haz de tubos, por lo cual a dicha división se le denomina evaporador 01 y 02 respectivamente, este tipo de evaporador es utilizado ampliamente en plantas de fabricación de hielo, por su alto rendimiento. Estos evaporadores son diseñados para el enfriamiento de agua y salmuera.

Los evaporadores inundados aseguran el contacto del líquido con toda su superficie interior, la gran ventaja de este tipo de evaporadores es que se logra obtener una mejor utilización de la superficie de enfriamiento y por lo tanto se obtiene un rendimiento más alto.

A continuación se detallan las características de los evaporadores 01 y 02 con los que cuenta la poza de salmuera N° 2.

Tabla 10: Características de los evaporadores 01 y 02

EVAPORADOR 01	
DATOS	UNIDAD
Diámetro de la tubería	0.0317 m
Distancia de la tubería	10.5 m
Espesor de la tubería	0.0004 – 0.0008 m
Numero de haces de tubos	1 unid.
Columna	15 tubos
Filas	4 tubos
EVAPORADOR 02	
DATOS	UNIDAD
Diámetro de la tubería	0.0317 m
Distancia de la tubería	10.5 m
Espesor de la tubería	0.0004 – 0.0008 m
Numero de haces de tubos	1 unid.
Columna	15 tubos
Filas	4 tubos

Fuente: Elaboración propia.

El diámetro real de la tubería es de 0.0309 m, por ende el radio es de 0.01545 m, por lo tanto el volumen de la tubería es:

$$V = \pi r^2 h = 0.007874 \text{ m}^3$$

Como el evaporador 01 y 02 constan de 1 haces de tubos cada uno, entonces cada evaporador consta de 60 tuberías, por lo tanto el volumen de cada evaporador es:

$$V = 0.007874 \text{ m}^3 * 60 = 0.47244 \text{ m}^3$$

En el sistema de refrigeración para la poza N° 2 cuenta con una válvula de paso, válvula solenoide y una válvula de expansión antes de llegar a cada evaporador, como la poza cuenta con 2 evaporadores entonces el número de válvulas se duplican.

Válvulas solenoide:

Es una válvula eléctrica que se utiliza frecuentemente para controlar el flujo de refrigerante, tiene una bobina magnética que al inyectarle corriente hace levantar al émbolo que está en su interior.

La **válvula solenoide HS7**, es la que se utiliza para el sistema de refrigeración, es una válvula de refrigeración industrial de flange, controla el flujo de refrigerante. Cuando se activa eléctricamente, una ligera diferencia de presión a través de la válvula hace que se abra y cuando se desactiva, un resorte cierra rápidamente el asiento principal de teflón para detener todo el flujo en la dirección de la flecha en el cuerpo de la válvula.



Figura 29: Válvula solenoide HS7.

Fuente: Propia del autor.

3.1.2 Sistema para el congelamiento del agua contenida en los moldes

Para la producción de hielo en bloque en la empresa SARITA COLONIA S.A.C, se utiliza el método tradicional llamado también de fabricación lenta, el cual consiste en sumergir los moldes llenos de agua (a congelar) en una poza o piscina llena de salmuera (mezcla de agua y sal), la poza está compuesta por distintas áreas, los cuales son: área del sistema de agitación, de congelación y el área del corredor.

El sistema de agitación: Área en la que se encuentran ubicados los agitadores de la salmuera. Este sistema genera movimiento de la salmuera siendo enviada a una cierta velocidad hacia los evaporadores, mediante una abertura logra pasar hacia el área de congelamiento, luego retorna hacia el sistema de agitación, repitiéndose así el ciclo de circulación de la salmuera en la poza.

En esta área está ubicada un túnel de agitación, el cual ayuda a que la salmuera sea enviada con mayor velocidad hacia el área del corredor. El material de las paredes del túnel de agitación es de fierro, el cual es bañado por una pintura especial para evitar la corrosión y para trabajar temperaturas bajo 0°C.

Abertura: El corredor está ubicado al lado del congelador, limitados por un compartimiento, pero en un cierto tramo de dicho compartimiento hay una abertura, la cual permite el circulamiento de la salmuera pasando del corredor hacia el congelador.

El material de la poza de salmuera es de fierro, el cual es bañado o cubierto por una pintura especial para bajas temperaturas y para la corrosión por parte de la salmuera.

En la figura 30, la sección que está cubierta con tablas de madera es el corredor donde se ubican los evaporadores. Donde están los moldes llenos de agua es el congelador.



Figura 30: Congelador y corredor de la poza N° 2.

Fuente: Propia del autor.

Congelador:

Parte llena de salmuera en la que están sumergidos los moldes llenos de agua que va ser congelada. El congelador tiene capacidad para almacenar 1060 moldes llenos de agua, este compartimiento consta de 53 hileras de moldes, formada por 20 moldes cada hilera; cada hilera consta de dos chasis (10 moldes por chasis) para facilitar la sumersión y el retiro de los moldes en conjunto.

La distancia de separación que existe entre molde y molde en la parte superior es igual a 1 cm.



Figura 31: Hilera de moldes en la poza N° 2.

Fuente: Propia del autor.

En esta área se ubica un sensor de temperatura, el cual envía señales a un controlador digital que está instalado en un pequeño tablero fuera de la poza. A través de estos dispositivos podemos conocer la temperatura de la salmuera cuando está en contacto con los moldes que contienen el agua.

El sensor está ubicado en el centro del área de congelamiento a la mitad de la profundidad de la poza de salmuera.

Corredor:

Parte llena de salmuera en movimiento, en la que se encuentran sumergidos completamente los evaporadores tipo serpentín, que conteniendo en su interior al amoníaco que ha pasado por los ciclos del sistema de refrigeración por compresión de vapor, se genera la transferencia de calor.

Por medio del evaporador (sistema de refrigeración) y la salmuera existe una transferencia de calor por lo que se genera el congelamiento del agua contenida en los moldes, teniendo en cuenta también la velocidad del fluido (salmuera) que se genera por el trabajo de los agitadores.

“Baño maría”:

Cerca de la poza de salmuera se ubica el sistema llamado “baño maría”, el cual consta de una delgada poza de forma rectangular llena de agua a temperatura ambiente, en la que se sumergen los moldes que contienen el hielo durante un cierto tiempo, con la finalidad de que los bloques de hielo se desprendan por sí solos de los moldes.



Figura 32: Proceso - baño maría.

Fuente: Propia del autor.

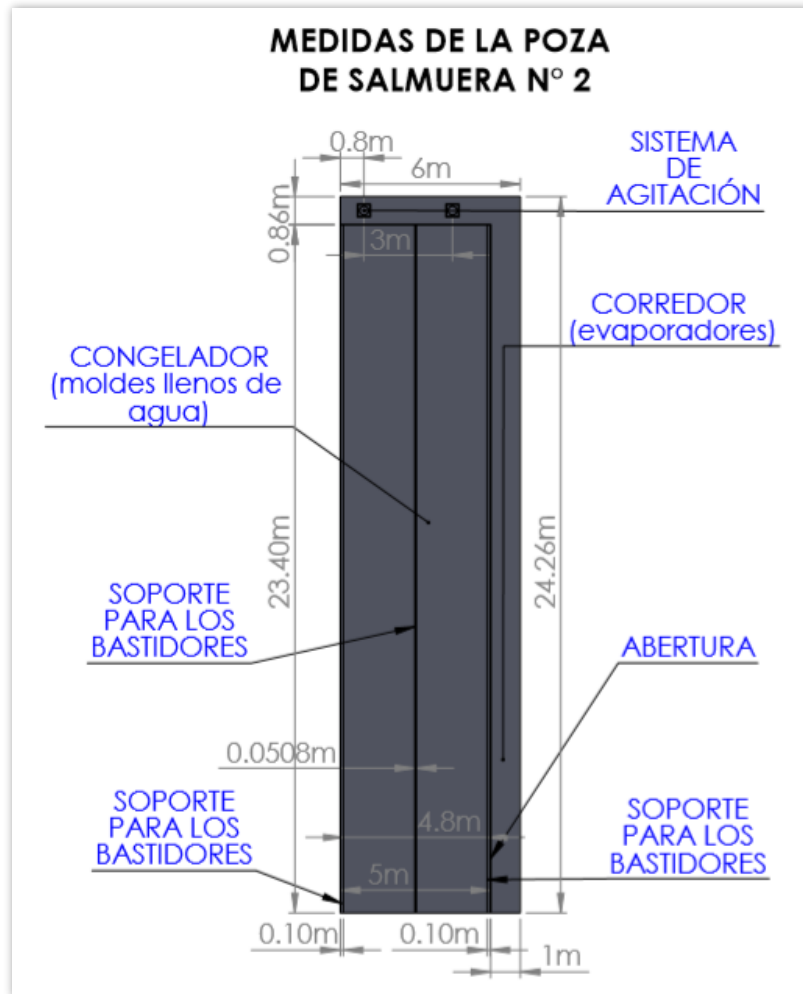


Figura 33: Compartimientos y medidas de la poza de salmuera N° 2.

Fuente: Elaboración propia.

La poza de salmuera tiene una profundidad de 1.20 m.

3.1.3 Sistema de agitación de salmuera

Este proyecto de investigación está enfocado en el proceso de la producción de hielo en bloques, debido a que el énfasis de este proyecto está basado en el sistema de agitación de la salmuera, a continuación se detalla el estado actual de dicho sistema.

El sistema de agitación se encuentra en la parte de adelante del congelador (figura 33), dicho sistema consta de 2 agitadores mecánicos los cuales están ubicados a lo ancho del congelador a 3 metros de distancia entre ellos, en este sistema se genera varios desperfectos ocasionado problemas con el adecuado circulamiento de la salmuera, afectando al congelamiento del agua contenida en los moldes (transferencia de calor no óptima).

En el tramo en el que se ubican actualmente los agitadores mecánicos se genera mayor movimiento del fluido, pero en una parte del área del corredor y del congelador hay menor movimiento de la salmuera, trayendo como consecuencia que la mezcla no sea uniforme, ocasionando que el proceso de congelamiento sea más lento (transferencia de calor no óptima debido a las condiciones del movimiento del fluido).

Esta ubicación de los agitadores mecánicos afecta también a la salmuera ya que en el tramo en donde están instalados, la salmuera está sobre el nivel establecido y en el término del tramo del sistema de agitación y el inicio del corredor, el nivel de salmuera se excede a tal punto que el fluido sale de la poza, desperdiciándose, contaminando el suelo.



Figura 34: Nivel de salmuera en el término del sistema de agitación y el inicio del corredor.

Fuente: Propia del autor.

Como se puede ver en la figura 35, en la parte final del corredor y congelador hay pérdida del fluido (nivel de salmuera no adecuada) lo que hace que en estas partes se haga más lento el proceso de congelamiento del agua contenida en los moldes.



Figura 35: Nivel de salmuera en la parte final del corredor (nivel de salmuera no adecuada).

En la poza de salmuera existe un problema con la temperatura de dicho fluido, debido a que la circulación de la salmuera mediante la agitación, no es buena, ocasionando que el tiempo de congelamiento del agua contenida en los moldes, aumente.

Cada agitador mecánico cuenta con un elemento mecánico que se le podría llamar soporte, el cual está en la capacidad de soportar el peso del agitador, debido al diseño de este elemento mecánico ayuda a que la salmuera ingrese con más facilidad al túnel de agitación y así ser expulsada hacia el corredor donde están los evaporadores. Este elemento mecánico se detalla con mayor amplitud en el Ítem 3.3.19.

Tiempo de duración del proceso de congelamiento del agua contenida en los moldes

La producción en esta poza es de 53 toneladas de hielo en bloques, el proceso de congelamiento del agua contenida en los moldes tarda más de 26 horas, sin considerar el tiempo del desprendimiento del hielo en el molde (“baño maría”).

Ya que en el proceso, la transferencia de calor no es uniforme, se genera un problema con el producto final (hielo en bloques), que es de mucha importancia ya que se entrega al mercado, el problema es que a pesar de las 26 horas en las que supuestamente termina el proceso, en dicho producto final quedan partes sin congelar tanto en la parte superior como en la parte del centro, afectando al consumidor (mercado) y a la misma empresa debido a la calidad del producto que produce.

3.1.4 Moldes

Los moldes tienen forma de pirámide rectangular truncada siendo la sección más pequeña la parte inferior y la sección más grande la parte superior, la forma de los moldes se usa con la finalidad de facilitar el desprendimiento de los bloques de hielo. La planta utiliza moldes de acero galvanizado y moldes de acero inoxidable, cada pared y base del molde tienen un espesor de 1.27 mm (1/20 pulg.).

Tabla 11: Medidas de los moldes con los que trabaja la poza de salmuera N° 2

Medidas internas del molde		
Sección Superior	Longitud (ls)	40 cm
	Ancho (as)	20 cm
Sección Inferior	Longitud (li)	37 cm
	Ancho (ai)	19 cm
Altura	100 cm	
Volumen	0.0751 m ³	

Fuente: Elaboración propia.

En la parte superior de cada molde se encuentra un elemento mecánico que se le podría llamar abrazadera, el cual es su soporte para no estar en contacto con el suelo de la poza. Esta abrazadera estará montada sobre los bastidores o chasis.

De acuerdo a la determinación del estado situacional actual del proceso de fabricación de hielo en bloques, se percibe que el problema que más resalta en dicho proceso se encuentra en el sistema de agitación, afectando la transferencia de calor y por ende al tiempo que tarda dicho proceso. Motivo por el cual se propone una mejora para dar solución a los problemas encontrados, mejorando así el proceso de congelamiento del agua contenida en los moldes.

3.2 Propuesta de una mejora para optimizar el proceso de congelamiento del agua contenida en los moldes

Se trabajará con el mismo sistema de refrigeración, ya que ha sido diseñado y calculado para generar suficiente carga frigorífica y así lograr producir las 53 toneladas de hielo en bloques, considerando las pérdidas caloríficas que se dan en el proceso de fabricación.

Debido a que el problema está en el sistema de agitación de la salmuera, se trabajará en ello con mayor énfasis.

En el área de agitación estará ubicado el túnel rectangular que consta de 2 orificios ubicados en la parte superior por donde ingresará la salmuera al túnel, donde gracias al trabajo de los agitadores y a la dimensión de dicho túnel, la salmuera es enviada con una buena velocidad hacia el área donde se ubican los evaporadores. Las mediadas del túnel de agitación se pueden apreciar en el dibujo 03 de los planos.

3.2.1 Refrigerante secundario

Teniendo en cuenta proyectos de investigación anteriormente desarrolladas, se utilizará la salmuera de cloruro de calcio (CaCl_2), ya que se usa muy difundidamente como refrigerante secundario circulante, es una solución salina de bajo costo, su punto de congelación lo hace más conveniente que el cloruro de sodio.

Debido a uno de los puntos básicos que se debe tener en cuenta al escoger un tipo de salmuera, son sus puntos de saturación los cuales se detallan a continuación.

El punto de saturación de la salmuera de calcio es -55°C , y según trabajos de investigación realizados señalan que la temperatura de trabajo de dicho fluido debe de ser -12°C . Basándose en dichos estudios se tiene las características de la salmuera.

Tabla 12: Características de la salmuera

CARATERÍSTICAS DE LA SALMUERA (CaCl_2)	
Peso específico a 15°C	1.19
Concentración	23 °Baume.
Porcentaje de cloruro de calcio	26 %
Cantidad de sal en % de peso en la solución	20.9

El cloruro de calcio puede ser aplicado en:

- Lodo de perforación.
- Carretera anticongelante y control de polvo.
- Acondicionante de concretos.
- Fungicidas.
- Salmuera de refrigeración.
- Industrias de papel, etc.

Temperatura de la salmuera en el área de congelamiento de la poza

Los moldes llenos de agua estarán en contacto con la salmuera, cuya temperatura de trabajo debe ser -12°C , para verificar esta temperatura se opta por utilizar el mismo sistema con el que cuenta actualmente la planta, el cual está conformado por un sensor de temperatura y un controlador digital.

El controlador digital de temperatura es un dispositivo que nos proporciona la temperatura de la salmuera en el lugar que esté instalado el sensor de temperatura, esto se hace posible a través de las señales que envía el sensor al controlador.

Por lo cual el **sensor de temperatura** se ubicará en el centro del área de congelamiento, a la mitad de la profundidad de la poza, el controlador estará ubicado en un pequeño tablero a vista del personal de trabajo, se utilizará el mismo sensor y controlador digital de temperatura con los que cuenta la planta.

Este dispositivo es usado también para el control de temperatura para congelados, es utilizado en procesos de deshielo.



Figura 36: Controlador digital de temperatura.

Fuente: <http://www.coppergroupint.com/en/controlador-digital-para-refrigeración-con-deshielo-y-con-salida-de-alarma-1-2/>

3.2.2 Moldes a utilizar

Según trabajos realizados basados en la experiencia, se determinó que para que el proceso de congelamiento de los moldes llenos de agua sea óptimo, unas de las consideraciones que se debe tomar en cuenta ya que es muy importante, es el dimensionamiento de los moldes ya que en conjunto con el sistema de agitación y de refrigeración son de mucha importancia porque influyen en el tiempo en que tarda el proceso de congelamiento del agua contenida en estos moldes. El tamaño del molde afecta directamente al tiempo que tarda el proceso de fabricación de hielo en bloques.

Se trabajará con la misma forma de los moldes, es decir pirámide rectangular truncada con la finalidad de que al término del proceso, el hielo en bloque salga del molde fácilmente, mediante el proceso de “baño maría”.

Para el material de las paredes del molde es ideal y recomendable usar acero inoxidable teniendo en consideración el uso final que se le dan a los bloques de hielo, se opta por utilizar uno de los materiales con el que se trabaja actualmente.

Considerando que los moldes deben de ser resistentes al óxido y a los golpes, teniendo en cuenta las consecuencias que se van a generar en los moldes al estar en contacto con el aire, agua y sobre todo con la salmuera. Por lo cual se concluye que el material del molde será de acero inoxidable A.I.S.I 316.

Se opta por utilizar el mismo espesor de las paredes que conforman el molde, con el que se trabaja actualmente, es decir 1.27 mm (1/20 pulg.).

Propiedades térmicas del acero inoxidable A.I.S.I 316:

Densidad = 8238 kg/m^3

Calor específico = $468 \text{ J/kg.}^\circ\text{C}$

Conductividad térmica = $16.86 \text{ W/kg.}^\circ\text{C}$

En la parte superior de los moldes en los bordes, van soldados platinas mecánicas que funcionan como una suspensión para dichos moldes, ya que irán montados en los bastidores. (Ver planos, dibujo 01).

Para esta propuesta, con el fin de mejorar el proceso de congelamiento del agua contenida en los moldes, se considera nuevo dimensionamiento de los moldes

Tabla 13: Nueva dimensión de los moldes

Medidas externas del molde		
Sección rectangular superior	Longitud (L_s)	0.38254 m
	ancho (A_s)	0.19254 m
Sección rectangular inferior	Longitud (L_i)	0.34254 m
	Ancho (A_i)	0.17254 m
Altura	Altura (h_e)	1.00127 m
Volumen	0.0663 m ³	
Medidas internas del molde		
Sección rectangular superior	Longitud (l_s)	0.38 m
	ancho (a_s)	0.19 m
Sección rectangular inferior	Longitud (l_i)	0.34 m
	Ancho (a_i)	0.17 m
Altura	Altura (h_i)	1 m
Volumen	0.0649 m ³	

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.1 Separación de molde a molde en el área de congelamiento

La separación de los moldes es mucha importancia para el congelamiento del agua, debido a que los moldes al estar rodeado por una mayor área de salmuera, la transferencia de calor será mejor, haciendo así que el tiempo de congelamiento sea menos lento. Para hallar esta separación se hará uso de las dimensiones de la poza y de la parte superior de los moldes. Para este cálculo se hará uso de la siguiente ecuación:

$$\text{Ancho}_{\text{congelador}} = (N_m * a_{\text{molde}}) + S_{m-m}(N_m + 1)$$

Fuente: (Fierro Escobar)

Dónde:

$$S_{m-m} = \frac{\text{Ancho}_{\text{congelador}} - (N_m * a_{\text{molde}})}{N_m + 1}$$

Datos del área del congelador:

De acuerdo con las dimensiones de la poza (figura 33), el ancho del congelador es igual a 5 m, en el centro de esta área se ubica (paralelamente al largo del congelador) un elemento mecánico en forma de “T” de 2” x 2” x 1/4” a una altura de 1.02 m desde el fondo de la poza, dividiendo cada hilera, es decir cada hilera consta de 2 chasis teniendo cada chasis 10 moldes en conjunto.

En una pared lateral larga del congelador, se ubica paralelamente un muro mecánico de 5 cm de ancho, 23.40 m de largo, altura de 1.17 m (desde el fondo de la poza), en la pared opuesta, a esta misma altura se ubica paralelamente una plancha mecánica de 5 cm de ancho, 23.40 m de largo, 6.35 mm de espesor, la función de estos elementos mecánicos es ser los soportes para las cubiertas. Seguido del muro cuyo largo coincide de forma paralela con una plancha mecánica de 5 cm de ancho, 23.40 m de largo, 6.35 mm de espesor ubicada a una altura de 1.02 m (desde el fondo de la poza), en la pared lateral opuesta al muro, a esta misma altura se ubica (paralelamente) una plancha mecánica de 10 cm de ancho y 23.40 m de largo, 6.35 mm de espesor, la función de estos elementos (incluida la “T” mecánica) es ser los soportes para los chasis o bastidores.

Los elementos mecánicos mencionados reducen el ancho del congelador, quedando para la separación de los moldes un ancho igual a 4.7492 m.

Entonces:

Ancho del congelador = 4.7492 m

N_m = Número de moldes por hilera = 20

$a_{molde} = A_s = 0.19254$ m (Tabla 13)

Por lo que se obtiene una separación de molde a molde igual a:

$$S_{m-m} = \frac{4.7492m - (20 * 0.19254m)}{21} = 0.04m$$

El largo del congelador es de 23.40 m, teniendo en cuenta que paralelamente al ancho del congelador se ubican planchas mecánicas y que debe de existir una adecuada distancia entre las paredes laterales más pequeñas del congelador y los moldes, se considera que para el cálculo de la separación de los moldes, el largo de la poza será igual a 23 metros.

Con esta longitud del congelador y la nueva dimensión de los moldes, se puede agregar un molde más, es decir que el número de moldes a lo largo del congelador sería igual a 54, siendo la separación de molde a molde igual a 0.04 m., pero al aumentar el número de moldes afectaría la carga frigorífica que genera el sistema de refrigeración, por lo cual se concluye utilizar la misma cantidad de moldes con la que se trabaja actualmente.

La separación de molde a molde a lo largo del congelador es igual a:

$$S_{m-m} = \frac{\text{Largo}_{\text{congelador}} - (N_m * a_{\text{molde}})}{N_m + 1}$$

Dónde:

Largo del congelador = 23 m

N_m = Número de moldes a lo largo del congelador = 53

$a_{\text{molde}} = L_s = 0.38254$ m (Tabla 13)

Por lo tanto:

$$S_{m-m} = \frac{23\text{m} - (53 * 0.38254\text{m})}{54} = 0.05 \text{ m}$$

3.2.2.2 Bastidores

Son estructuras mecánicas cuya función es hacer que cada 10 moldes que están en cada hielera, formen un solo conjunto para que sean sumergidos y levantados todos a la vez. La ubicación de estos bastidores es en la parte superior de los moldes.

La separación de los moldes es adecuada debido a que le da cavidad a los bastidores, dichos bastidores constan de ganchos de acero para que sea posible el levantamiento y sumersión de los moldes mediante tecles accionados por pulsadores debido al circuito de arranques de motores eléctricos. (En los planos, ver dibujo 02)

3.2.3 Agua a congelar

Propiedades del agua

Graham y Nicholson, en su libro titulado “El hielo en las pesquerías”, en el ítem 12 indica las propiedades del agua y del hielo mediante una tabla, la cual se detalla.

Tabla 14: Propiedades térmicas del agua y del hielo

Propiedades del agua	Equivalencia
Densidad	1000 kg/m ³
Calor latente de fusión	334944 J/kg
Propiedades del hielo	Equivalencia
Densidad	900 kg/m ³
Calor específico	2052 J/kg°C
Conductividad térmica	2.22 W/m°C
Calor latente de fusión	334944 J/kg

Fuente: (J. Graham, y otros, 1993)

En agua congelada: 1 L= 0.001m³ equivale a 0.9 kg, si el peso del bloque de hielo es de 50 kg, le correspondería un volumen de agua igual a 0.0556 m³.

Para el cálculo de la altura del agua en el molde, teniendo en cuenta la forma del molde (pirámide rectangular truncada) y sus dimensiones (Tabla 13), se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_{\text{agua}} = \frac{(A_{\text{base}} + A_{\text{tapa}} + \sqrt{A_{\text{base}} * A_{\text{tapa}}}) * h_{\text{agua}}}{3}$$

Dónde:

$$h_{\text{agua}} = \frac{V_{\text{agua}} * 3}{(l_i * a_i) + (l_s * a_s) + \sqrt{(l_i * a_i) * (l_s * a_s)}}$$

$$h_{\text{agua}} = \frac{0.0556 * 3}{(0.34 * 0.17) + (0.38 * 0.19) + \sqrt{(0.34 * 0.17) * (0.38 * 0.19)}} = 0.86 \text{ m}$$

Entonces para que el peso del bloque de hielo sea de 50 kg, con las dimensiones del molde, la altura del agua en dicho molde será de 0.86 m.

3.2.4 Cálculos de coeficientes de transferencia de calor por convección

3.2.4.1 Cálculo del coeficiente convectivo de la salmuera

La salmuera es succionada y agitada en el túnel de agitación seguidamente es enviada hacia el área del corredor donde se ubican los evaporadores (donde es enfriada), pasando por la abertura que hay entre el corredor y el congelador, llegando a esta última área donde se encuentran sumergidos los moldes llenos de agua y por último regresa al sistema de agitación, para repetirse el ciclo de circulación de la salmuera, es decir este fluido estará en constante movimiento.

Entonces como la salmuera es un fluido en movimiento que estará en contacto con los moldes, se calculará el coeficiente convectivo de la salmuera agitada con respecto a las paredes externas del molde.

Temperatura película de la salmuera en contacto con los moldes

Los trabajos realizados anteriormente en base a experiencias, señalan que para lograr obtener un hielo resistente y evitar que sea demasiado frágil, es necesario bajar su temperatura hasta $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se debe tener en cuenta la temperatura de la salmuera manteniéndola en $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Temperatura media aritmética de la salmuera:

La temperatura de trabajo de la salmuera está entre -12 y $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, es decir la temperatura inicial de la salmuera se tomará como $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, por lo que la temperatura media aritmética es:

$$T_m = \frac{T_i + T_e}{2}$$
$$T_m = \frac{-12 + (-10)}{2} = -11\text{ }^{\circ}\text{C}$$

La temperatura película de la salmuera es: [5]

$$T_f = \frac{T_s - T_{\infty}}{2}$$

Dónde:

T_s : Temperatura de la superficie, la cual se asume que es igual a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

T_{∞} : Temperatura media de la salmuera = $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$T_f = \frac{-11 - (0)}{2} = -5.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dónde las propiedades físicas son:

Densidad = 1190 kg/m³

Calor específico = 3020 J/kg.°C

Coefficiente de conductividad térmica = 0.53 W/m.°C

Viscosidad absoluta = 4.8*10⁻³ kg/m.s

Número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho v L_c}{\mu}$$

ρ : Densidad de la salmuera

v : Velocidad de la salmuera.

μ : Viscosidad absoluta de la salmuera.

En el área del corredor, la velocidad de la salmuera está relacionada con los evaporadores teniendo en cuenta la densidad de dicho fluido, a esta velocidad se denomina velocidad másica (\dot{V}_m), la cual es igual a la relación que se da entre el flujo másico de la salmuera (\dot{m}_s) y la sección de paso libre (S_l) por la cual circulará dicho fluido considerando la dimensión de los moldes que se ubican en el área del congelador de la poza, es decir:

$$\dot{V}_m = \frac{\dot{m}_s}{S_l} \quad \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 * \text{s}} \right)$$

El nivel de salmuera en la poza será de 1.02 m, teniendo en cuenta que este fluido estará a 4 cm más del nivel del agua contenida en el molde (0.86 m), y considerando que la base del molde estará a 0.12 m del fondo de la poza, tal como se puede apreciar en la figura 37.

En el área de congelamiento de la poza, mediante las dimensión de los moldes y el nivel al que está la salmuera (1.02 m), se puede encontrar la sección de paso libre (S_l), la cual es igual a 1.25 m².

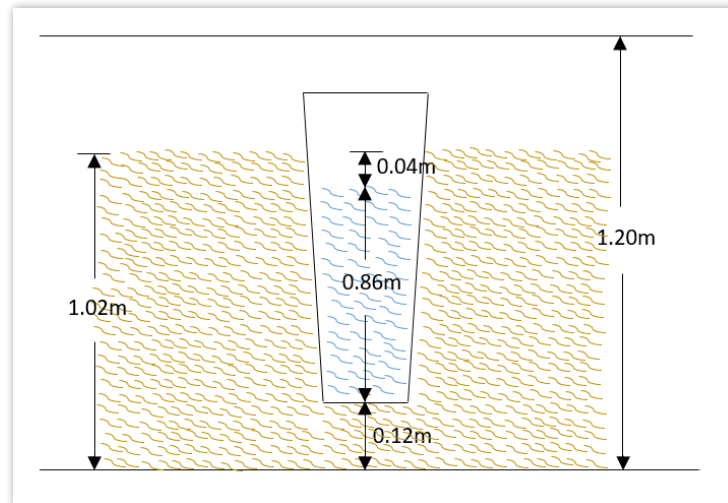


Figura 37: Nivel de salmuera en la poza.

Fuente: Elaboración propia.

El flujo másico de la salmuera es el producto del caudal volumétrico del fluido (\dot{q}_v) en función a los evaporadores y la densidad del fluido (ρ), según la información encontrada, la compañía “VILTER”, fabricante de evaporadores inundados tipo serpentín, proporciona una tabla indicando el caudal volumétrico de la salmuera (\dot{q}_v) que pasa por cada haz de tubos que tiene el evaporador, a una velocidad del fluido igual a 0.508 m/s. (ANEXO 04)

Para la ubicación del evaporador, se considera el ancho del área del corredor y el nivel de altura de la salmuera en dicha área, teniendo en cuenta que en esta área el nivel de la salmuera puede ocupar toda la profundidad de la poza (1.20 m) debido a la agitación de la salmuera. Esta área consta de un evaporador inundado tipo serpentín de tubos desnudos, el cual es dividido en 2, montados a lo largo del dicha área, cada división del evaporador consta de un haz de tubos, cada haz está conformado por 60 tubos entre columnas y filas, 15 tubos como columnas y 4 tubos como filas, siendo el diámetro de la tubería 0.0317 m, la longitud de cada división es de 10.5 m.

El ANEXO 04 proporciona una tabla con cantidades de caudal volumétrico de la salmuera con el que debe de pasar por cada haz de tubos del evaporador según la cantidad de tubos de cada haz, siendo la velocidad de la salmuera de 100 pies/min (0.508 m/s). Por lo cual de acuerdo con las características de los evaporadores e interpolando los valores dados en el ANEXO 04, se tiene un caudal volumétrico de la salmuera igual a:

14 690

15 x

16 1015

$$x = 852.5 \text{ gal/min}$$

Entonces el caudal volumétrico que debe de pasar por cada haz de tubos del evaporador es de 852.5 gal/min, como cada división del evaporador consta de un haz de tubos, se obtiene un caudal volumétrico de 1705 gal/min que debe pasar por cada evaporador.

Según estudios realizados anteriormente señalan que la velocidad de la salmuera debe de ser de 0.60 m/s (118.11 pies/min) con el objetivo de generar mayor movimiento de dicho fluido, motivo por el cual se trabajará con dicha velocidad, obteniéndose así 2014 gal/min de caudal volumétrico de la salmuera que debe pasar como mínimo por los evaporadores.

Por lo cual se obtiene la velocidad másica:

$$\dot{V}_m = \frac{\dot{m}_s}{S_1} = \frac{\dot{q}_v * \rho}{S_1}$$
$$\dot{V}_m = \frac{2014 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * 1190 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{min}}{60 \text{s}} * \frac{1 \text{m}^3}{264.2 \text{ gal}}}{1.25 \text{ m}^2}$$

$$\dot{V}_m = 121 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}}$$

En el área del congelador se encuentran los moldes sumergidos en la salmuera, la cual fluye a sus alrededores, estos moldes tienen forma de pirámide rectangular truncada, para poder determinar el número de Reynolds es necesario hallar la longitud característica (L_C) del molde.

La longitud característica para ductos rectangulares es igual al diámetro hidráulico, ecuación [4]:

$$D_h = \frac{4A_c}{P}$$

Dónde:

A_c : Área de la sección transversal del ducto (m^2)

P : Perímetro mojado (m)

Por lo que resulta:

$$D_h = \frac{4ab}{2(a+b)} = \frac{2ab}{(a+b)}$$

Debido a la forma del molde, para la parte superior e inferior del molde a lo ancho (A_s , A_i), se tiene: (Tabla 13)

$$a = \frac{0.19254 \text{ m} + 0.17254 \text{ m}}{2} = 0.18254 \text{ m}$$

Y para la longitud superior e inferior del molde (L_s , L_i):

$$b = \frac{0.38254 \text{ m} + 0.34254 \text{ m}}{2} = 0.36254 \text{ m}$$

Por lo que el diámetro hidráulico es:

$$D_h = 0.24 \text{ m}$$

Con los cálculos anteriormente realizados, se obtiene el número de Reynolds: [3]

$$Re = \frac{D_h \dot{V}_m}{\mu} = \frac{0.24 \text{ m} * 121 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ s}}}{4.8 * 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$

$$Re = 6050$$

Número de Prandtl

Se determina el número de Prandtl mediante la ecuación [2].

Dónde:

C_p : Calor específico de la salmuera = 3020 W.s/kg°C

k : Conductividad térmica de la salmuera = 0.53 W/m°C

μ : Viscosidad absoluta = 4.8*10⁻³ kg/m.s

Reemplazando:

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} = \frac{3020 \frac{W \cdot s}{kg \cdot ^\circ C} * 4.8 * 10^{-3} \frac{kg}{s \cdot m}}{0.53 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}}$$

$$Pr = 27.35$$

Número de Nusselt:

Teniendo en cuenta que la salmuera es agitada en el interior del túnel de agitación de la poza, siendo enviada al área del corredor, seguidamente al área de congelamiento donde estará en contacto con los moldes, se opta por utilizar la ecuación [7].

$$Nu = 0.023 * Re^{0.8} * Pr^{0.3}$$

$$Nu = 0.023 * (6050)^{0.8} * (27.35)^{0.3}$$

$$Nu = 65.8$$

Por lo cual el coeficiente de transferencia de calor por convección de la salmuera es: [1]

$$Nu = \frac{h * D}{k}$$

$$h_{salm.} = \frac{Nu * k}{D_h} = \frac{69 * 0.53 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}}{0.24m}$$

$$h_{salm.} = 145.31 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

3.2.4.2 Cálculo del coeficiente convectivo del agua con respecto al molde

Para determinar este cálculo se cita a la tesis titulada “Cálculo y diseño de una planta frigorífica para un sistema de fabricación de hielo”, cuyo autor Carlos Fierro Escobar, proporciona una ecuación para determinar dicho cálculo. Dicha ecuación está sujeta a error pero se utiliza con la finalidad de que los tiempos teóricos del proceso de fabricación coincidan con los prácticos.

Coficiente promedio de conductividad térmica del agua con respecto al perímetro del molde ($k_{molde-agua}$), conjunto molde-agua.

$$\frac{1}{k_{\text{molde-agua}}} = \frac{r_2 - r_1}{k_{\text{molde}} * \left[2\pi * \frac{r_2 - r_1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \right]} + \frac{r_1}{k_{\text{agua}} * 2\pi * r_1 * \ln(r_1)} \quad [*]$$

Dónde:

r_1 : radio interior del molde, donde se almacena el agua a congelar.

r_2 : radio exterior del molde.

k_{molde} : coeficiente de conductividad del material del molde = $16.86 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$

Para encontrar los radios anteriormente mencionados, se considera a las dimensiones superiores del molde (Tabla 13):

$$r = \sqrt{\frac{\text{longitud} * \text{ancho}}{\pi}}$$

Para determinar r_1 :

$$r_1 = \sqrt{\frac{l_s * a_s}{\pi}}$$

Para calcular r_2 a las dimensiones superiores del molde se le adiciona el espesor de las panchas de dicho molde, siendo igual a:

$$r_2 = \sqrt{\frac{L_s * A_s}{\pi}}$$

Entonces reemplazando tenemos:

$$r_1 = \sqrt{\frac{0.38 * 0.19}{\pi}} = 0.1516 \text{ m}$$

$$r_2 = \sqrt{\frac{0.38254 * 0.19254}{\pi}} = 0.1531 \text{ m}$$

Temperatura fílmica del agua a enfriar: [5]

Considerando que la temperatura inicial del agua (T_i) es 20°C , y asumiendo que la temperatura de la superficie ($T_{\text{sup.}}$) sea de 0°C , tenemos que:

$$T_f = \frac{T_{\text{sup.}} + T_i}{2}$$

$$T_f = \frac{0^\circ\text{C} + 20^\circ\text{C}}{2} = 10^\circ\text{C}$$

Por lo cual:

k : Conductividad térmica del agua = $0.597 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$

C_p : calor específico = $4182 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$.

Reemplazando en la ecuación [*]

$$\frac{1}{k_{\text{molde-agua}}} = \frac{0.1531 \text{ m} - 0.1516 \text{ m}}{16.86 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^\circ\text{C}} * \left[2\pi * \frac{(0.1531 \text{ m} - 0.1516 \text{ m})}{\ln\left(\frac{0.1531}{0.1516}\right)} \right]} + \frac{0.1516 \text{ m}}{0.597 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^\circ\text{C}} * 2\pi * 0.1516 \text{ m} * \ln(0.1516)}$$

$$\frac{1}{k_{\text{molde-agua}}} = 0.1412 \frac{\text{m}\cdot^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$k_{\text{molde-agua}} = 7.08 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^\circ\text{C}}$$

Coficiente de conductividad térmica por convección del agua relacionado al perímetro externo del molde:

$$h' = \frac{k_{\text{molde-agua}}}{2 * \pi * r_2}$$

$$h' = \frac{7.08 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^\circ\text{C}}}{2 * \pi * 0.1531 \text{ m}} = 7.36 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}}$$

3.2.4.3 Cálculo del coeficiente convectivo del hielo con respecto al molde

Utilizando la misma ecuación [*]

Coefficiente promedio de conductividad térmica del agua congelada con respecto al perímetro del molde ($k_{\text{molde-hielo}}$), conjunto molde-hielo.

Dónde:

r_1 : radio interior del molde, es decir donde se almacena el agua a congelar.

r_2 : radio exterior del molde.

$$k_{\text{molde}} = 16.86 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$$

$$k_{\text{hielo}} = 2.22 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$$

Reemplazando en la ecuación [*]

$$\frac{1}{k_{\text{molde-hielo}}} = \frac{0.1531 \text{ m} - 0.1516 \text{ m}}{16.86 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} * \left[2\pi * \frac{(0.1531 \text{ m} - 0.1516 \text{ m})}{\ln\left(\frac{0.1531}{0.1516}\right)} \right]} + \frac{0.1516 \text{ m}}{2.22 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} * 2\pi * 0.1516 \text{ m} * \ln(0.1516)}$$

$$\frac{1}{k_{\text{molde-hielo}}} = 0.038 \frac{\text{m}^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$k_{\text{molde-hielo}} = 26.32 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$$

Coefficiente de conductividad térmica por convección del agua congelada relacionado al perímetro externo del molde:

$$h'' = \frac{k_{\text{molde-hielo}}}{2 * \pi * r_2}$$

$$h'' = \frac{26.32 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}}{2 * \pi * 0.1531 \text{ m}}$$

$$h'' = 27.36 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}$$

3.2.5 Cálculo de flujo de calor necesario para generar hielo en bloques

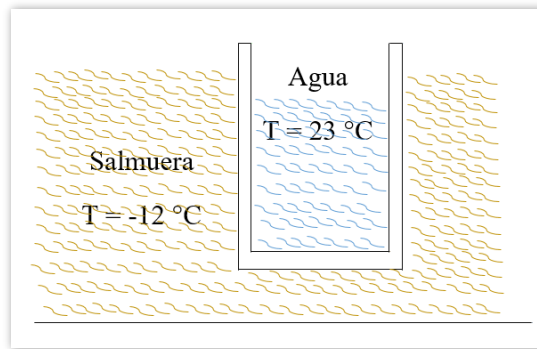


Figura 38: Transferencia de calor en el conjunto salmuera – molde – agua.

Fuente: Propia del Autor

Se calculará a través de la ecuación [9]:

$$Q = U_0 * A * F(\text{LMTD})$$

Debido a nuestro sistema para intercambiar calor (doble tubo, condensadores y evaporadores), se determina el factor $F = 1$

U_0 : Coeficiente global de transferencia de calor

$$R_{\text{total}} = \frac{1}{U * A}$$

$$U_0 = \frac{1}{R_{\text{total}} * A_0}$$

El proceso de fabricación de hielo en bloques consta de tres etapas: enfriamiento del agua, congelamiento del agua enfriada y subenfriamiento del hielo, siendo estas consecutivas, por tal razón a continuación se realizarán los cálculos para cada etapa.

3.2.5.1 Coeficiente global de transferencia de calor para cada etapa del proceso

Coeficiente global de transferencia de calor para el enfriamiento del agua

Para el enfriamiento del agua se tiene en consideración las resistencias térmicas que actúan en esta etapa es decir, de la salmuera, molde y del agua.

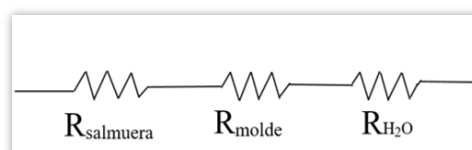


Figura 39: Resistencias térmicas del conjunto salmuera-molde-agua.

$$R_{\text{enf.}} = R_{\text{salmuera}} + R_{\text{molde}} + R_{\text{H}_2\text{O}}$$

Entonces se obtendrá el coeficiente global de transferencia de calor para el enfriamiento del agua ($U_{\text{enf.}}$) igual a:

$$U_{\text{enf.}} = \frac{1}{\left[\frac{1}{h_{\text{salm.}} * A} + \frac{L}{k_{\text{molde}} * A} + \frac{1}{h' * A} \right] * A}$$

$$U_{\text{enf.}} = \frac{1}{\frac{1}{h_{\text{salm.}}} + \frac{L}{k_{\text{molde}}} + \frac{1}{h'}}$$

Dónde:

$$h_{\text{salm.}} = 145.31 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$$

$$k_{\text{molde}} = 16.86 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$$

$$h' = 7.36 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$$

L: espesor de la pared del molde = 0.00127 m (Tabla 13)

Reemplazando:

$$U_{\text{enf.}} = \frac{1}{\frac{1}{145.31 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}} + \frac{0.00127\text{m}}{16.86 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}} + \frac{1}{7.36 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}}} = 7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$$

Coefficiente global de transferencia de calor para el congelamiento del agua enfriada y el subenfriamiento del hielo.

En el cálculo de la resistencia total para estas dos últimas etapas, se consideran las resistencias térmicas de la salmuera, molde y agua congelada.

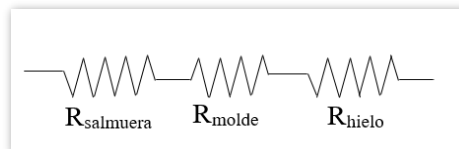


Figura 40: Resistencias térmicas del conjunto salmuera-molde-hielo.

$$R_{\text{cong.-sub.}} = R_{\text{salmuera}} + R_{\text{molde}} + R_{\text{hielo}}$$

Obteniendo el coeficiente global de transferencia de calor para el congelamiento del agua enfriada y el subenfriamiento del hielo ($U_{\text{cong.-sub.}}$):

$$U_{\text{cong.-sub.}} = \frac{1}{\frac{1}{h_{\text{salm.}}} + \frac{L}{k_{\text{molde}}} + \frac{1}{h''}}$$

Dónde:

$$h'' = 27.36 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$$

$$U_{\text{cong.-sub.}} = \frac{1}{\frac{1}{145.31 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}} + \frac{0.00127 \text{ m}}{16.86 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}} + \frac{1}{27.36 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}}}$$

$$U_{\text{cong.-sub.}} = 23 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$$

3.2.5.2 Área contacto para la transferencia de calor

De acuerdo a la dimensión, forma del molde (pirámide rectangular truncada), se obtiene:

$$A_{\text{contacto}} = A_b + 2 \left(\frac{L_s + L_i}{2} \right) h + 2 \left(\frac{A_s + A_i}{2} \right) h$$

Considerando el espesor de las planchas de los moldes, tabla 13:

$$A_b: \text{área de la base del molde} = 0.34254 * 0.17254 = 0.0591 \text{m}^2$$

$$L_s = 0.38254 \text{ m}$$

$$L_i = 0.34254 \text{ m}$$

$$A_s = 0.19254 \text{ m}$$

$$A_i = 0.17254 \text{ m}$$

h: altura del agua contenida en el molde, para la transferencia de calor = 0.86 m

Reemplazando se obtiene:

$$A_{\text{contacto}} = 0.0591 \text{ m}^2 + (0.38254 \text{ m} + 0.34254 \text{ m}) * 0.86 \text{ m} + (0.19254 \text{ m} + 0.17254 \text{ m}) * 0.86 \text{ m}$$

$$A_{\text{contacto}} = 0.9966 \text{ m}^2$$

Método de la diferencia de temperatura media logarítmica (LMTD)

En la figura 41, muestra el gráfico temperaturas Vs. Etapas del proceso para la fabricación de hielo en bloques, por el cual los siguientes cálculos se realizarán por tramos. El tramo AB será para el enfriamiento del agua, el tramo AC se creó conveniente usarlo para el congelamiento del agua enfriada con la finalidad de que el tiempo de congelación coincida con experiencias prácticas y con desarrollos de tesis con respecto a este tema que anteriormente se han desarrollado, y el tramo BC será para el subenfriamiento del hielo.

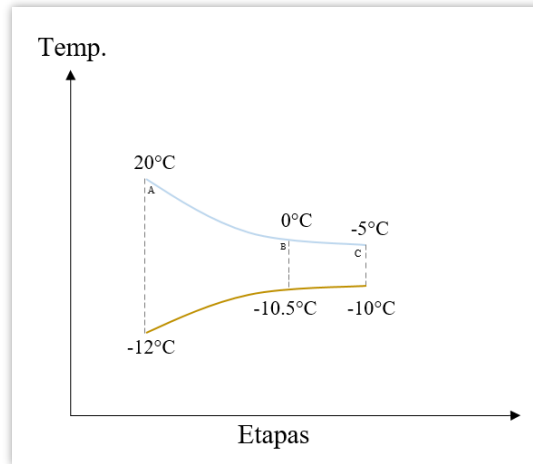


Figura 41: Temperaturas Vs. Etapas del proceso de fabricación de hielo en bloques.

Fuente: Elaboración del autor.

LMTD_{AB} para el enfriamiento del agua

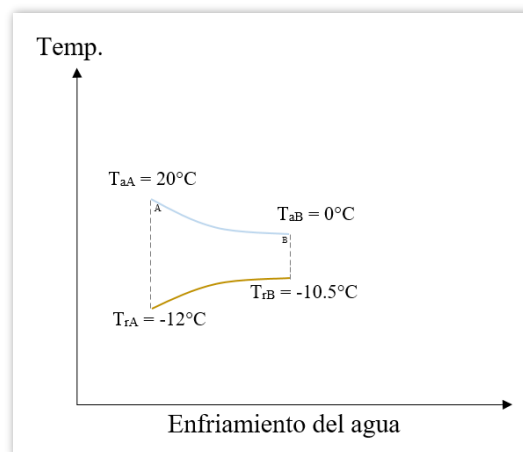


Figura 42: Temperaturas Vs. Etapa de enfriamiento del agua.

Fuente: Elaboración del autor.

$$T_a = T_{aA} - T_{rA}$$

T_{aA} : Temperatura del agua en el punto A = 20°C

T_{rA} : Temperatura del refrigerante secundario en el punto B = -12°C

$$\Delta T_a = 20 - (-12) = 32 \text{ °C}$$

$$\Delta T_b = T_{aB} - T_{rB}$$

T_{aB} : Temperatura del agua en el punto B = 0°C

T_{rB} : Temperatura del refrigerante secundario en el punto B = -10.5°C

$$\Delta T_b = 0 - (-10.5) = 10.5 \text{ °C}$$

Entonces el $LMTD_{AB}$ para el enfriamiento del agua es: [10]

$$LMTD_{AB} = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln\left(\frac{\Delta T_a}{\Delta T_b}\right)}$$

$$LMTD_{AB} = \frac{32 - 10.5}{\ln\left(\frac{32}{10.5}\right)}$$

$$LMTD_{AB} = 19.2936 \text{ °C}$$

$LMTD_{AC}$ para el congelamiento del agua enfriada

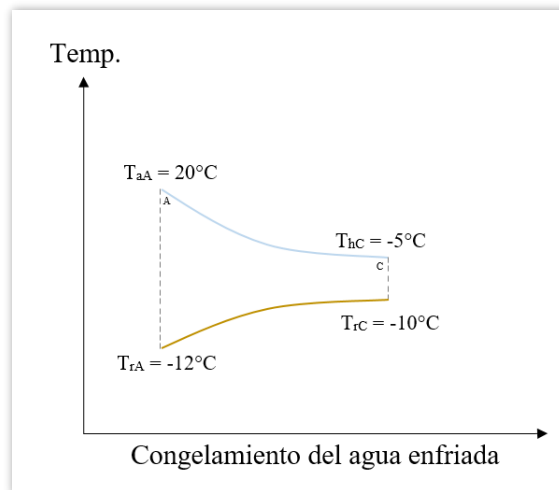


Figura 43: Temperaturas Vs. Etapa de congelamiento del agua enfriada.

Fuente: Elaboración del autor.

Se realizará el cálculo directo de la LMTD, con la finalidad de poder coincidir con los tiempos de duración de esta etapa de acuerdo con la experiencia práctica.

$$\Delta T_c = T_{aA} - T_{rA}$$

T_{aA} : Temperatura del agua en el punto A = 20°C

T_{rA} : Temperatura del refrigerante secundario en el punto A = -12°C

$$\Delta T_c = 20 - (-12) = 32 \text{ °C}$$

$$\Delta T_d = T_{aC} - T_{rC}$$

T_{hC} : Temperatura final del hielo = -5°C

T_{rC} : Temperatura del refrigerante secundario en el punto C = -10°C

$$\Delta T_d = -5 - (-10) = 5 \text{ °C}$$

Entonces el $LMTD_{AB}$ es: [10]

$$LMTD_{AC} = \frac{32 - 5}{\ln\left(\frac{32}{5}\right)}$$

$$LMTD_{AC} = 14.5451 \text{ °C}$$

LMTD_{BC} para el subenfriamiento del hielo

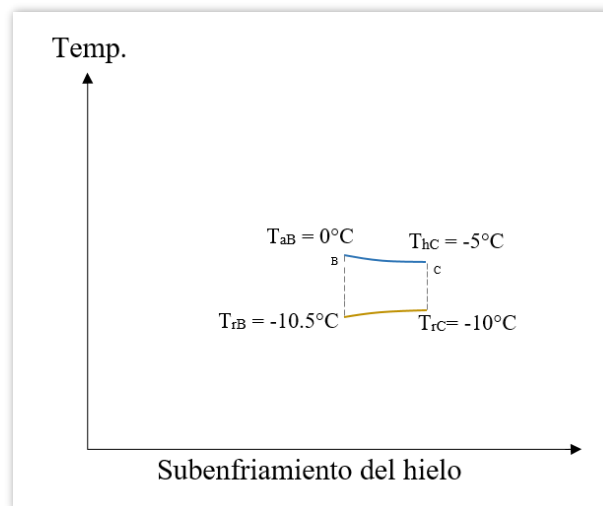


Figura 44: Temperaturas Vs. Etapa de subenfriamiento del hielo.

Fuente: Elaboración del autor.

$$\Delta T_e = T_{aB} - T_{rB}$$

T_{aB} : Temperatura del agua en el punto B = 0°C

T_{rB} : Temperatura del refrigerante secundario en el punto B = -10.5°C

$$\Delta T_e = 0 - (-10.5) = 10.5 \text{ °C}$$

$$\Delta T_f = T_{hc} - T_{rC}$$

T_{hc} : Temperatura final del hielo = -5°C

T_{rC} : Temperatura del refrigerante secundario en el punto C = -10°C

$$\Delta T_d = -5 - (-10) = 5 \text{ °C}$$

Entonces el $LMTD_{BC}$ es: [10]

$$LMTD_{BC} = \frac{10.5 - 5}{\ln\left(\frac{10.5}{5}\right)}$$

$$LMTD_{BC} = 7.4130 \text{ °C}$$

3.2.5.3 Flujo de calor necesario para las tres etapas del proceso

Para el enfriamiento del agua

Se reemplaza los valores obtenidos, [9]

$$Q_{enf.} = U_{enf.} * A_{cont.} * LMTD_{AB}$$

$$Q_{enf.} = 7 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 0.9966 \text{ m}^2 * 19.2936 \text{ °C}$$

$$Q_{enf.} = 134.59 \text{ W}$$

Para el congelamiento del agua enfriada

[9]

$$Q_{cong.} = U_{cong.} * A_{cont.} * LMTD_{AC}$$

$$Q_{cong.} = 23 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 0.9966 \text{ m}^2 * 14.5451 \text{ °C}$$

$$Q_{cong.} = 333.39 \text{ W}$$

Para el subenfriamiento del hielo

[9]

$$Q_{\text{sub.}} = U_{\text{sub.}} * A_{\text{cont.}} * \text{LMTD}_{\text{BC}}$$

$$Q_{\text{sub.}} = 23 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}} * 0.9966 \text{ m}^2 * 7.4130 \text{ °C}$$

$$Q_{\text{sub.}} = 169.92 \text{ W}$$

3.2.6 Tiempo de duración del proceso para la fabricación de hielo en bloque

Se realizará el cálculo del tiempo de duración de cada etapa del proceso. Se tiene en cuenta que cada bloque de hielo tendrá un peso de 50 kg.

Enfriamiento del agua

Desde la temperatura inicial del agua ($T_{\text{aA}} = 20\text{°C}$) hasta los 0°C (T_{aB}), para este cálculo se hará uso de la siguiente expresión:

$$t_{\text{enf.}} = \frac{m_{\text{p}} * C_{\text{p}_a} * (T_{\text{aA}} - T_{\text{aB}})}{Q_{\text{enf.}}}$$

Dónde:

m_{p} : Masa del producto a fabricar.

C_{p_a} : Calor específico a presión constante del agua.

$T_{\text{aA}}, T_{\text{aB}}$: Temperatura inicial y final del agua, respectivamente.

$Q_{\text{enf.}}$: Flujo de calor necesario para el enfriamiento del agua.

Reemplazando valores:

$$t_{\text{enf.}} = \frac{50 \text{ kg} * 4182 \frac{\text{W} \cdot \text{s}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} * (20\text{°C} - 0\text{°C})}{134.59 \text{ W}}$$

Tenemos que:

$$t_{\text{enf.}} = 8.63 \text{ horas}$$

Congelamiento del agua enfriada

Congelamiento del agua enfriada desde los 0 °C, para este cálculo se utilizará la siguiente expresión:

$$t_{\text{cong.}} = \frac{m_p * \Delta h_{fg}}{Q_{\text{cong.}}}$$

Dónde:

m_p : Masa del producto a fabricar.

Δh_{fg} : Calor latente de fusión del agua, a 0°C (Tabla 14).

$Q_{\text{cong.}}$: Flujo de calor necesario para el congelamiento del agua enfriada.

Reemplazando:

$$t_{\text{cong.}} = \frac{50 \text{ kg} * 334944 \frac{\text{W}\cdot\text{s}}{\text{kg}}}{333.39 \text{ W}}$$

$$t_{\text{cong.}} = 13.95 \text{ horas}$$

Subenfriamiento del hielo

Subenfriamiento del hielo hasta los (-5°C), el tiempo de duración de esta etapa se determina mediante la expresión:

$$t_{\text{sub.}} = \frac{m_p * C_p * (T_{aB} - T_{hC})}{Q_{\text{sub.}}}$$

Dónde:

m_p : Masa del producto a fabricar.

C_p : Calor específico a presión constante del hielo (Tabla 14).

$$T_{aB} = 0 \text{ °C}$$

$$T_{hC} = -5 \text{ °C}$$

$Q_{\text{sub.}}$: Flujo de calor necesario para el subenfriamiento del hielo.

Tenemos que:

$$t_{\text{sub.}} = \frac{50 \text{ kg} * 2052 \frac{\text{W} \cdot \text{s}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (0^\circ\text{C} - (-5^\circ\text{C}))}{169.92 \text{ W}}$$

$$t_{\text{sub.}} = 0.84 \text{ horas}$$

El tiempo de duración del proceso para la fabricación de hielo en bloque según los cálculos es de 23.42 horas (23 horas, 25 minutos), teniendo en cuenta el llenado de agua en los moldes, la sumersión de los moldes en la poza de salmuera, se establece que el tiempo total de duración para la fabricación de hielo en bloque será de 24.5 horas (24 horas con 30 minutos). Sin considerar el tiempo de duración del desprendimiento del bloque de hielo contenido en el molde (“baño maría”).

La poza de salmuera tiene la capacidad para almacenar 1060 moldes, pero para los cálculos realizados anteriormente se tomó como muestra a uno de ellos debido a que todos los moldes pasan por el mismo proceso.

3.2.7 Carga frigorífica de la poza N° 2 para la fabricación de hielo en bloques

3.2.7.1 Calor extraído en la fabricación del hielo en bloques

Los cálculos siguientes se realizarán teniendo en cuenta el tiempo de duración de fabricación de hielo en bloques, es decir 24.5 horas.

Enfriamiento del agua

La capacidad de producción de la poza es de 1060 bloques de hielo de 50 kg cada uno, siendo la masa total de 53000 kg, con la cual se trabajará para los siguientes cálculos.

Para determinar la carga frigorífica que se necesita para el enfriamiento del agua, se hará uso de la siguiente expresión:

$$q_e = m_t * C_{p_a} * (T_{aA} - T_{aB})$$

En dónde:

q_e : Carga frigorífica para enfriar el agua, en Joule.

m_t : Masa total a fabricar (kg).

C_{p_a} : Calor específico a presión constante del agua = 4182 J/kg.°C

T_{aA}, T_{aB} : Representan las temperaturas inicial y final del agua.

$$q_e = 53000 \text{ kg} * 4182 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (20^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C})$$

$$q_e = 4432920000 \text{ J}$$

Congelamiento del agua enfriada

Carga frigorífica para el congelamiento del agua enfriada, para el cual se utiliza la siguiente expresión:

$$q_c = m_t * \Delta h_{fg}$$

Dónde:

q_c : Carga frigorífica para el congelamiento del agua, en Joule.

Δh_{fg} : Calor latente del agua de fusión a $0^\circ\text{C} = 334944 \text{ Joule/kg}$, (Tabla 14).

$$q_c = 53000 \text{ kg} * 334944 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$q_c = 17752032000 \text{ J}$$

Subenfriamiento del hielo

Para este cálculo se utiliza la siguiente expresión:

$$q_{sh} = m_t * C_p * (T_{aB} - T_{hC})$$

Dónde:

q_{sh} : Carga frigorífica para el sub enfriamiento del hielo.

C_p : Calor específico a presión constante del hielo = $2052 \text{ Joule/kg}^\circ\text{C}$, (Tabla 14).

T_{hC} : Temperatura final del hielo subenfriado = -5°C

$$q_{sh} = 53000 \text{ kg} * 2052 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (0^\circ\text{C} - (-5^\circ\text{C}))$$

$$q_{sh} = 543780000 \text{ J}$$

Calor total extraído en la fabricación de hielo en bloques

$$q_{fh} = q_e + q_c + q_{sh}$$

$$q_{fh} = 22728732000 \text{ J}$$

3.2.7.2 Carga térmica debido al enfriamiento de los moldes

Para realizar este cálculo se debe tener en cuenta las propiedades térmicas y físicas del material con el que están construido los moldes.

La densidad del acero inoxidable 316 es 8238 kg/m^3 , a continuación se calcula la masa del molde.

Cálculo de la masa del molde:

La densidad es igual a:

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{Volumen}}$$

Para el volumen del material del molde se recurre a la tabla 13 en donde dicho volumen se determina mediante la diferencia del volumen externo y el volumen interno del molde por lo cual se obtiene:

$$\text{Volumen exterior} = 0.0663 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen interior} = 0.0649 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen}_{\text{material}} = \text{Volumen}_{\text{exterior}} - \text{Volumen}_{\text{interior}}$$

$$\text{Volumen}_{\text{material}} = 0.0014 \text{ m}^3$$

Reemplazando se obtiene la masa del molde igual a:

$$m = \rho * V$$

$$m = 8238 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.0014 \text{ m}^3 = 11.53 \text{ kg}$$

Teniendo en cuenta el peso de la platina (elemento de suspensión) que va solada en la parte superior del molde, según el material, el cual es acero galvanizado y según sus dimensiones, se considera que el peso total del molde es igual a 13 kg. (En los planos, ver dibujo 01)

El agua que se desea congelar es contenida dentro de los moldes, los cuales producen un efecto térmico en función a su calor sensible.

Para determinar esta carga frigorífica utilizamos la siguiente ecuación:

$$q_{em} = N_m * M_m * C_{p_m} * (T_{im} - T_{fm})$$

Dónde:

N_m : Número de moldes = 1060

M_m : Masa del molde = 13 kg.

C_{p_m} : Calor específico del material del molde = 468 Joule/kg.°C

Temperaturas inicial del molde (T_{im}), final del molde (T_{fm}) = 20°C, (-5°C) respectivamente.

Entonces obtenemos:

$$q_{em} = 1060 * 13 \text{ kg} * 468 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (20^\circ\text{C} - (-5^\circ\text{C}))$$

$$q_{em} = 161226000 \text{ J}$$

3.2.7.3 Carga térmica debido a los agitadores de la salmuera

Debido a la acción de los agitadores, la carga frigorífica es igual al equivalente térmico de las potencias de los mismos. Se define por:

$$q_{ag} = P_{ag} * N_{ag} * f_{calor.}$$

Dónde:

q_{ag} : Carga frigorífica por la acción de los agitadores de la salmuera.

P_{ag} : Potencia eléctrica del motor del agitador.

N_{ag} : Número de agitadores en el tanque de salmuera.

$f_{calor.}$: Factor calorífico del motor eléctrico, de acuerdo al ANEXO 05, para motor de 5 HP corresponde un factor calorífico igual a 641.34 kcal/HP.h, reemplazando los datos y teniendo en cuenta el tiempo que tarda el proceso, obtenemos:

$$q_{ag} = 5\text{HP} * 2 * 641.34 \frac{\text{kcal}}{\text{HP} * \text{h}} * 24.5\text{h} = 157128.3 \text{ kcal} \langle \rangle 657864766.44 \text{ J}$$

3.2.7.4 Pérdidas de carga térmica a través de paredes, fondo y cubierta de la poza de salmuera

Debido a la existencia de pérdidas de calor a través de las superficies de la poza (paredes laterales, fondo, tapa, cubiertas, etc.), según la construcción, las pérdidas se calculan por separado.

Factores de los cuales dependen la cantidad de pérdidas de calor por paredes:

- Diferencias de temperatura de la salmuera y el ambiente exterior.
- Aislamiento utilizado.
- Superficie total exterior de la poza de congelación.

Aislamiento

Cuando el flujo térmico máximo no supere un valor determinado se calcula el aislamiento, esto cambia según las condiciones económicas de la planta.

Las pérdidas de calor por las paredes se determinan por la ecuación [8]:

$$q_{p, \text{ laterales}} = U * A * \Delta T$$

Dónde:

U: Coeficiente global de transferencia de calor (W/m². °C).

A: Superficie de cerramiento, en m².

ΔT : Diferencia de temperaturas (interior y exterior) en °C.

Se determina U mediante:

$$U = \frac{1}{R_{\text{total}}} = \frac{k}{e}$$

Dónde:

k: Conductividad térmica del aislante de la poza (W/m.°C).

e: Espesor de las diferentes capas del aislante que conforman la poza, en (cm).

Cálculo del espesor del aislante

Actualmente el espesor del material aislante de las paredes la poza es de 10 cm, dicho material aislante es el poliestireno, el cual está cubierto por fierro, que es el material de la poza. Se realizará el cálculo para verificar el espesor del material aislante.

Como el aislante con el que cuenta actualmente la poza es el poliestireno, el cual presenta buenas características para el aislamiento térmico, es uno de los aislantes térmicos más eficientes y duraderos, tiene un coeficiente de conductividad térmica $(k) = 0.03 \text{ kcal/h.m.}^\circ\text{C} = 0.035 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$

Material	Densidad	Peso	Conductividad Térmica	Resistencia Esfuerzo	Compresión Deformación
	(Kg/m ³)	(Kg/m ²)	(Kcal/h·m·°C)	(Kg/cm ²)	%
Poliuretano PUR	40	12	0,017	5,00	4,5
Poliestireno POL	20	10	0,03	1,03	6,6

Figura 45: Propiedades térmicas de materiales aislantes térmicos.

Fuente: Enciclopedia de la refrigeración de Juan Antonio Ramírez.

Se determina el espesor del aislante mediante:

$$e = \frac{100 * k * (T_{\text{ext.}} - T')}{14}$$

(Ccanto, 2006, p, 90)

Dónde:

100: Constante.

k : Conductividad térmica del poliestireno = 0.03 kcal/h.m.°C.

T_{ext} = temperatura exterior = 25°C.

T' = Temperatura de la salmuera = -12°C.

14: Cantidad constante que deja pasar un aislamiento normal (frigorías-hora).

Entonces el espesor del aislante es:

$$e = \frac{100 * 0.03 * (25 - (-12))}{14} = 7.93 \text{ cm}$$

Con la finalidad de disminuir pérdidas de calor a través de las paredes de la poza y debido a los estudios realizados anteriormente en distintas tesis, es recomendable que el espesor del aislamiento sea igual a 100 mm. Por lo cual el espesor del aislante con el que cuenta actualmente las paredes de la poza coincide con lo recomendado y el cálculo.

Pérdidas caloríficas a través de las paredes laterales

Considerando las medidas de la poza de salmuera.

Primero se encontrará el Coeficiente global de transferencia de calor (U).

$$U = \frac{k}{e} = \frac{0.035 \frac{W}{m^{\circ}C}}{0.1m}$$

$$U = 0.35 \frac{W}{m^2^{\circ}C}$$

Entonces la pérdida de calor en paredes laterales de la poza es:

$$A = 2(1.20*6) + 2(1.20*24.26) = 72.624 \text{ m}^2. \text{ (Fig. 33)}$$

$$q_{p, \text{ laterales}} = 0.35 \frac{W}{m^2^{\circ}C} * 72.624 \text{ m}^2 * (25^{\circ}C - (-12^{\circ}C))$$

$$q_{p, \text{ laterales}} = 940.48 \text{ W}$$

Pérdidas caloríficas a través del fondo de la poza

Se utiliza la ecuación usada anteriormente, donde:

$$A = 6*24.26 = 145.56 \text{ m}^2 \text{ (fig. 33)}$$

$$q_f = 0.35 \frac{W}{m^2^{\circ}C} * 145.56 \text{ m}^2 * (25^{\circ}C - (-12^{\circ}C))$$

$$q_f = 1885 \text{ W}$$

Pérdidas caloríficas a través de las cubiertas de la poza

Con el fin de poner un alto a la entrada de calor desde el exterior recalentando la salmuera y el agua contenida en los moldes, previniendo también el ingreso de cualquier sustancia hacia la salmuera, es de mucha necesidad cubrir la parte superior de la poza.

Se opta por utilizar paneles térmicos de poliuretano cubierta por lámina galvanizada, siendo la conductividad térmica del poliuretano igual a $0.02 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ (fig. 45). El espesor de los paneles térmicos será de 200 mm, debido a que el personal necesita trasladarse por las cubiertas.

Se realizan los cálculos por áreas (congelador, corredor y agitación) debido a que antes y después del proceso de congelamiento de los moldes llenos de agua, se necesitan retirar las cubiertas del área del congelador y así seguir el proceso consecutivamente, también es necesario retirar las cubiertas para el mantenimiento en dichas áreas. El cálculo de estas pérdidas caloríficas se hará mediante la siguiente ecuación:

$$q_{cu} = \frac{A * k * \Delta T}{e}$$

Dónde:

q_{cu} : pérdida de calor por la cubierta, en (W).

A: Área de la cubierta, en (m^2).

k: coeficiente conductivo del material, en ($\text{W/m}^\circ\text{C}$).

ΔT : Diferencias de temperaturas entre el exterior y la salmuera, en ($^\circ\text{C}$).

e: Espesor de la cubierta, en (m).

Para este cálculo se hará uso de las dimensiones de la poza N° 2 (fig. 33), sin considerar el espacio que ocupan los elementos mecánicos en cada extremo del área del congelador, corredor y de agitación, que funcionan como soporte para las cubiertas.

Área del congelador:

El espesor de la cubierta: $e = 0.2 \text{ m}$

Área = $5 * 23.40 \text{ m} = 117 \text{ m}^2$

$$q_{cu, \text{ congelador}} = \frac{117 \text{ m}^2 * 0.02 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} * (25^\circ\text{C} - (-12^\circ\text{C}))}{0.2 \text{ m}} = 432.9 \text{ W}$$

Tabla 15: Dimensiones de las cubiertas para el área del congelador

Dimensiones de la cubierta del congelador		Cantidad de paneles térmicos
Largo	4.995 m	20
Ancho	1.15 m	
Espesor	0.2 m	
Largo	4.994 m	1
Ancho	0.40 m	
Espesor	0.2 m	

Fuente: Elaboración propia.

Área del corredor: área en donde se encuentran los evaporadores, se calculan las pérdidas de calor por la cubierta de esta área utilizando la ecuación anterior.

$$A = 23.40 \text{ m}^2$$

$$q_{cu, \text{ corredor}} = \frac{23.40 \text{ m}^2 * 0.02 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}} * (25^{\circ}\text{C} - (-12^{\circ}\text{C}))}{0.2 \text{ m}} = 86.58 \text{ W}$$

Tabla 16: Dimensiones de las cubiertas para el área del corredor

Dimensiones de la cubierta del corredor		Cantidad de paneles térmicos
Largo	1 m	46
Ancho	0.50 m	
Espesor	0.2 m	
Largo	1 m	1
Ancho	0.40 m	
Espesor	0.2 m	

Fuente: Elaboración propia.

Área de agitación:

Para las cubiertas del área del sistema de agitación, considerando las pérdidas caloríficas que se puedan generar y considerando la altura de la poza, al fierro que es el material de la cubierta, se opta por agregarle el material aislante poliuretano de 5 cm de espesor con la finalidad de disminuir dichas pérdidas. Para este cálculo se tienen los siguientes datos:

$$A: \text{Área de la cubierta} = (0.86 \text{ m} * 6 \text{ m}) = 5.16 \text{ m}^2$$

$$k: \text{Conductividad térmica del poliuretano} = 0.02 \text{ W/m}^\circ\text{C}.$$

$$T_{\text{ext}} = \text{temperatura exterior} = 25^\circ\text{C}.$$

$$T' = \text{Temperatura de la salmuera} = -12^\circ\text{C}.$$

$$e: \text{espesor del poliestireno} = 0.05 \text{ m}$$

Reemplazando:

$$q_{\text{cu, agitación}} = \frac{5.16 \text{ m}^2 * 0.02 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} * (25^\circ\text{C} - (-12^\circ\text{C}))}{0.05 \text{ m}} = 76.37 \text{ W}$$

Por lo que la pérdida de calor total por las cubiertas (q_{tcu}) = 595.85 W

Total de aportes por pérdidas caloríficas a través de las paredes laterales, fondo y cubiertas de la poza:

$$q_p = q_{p, \text{ laterales}} + q_f + q_{\text{tcu}}$$

$$q_p = 940.48 \text{ W} + 1885 \text{ W} + 595.85 \text{ W} = 3421.33 \text{ W}$$

Debido a que el tiempo de fabricación de hielo en bloque es de 24.5 horas, entonces las pérdidas de calor durante este tiempo es:

$$q_p = 3421.33 \frac{\text{J}}{\text{s}} * \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} * 24.5 \text{ h} = 301761306 \text{ Joule}$$

3.2.7.5 Pérdidas caloríficas incalculables

Durante el proceso de fabricación de hielo en bloque existen algunas pérdidas que son difíciles de precisarlas como por ejemplo el calor que se aporta al destapar la poza de salmuera o a través de puentes térmicos, por tal razón se asumirá que estas cargas incalculables son el 5 % de la carga total anteriormente calculadas.

$$q_{inc} = 5\% * (q_{fh} + q_{em} + q_{ag} + q_p)$$

$$q_{inc} = 5\%(22728732000 \text{ J} + 161226000 \text{ J} + 657864766.44 \text{ J} + 301761306 \text{ J})$$

$$q_{inc} = 1192479204 \text{ J}$$

Carga frigorífica de la poza N° 02 para la fabricación de hielo en bloques

La carga frigorífica de la poza es igual a la suma de los cálculos realizados anteriormente, considerando el tiempo en el que tarda el proceso de fabricación de hielo en bloques.

$$q_{total} = q_{fh} + q_{em} + q_{ag} + q_p + q_{inc}$$

$$q_{total} = 25042063276.4 \left(\frac{\text{J}}{24.5 \text{ horas}} \right)$$

Carga frigorífica por hora:

$$q_{hora} = 1022125031.69 \frac{\text{J}}{\text{hora}} \langle \rangle 283923.6199139 \text{ W}$$

3.3 Diseño y cálculo del sistema de agitación de salmuera

Debido al actual sistema de agitación con la que cuenta la planta, se generan diferentes problemas, a continuación se desarrollaran los cálculos necesarios para el rediseño de los agitadores mecánicos, con la finalidad de mejorar y optimizar técnicamente este sistema de agitación.

3.3.1 Diseño del agitador mecánico

Para diseñar un sistema de agitación se consideran varios factores los cuales son muy importantes, por lo cual estamos en la obligación de elegir el tipo de impulsor del agitador con su respectiva ubicación, teniendo en cuenta que dicha elección que se hace está en la condición de afectar al consumo de potencia y a la velocidad de la salmuera. Para este diseño es de mucha importancia también la elección del material de los elementos que en conjunto forman el agitador mecánico.

Para el diseño del sistema de agitación se debe considerar:

- Características de la salmuera, debido a que el agitador va a estar en contacto con esta.
- El flujo de la salmuera que pasa a través de los evaporadores.
- El tipo de flujo que mediante los agitadores se produce.
- Potencia de accionamiento para calcular el eje de rotación.
- Tipo de impulsor, adecuado para la función a realizar.
- Diámetro del impulsor y las revoluciones a la que debe de girar.

Debido a las características de la dimensión del área del sistema de agitación y al trabajo que realizará este sistema, se utilizarán 2 impulsores de tipo hélice marina de 3 álabes (de paso 1.0), ya que este tipo de impulsor es de flujo axial que opera a elevada velocidad.

3.3.2 Velocidad angular

Para la selección de la velocidad angular se tiene en cuenta el fluido con el que se trabajará, en este caso salmuera, cuya viscosidad no es muy elevada, considerando también su buena agitación para obtener una adecuada cantidad de flujo de dicho fluido que debe pasar por los evaporadores, teniendo en cuenta también que la salmuera deberá estar en constante circulamiento pasando por las distintas áreas de la poza.

La figura 46, señala características de los agitadores según la cantidad de flujo que genera el impulsor.

1150 R. P. M. Motor					860 R. P. M. Motor				
Unit No.	Propeller		Motor H. P.	GPM	Unit No.	Propeller		Motor H. P.	GPM
	Dia.	Pitch				Dia.	Pitch		
VA66-10H	6"	6"	1	425					
VA68-15H	6"	8"	1½	560					
VB85-20H	8"	5"	2	640					
VB88-30H	8"	8"	3	980	VB88-20L	8"	8"	2	750
VB96-30H	9"	6"	3	1800	VB96-20L	9"	6"	2	1280
VB910-50H	9"	10"	5	2200	VB910-20L	9"	10"	2	1440
VB126-50H	12"	6"	6	2300	VB126-30L	12"	6"	3	1680
VB1210-75H	12"	10"	7½	3200	VB1210-50L	12"	10"	5	2400

Figura 46: Características de agitadores verticales en conexión directa – “Vilter Manufacturing Corporation”.

Fuente: (Fierro Escobar)

Este sistema de agitación será vertical, el movimiento de los agitadores se hará mediante un sistema de transmisión de potencia horizontal, a través de poleas y fajas.

Con la finalidad de mover mayor cantidad de volumen de salmuera y considerando que dicha salmuera deberá estar en constante recirculamiento pasando por las distintas áreas de la poza, se opta por trabajar con el diámetro del impulsor igual a 305 mm (12 pulg.), el cual girará a 860 rpm recomendado por “Vilter Manufacturing Corporation”, mediante la tabla que proporciona la fig. 46.

De acuerdo al tipo y diámetro del impulsor seleccionado a continuación se realizan los cálculos para conocer la potencia de arrastre que consume la propela y así poder elegir la potencia del motor eléctrico que accionará al agitador mecánico.

3.3.3 Cálculo del número de Reynolds

Se realiza este cálculo para hallar el tipo de flujo que generan los agitadores de acuerdo a la velocidad angular elegida en el área de agitación de la poza.

El diámetro del impulsor será de 0.305 m, para la determinación del tipo de flujo se hace uso de la ecuación [11].

$$Re = \frac{n * d_i^2 * \rho}{\mu}$$

Dónde:

d_i : Diámetro del impulsor = 0.305 m

n : Velocidad angular del agitador mecánico= 860 rpm = 14.3 rev/s

ρ : Densidad del fluido = 1190 kg/m³

μ : Viscosidad del fluido = 4.8*10⁻³ kg/m.s

$$Re = \frac{14.3 * (0.305)^2 * 1190}{4.8 * 10^{-3}} = 329793$$

El tipo de flujo que genera cada agitador es turbulento, en donde el fluido se mueve en trayectorias desordenadas.

Número de potencia para impulsores

Paul, Edward L., Atiemo-Obeng, Victor A. y M., Kresta Suzanne, autores del manual titulado “HANDBOOK OF INDUSTRIAL MIXING - SCIENCE AND PRACTICE” (Manual de mezcla industrial – Ciencia y práctica), en la página N° 365 del capítulo seis denominado “Recipientes agitados mecánicamente”, proporciona una tabla del número de potencia de varias propelas bajo condiciones de flujo turbulento, estándar con cuatro baffles, la cual se detalla a continuación.

Debido a que el recipiente de agitación en este caso es de forma rectangular, no es necesario utilizar baffles o placas deflectoras, pero a pesar de ello se considera hacer uso de la tabla mencionada anteriormente, con la finalidad de determinar el número de potencia del tipo de impulsor a utilizar:

Tabla 17: Número de potencia para diferentes tipos de impulsores

Tipo de impulsor	Np
Turbina de palas cóncavas o huecas	4.1
Ekato MIG-3 impulsores, relación D/T= 0.7	0.55
Ekato intermedia - 2 impulsores, relación D/T = 0.7	0.61
Disco de alto efecto cortante a Re = 10000	0.2
Lightnin A310	0.3
Chemineer HE3	0.3
Las siguientes son todas para relaciones de D =T/3, C = T/3 y aspas con espesor W=D/5	
Turbina de aspas inclinadas a 45°, de 4 aspas	1.27
Turbina de aspas inclinadas a 45°, de 6 aspas	1.64
Impulsor de hélice marina (paso 1.0)	0.34
Impulsor de hélice marina (paso 1.5)	0.62
Smith cóncava o hueca con 6 aspas	4.4

Fuente: (Paul, y otros, 2003)

El paso del impulsor de hélice marina se determina mediante la relación que hay entre el desplazamiento longitudinal del fluido (ocasionado por una revolución completa del impulsor) y el diámetro de dicho impulsor.

Debido a que se utilizará impulsor de hélice marina (paso 1.0), cuyo diámetro del impulsor será de 12 pulgadas, resulta que el desplazamiento longitudinal del fluido será de 12 pulgadas, obteniéndose el número de potencia para este tipo de impulsor igual a 0.34

3.3.4 Potencia de arrastre que consume la propela

Es de mucha importancia realizar este cálculo, debido que ayuda a encontrar la potencia teórica del motor para el agitador a diseñar.

Esta potencia teórica se determina mediante la ecuación [12]:

$$P' = N_p * \rho * n^3 * d_i^5$$

Dónde:

P': Potencia transmitida por el impulsor (Watts).

N_p : Número de potencia Adimensional (de acuerdo al tipo de impulsor a utilizar) = 0.34

ρ : Densidad del fluido = 1190 kg/m³

n : Velocidad angular del agitador mecánico = 14.3 rev/s

d_i : Diámetro del impulsor = 0.305 m

Reemplazando obtenemos:

$$P' = 0.34 * 1190 * (14.3)^3 * (0.305)^5$$

$$P' = 3122.7 \text{ W} = 4.1859 \text{ HP}$$

3.3.5 Motor eléctrico a utilizar

HP	Velocidad		Armazón	Corriente (A) 460			kVA/HP	Eficiencia nominal %			Factor de potencia %			Par			Conexión
	síncrona	asincr. plena carga		en vacío	plena carga	arranque		1/2	3/4	plena carga	1/2	3/4	plena carga	Nom. lb-pie	Rotor Bloq.	Max.	
0.5	900	870	143T	1.2	1.3	6.3	M	62	69	72.0	0.31	0.41	0.5	3.0	1.50	2.3	Y
	1800	1750	143T	0.8	1.1	10.0	M	77	81	82.5	0.55	0.67	0.75	2.3	3.30	4.3	Y
	1200	1150	145T	0.7	1.2	6.5	J	78.8	80.7	80.0	0.54	0.67	0.75	3.4	1.80	3.0	Y
1	900	860	145T	1.5	2.1	9	K	67.0	71.2	72.0	0.39	0.51	0.61	4.5	1.80	2.5	Y
	3600	3520	143T	0.8	1.4	14	N	75.5	79.0	80.0	0.63	0.74	0.81	1.5	2.40	4.6	Y
	1800	1750	143T	1	1.5	13	M	80.0	82.5	82.5	0.53	0.66	0.76	3.0	2.9	4.1	Y
15	1200	1150	145T	0.95	1.6	9	J	79.5	81.0	80.0	0.53	0.66	0.73	4.6	1.9	3.0	Y
	900	870	182T	1.5	2.1	9	J	77.0	80.0	81.5	0.36	0.47	0.56	6.0	2.1	3.9	Y
	3600	3490	143T	0.9	2	16	L	81.5	83.5	82.5	0.69	0.81	0.85	2.3	2.2	3.8	Y
2	1800	1750	145T	1.4	2.2	20	M	82.0	84.0	84.0	0.55	0.69	0.76	4.5	3.4	4.2	Y
	1200	1170	182T	1.4	2.4	15	K	84.0	85.5	85.5	0.52	0.64	0.68	6.7	2.2	4.2	Y
	900	865	184T	2.3	3.0	17	H	78.5	82.0	82.5	0.35	0.47	0.56	9.1	2.2	3.8	Y
3	3600	3495	145T	1.2	2.6	23	L	82.5	84.5	84.0	0.66	0.78	0.85	3.0	2.3	4.0	Y
	1800	1740	145T	1.8	3.0	25	L	83.0	84.5	84.0	0.54	0.68	0.77	6.0	3.7	4.4	Y
	1200	1170	184T	1.8	3.1	25	K	85.0	87.0	86.5	0.49	0.61	0.70	9.0	2.3	4.0	Y
5	900	870	213T	2	3.3	16	H	84.0	84.5	84.0	0.51	0.63	0.68	12.1	1.7	3.4	Y
	3600	3515	182T	1.5	3.7	32	K	83.0	85.5	85.5	0.67	0.8	0.85	4.5	1.7	3.4	Y
	1800	1750	182T	2	4	32	K	86.5	88.0	87.5	0.59	0.72	0.78	9.0	2.1	3.7	Y
7.5	1200	1170	213T	2.2	4.2	32	K	86.5	87.5	87.5	0.57	0.70	0.76	13.5	2.2	3.6	Y
	900	870	215T	3	4.8	25	H	85.5	86.5	85.5	0.45	0.59	0.68	18.1	2.0	3.1	Y
	3600	3505	184T	2.3	6.2	46	J	87.0	88.0	87.5	0.72	0.82	0.85	7.5	1.9	4.0	Y
10	1800	1735	184T	2.9	6.7	46	J	88.5	88.5	87.5	0.64	0.75	0.79	15.1	1.9	3.2	Y
	1200	1165	215T	3.3	6.8	46	J	88.0	88.5	87.5	0.62	0.74	0.79	22.5	2.0	3.4	Y
	900	875	254T	5.5	8.8	33	F	85.5	87.0	86.5	0.43	0.54	0.62	30.0	1.9	2.0	Y
15	3600	3520	213T	3.5	9	63	H	86.5	88.5	88.5	0.75	0.84	0.89	11.2	1.9	3.6	Y
	1800	1750	213T	4.1	9.5	63	H	89.5	90.0	89.5	0.66	0.77	0.82	22.5	2.0	3.4	Y
	1200	1175	254T	5.5	10.5	63	H	88.5	90.0	89.5	0.55	0.68	0.78	33.5	1.6	2.8	Y
20	900	875	256T	7.9	13	50	G	87.0	88.0	87.5	0.44	0.55	0.62	45.0	1.9	2.0	Y
	3600	3515	215T	4	11.5	81	H	90.0	90.5	89.5	0.79	0.86	0.89	14.9	1.9	3.8	Y
	1800	1750	215T	5.7	12.5	81	H	89.5	90.0	89.5	0.66	0.77	0.82	30.0	2.1	3.6	Y
30	1200	1175	256T	7	13.5	81	H	89.0	90.0	89.5	0.58	0.69	0.75	44.7	1.7	2.6	Y
	3600	3530	254T	5.6	18	116	G	88.0	89.5	90.2	0.78	0.85	0.87	22.3	2.1	2.9	Y
	1800	1760	254T	8.8	19	116	G	90.0	91.0	91.0	0.64	0.75	0.81	44.8	2.3	2.6	Y
40	3600	3515	256T	6.5	23.5	145	G	88.5	90.0	90.2	0.81	0.87	0.88	29.9	2.1	2.7	Y
	1800	1755	256T	11	25	145	G	91.5	91.5	91.0	0.66	0.77	0.79	59.8	2.2	2.5	Y

Figura 47: Características de motores eléctricos trifásicos de la marca SIEMENS.

Fuente: Catalogo general SDO3 2007.

De acuerdo a la potencia de arrastre transmitida por el impulsor (3122.7 W), según las características que se aprecian en la figura 47, se selecciona los parámetros del motor eléctrico a utilizar para el diseño del agitador:

- Potencia (P): 5 HP = 3730 W
- Velocidad síncrona = 1800 rpm
- Velocidad a plena carga = 1735 rpm
- Tensión = 460 V

- Número de polos = 4
- Frecuencia = 60 Hertz
- Eficiencia = 87.5 %
- Factor de potencia = 0.79

De acuerdo a la potencia del motor eléctrico, al tipo, diámetro y velocidad de giro del impulsor, teniendo como referencia la tabla que se aprecia en la figura 43, la cual señala la cantidad de flujo de salmuera que genera cada impulsor según sus características, se considera que el impulsor moverá una cantidad de flujo de salmuera igual a 2400 gal/min (0.15 m³/seg.), estando en condición de obtener una mayor cantidad de flujo de salmuera debido a que el paso del impulsor a utilizar será de 1.0, siendo el desplazamiento longitudinal del fluido de 12 pulgadas (ocasionada por una revolución completa del impulsor), se utilizarán 2 agitadores lo que ayuda a compensará cualquier pérdida debido a la ubicación de dichos agitadores, ya que según el ítem 3.2.4.1 el mínimo flujo de salmuera que debe pasar por los evaporadores debe de ser de 2014 gal/min (0.13 m³/seg.), obteniéndose una buena agitación y un adecuado recirculamiento de dicha salmuera, la cual contribuye en la mejora de la transferencia de calor que se da entre los evaporadores – salmuera, seguidamente salmuera – moldes que contienen agua.

3.3.6 Sistema de transmisión

Para este diseño de agitación se opta por utilizar un sistema de transmisión mediante fajas trapecoidales y poleas, en donde la transmisión se realiza del motor hacia el agitador.

Transmisión por fajas trapecoidales

En esta transmisión se considera la relación de las velocidades, la cual afecta a las dos poleas al mismo tiempo y que está en razón inversa de sus diámetros respectivos. Para la relación de transmisión se tiene las siguientes igualdades:

$$\frac{N}{n} = \frac{D}{d}$$

En dónde:

N: Velocidad angular de la polea conductora.

n: Velocidad angular en la polea conducida.

D: Diámetro exterior de la polea conducida.

d: Diámetro exterior de la polea conductora.

Reemplazando se obtiene una relación de velocidades igual a

$$R_{vel.} = \frac{1735}{860} = 2.017$$

Potencia transmitida

Es la que se hará uso en el diseño, para el cual se calcula la potencia de diseño que es el producto de la potencia del motor eléctrico y el factor de servicio, donde dicho factor está en función al tipo de motor a utilizar, tipo de máquina conducida a accionar y las horas de servicio por día. Debido a que el servicio del motor será continuo, según el ANEXO 06 obtenemos un factor de servicio para agitadores de líquidos (f_s) igual a 1.3

$$P_{dis.} = P * f_s$$

Dónde:

P: potencia nominal del motor eléctrico = 5 HP = 3730 W

Reemplazando:

$$P_{dis.} = 5 * 1.3 = 6.5 \text{ HP}$$

Faja a seleccionar

De acuerdo a la potencia del motor y de sus rpm, 5 HP y 1735 respectivamente, según el siguiente gráfico, se selecciona la faja de sección A.

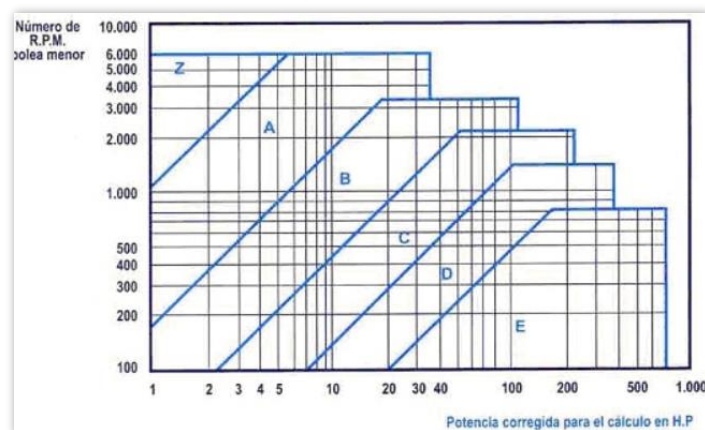


Figura 48: Sección de la correa.

Fuente: (Correas de Transmisión)

3.3.7 Diámetro de poleas

Debido a la potencia y rpm del motor se interpola los valores dados en el ANEXO 07, el cual recomienda que el diámetro exterior mínimo de la polea conductora debe ser de 3 pulg. (76.2 mm), teniendo en cuenta la vida útil de las correas trapezoidales y de los rodamientos del motor eléctrico, para este diseño se selecciona una polea motriz conductora de diámetro exterior igual a 5 pulg. (127 mm).

Para obtener el diámetro exterior de la polea conducida, se reemplaza en la siguiente expresión:

$$D = R_{vel.} * d$$

$$D = 2.017 * 5 \text{ pulg.}$$

$$D = 10.085 \text{ pulg}$$

De acuerdo al ANEXO 08, se selecciona poleas de perfil "A", de diámetro exterior de 5 pulg. y 10 pulg. para polea conductora y conducida respectivamente.

3.3.8 Distancia entre ejes de las poleas

Con la finalidad de optimizar el rendimiento de transmisión, de acuerdo a las experiencias de las empresas fabricantes de fajas trapezoidales, el cálculo de la distancia mínima entre ejes de las poleas se realiza mediante la siguiente expresión:

$$C \geq \frac{(R_{vel.} + 1)d}{2} + d$$

$R_{vel.}$: Relación de velocidades = 2.017

d : diámetro exterior de la polea conductora = 5 pulg.

Reemplazando valores:

$$C \geq \frac{(2.017 + 1) * 5}{2} + 5$$

$$C \geq 12.5425 \text{ pulg.} \geq 318.58 \text{ mm}$$

De acuerdo al cálculo de la distancia mínima entre ejes de las poleas, teniendo en cuenta las condiciones de ubicación, se establece que la distancia entre ejes de las poleas será de 440 mm.

3.3.9 Longitud de la faja

Como la distancia de centros es de 440 mm (17.32 pulg.), entonces se calcula la longitud primitiva de la faja mediante la siguiente ecuación:

$$l = 2C + \frac{\pi}{2}(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C}$$

Dónde:

C: distancia entre ejes de las poleas = 440 mm (17.32 pulg.).

D: diámetro exterior de la polea conducida = 254 mm (10 pulg.)

d: diámetro exterior de la polea conductora = 127 mm (5 pulg.)

Por lo que obtenemos:

$$l = 2 * 440 + \frac{\pi}{2}(254 + 127) + \frac{(254 - 127)^2}{4 * 440}$$

$$l = 1487.64 \text{ mm}$$

De acuerdo al ANEXO 09, se selecciona la correa de sección A – 58, cuya longitud normalizada es equivalente a 1506.22 mm (59.3 pulg)

Por lo cual, nos resulta utilizar correa tipo “V”, A - 58.

3.3.10 Factor de corrección

Habiendo calculado la longitud de la correa se resuelve el factor de corrección del largo de la correa.

Factor por ángulo de contacto

Para hallar este ángulo de contacto de la polea conductora Se hace uso de la siguiente expresión:

$$\frac{D - d}{C}$$

D: diámetro exterior de la polea conducida = 10 pulg.

d: diámetro exterior de la polea conductora = 5 pulg.

C: distancia entre ejes de las poleas = 17.32 pulg.

Reemplazando obtenemos:

$$\frac{10 - 5}{17.32} = 0.29$$

$\frac{D-d}{C}$	θ	K_{θ}	$\frac{D-d}{C}$	θ	K_{θ}
0,00	180°	1,00	0,80	133	0,87
0,10	174	0,99	0,90	127	0,85
0,20	169	0,97	1,00	120	0,82
0,30	163	0,96	1,10	113	0,80
0,40	157	0,94	1,20	106	0,77
0,50	151	0,93	1,30	99	0,73
0,60	145	0,91	1,40	91	0,70
0,70	139	0,89	1,50	83	0,65

Figura 49: Factor por Ángulo de contacto

Interpolando los valores que muestra la tabla de la figura 49, corresponde un factor por ángulo de contacto igual a:

$$\begin{array}{cc} 0.20 & 0.97 \\ 0.29 & x \\ 0.30 & 0.96 \end{array}$$

$$x = 0.961 = K_{\theta}$$

Ángulo de contacto (θ) de la figura 49, de acuerdo al factor de por ángulo de contacto correspondiente, interpolando también se puede determinar el ángulo de contacto:

$$\theta = 163.6^{\circ}$$

Seguidamente se encuentra el factor por longitud de faja (K_L) y se logra mediante la longitud de la correa la cual es de 59.3 pulgadas (faja A-58) y según el ANEXO 09 se obtiene:

$$K_L = 0.97$$

3.3.11 Potencia efectiva por faja

Se determina mediante la siguiente expresión:

$$P_{\text{efec.}} = (P_{\text{permitida}} + P_{\text{adicional}}) * K_{\theta} * K_L$$

Potencia permitida por faja

Esta potencia ($P_{\text{permitida}}$), se determina interpolando los valores de la tabla que proporciona el ANEXO 10, de acuerdo a la polea conductora y considerando las rpm del motor eléctrico (1735 rpm), se determina que la potencia permitida por faja

1600	2.90
1735	x
1800	3.17

$$x = P_{\text{permitida}} = 3.08 \text{ HP}$$

Potencia adicional

Se puede calcular con la ayuda del ANEXO 11, donde según la relación de transmisión y el tipo de sección de faja nos da un valor el cual se multiplica por los rpm del motor y el resultado se divide entre 100.

$$P_{\text{adicional}} = \frac{\text{valor}_{\text{anexo}} * \text{rpm}_{\text{motor}}}{100}$$

$$P_{\text{adicional}} = \frac{0.01618 * 1735}{100} = 0.281$$

Reemplazando los valores obtenemos que la potencia por faja es igual a:

$$P_{\text{efec.}} = (3.08 + 0.281) * 0.961 * 0.97$$

$$P_{\text{efec.}} = 3.13 \text{ HP}$$

3.3.12 Número de fajas a utilizar

$$N_{\text{fajas}} = \frac{P_{\text{dis.}}}{P_{\text{efec.}}}$$

Entonces tenemos:

$$N_{\text{fajas}} = \frac{6.5 \text{ HP}}{3.13 \text{ HP}} = 2.08$$

Por lo cual se utilizará 2 fajas.

De acuerdo a los cálculos realizados, se trabajará con poleas de perfil “A” de dos canales trapezoidales, cuyos diámetros exteriores son de 5 pulg. y 10 pulg. para polea conductora y conducida respectivamente, y 2 fajas tipo “V”, A - 58.

3.3.13 Cálculos de fuerzas cortantes y de momentos

Diagrama del eje del agitador mecánico con sus componentes.

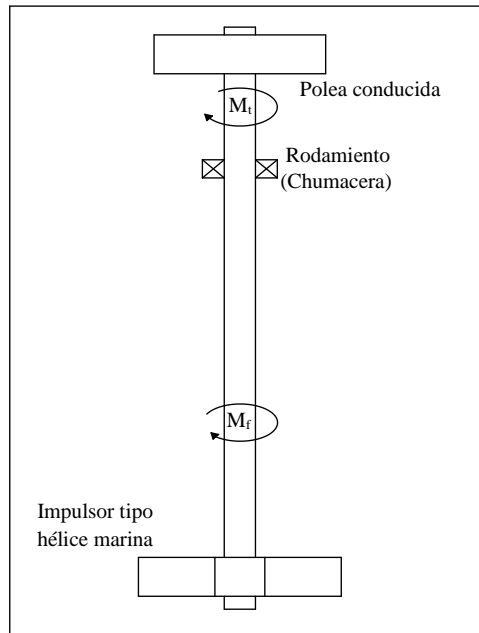


Figura 50: Eje del agitador mecánico.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.13.1 Momento torsor

Calcular este momento es de mucha importancia, ya que contribuye con la ayuda para determinar el diámetro del eje, para el cual se utilizará la ecuación [13]:

$$P = M_t \omega = M_t (2\pi * n/60)$$

Dónde:

ω : Velocidad angular, (rad/s).

M_t : Momento torsor (torque) en el eje de transmisión, (N.m).

P: Potencia del motor, (W).

n: velocidad angular del eje del impulsor

Tenemos los siguientes datos:

$$P = 3730 \text{ W (5 HP)}$$

$$n = 860 \text{ rpm}$$

Obteniendo el momento de torsión en el eje:

$$P = M_t \left(\frac{2\pi n}{60} \right)$$

$$\frac{3730}{\left(\frac{2\pi * 860}{60} \right)} = M_t$$

$$M_t = 41.42 \text{ N.m}$$

Debido a que el eje propulsor se analizará en los planos xy, xz, a continuación se realizará el cálculo de las fuerzas que actúan en el sistema (Fuerza que ejerce la salmuera, fuerzas tangenciales, radiales; así como las reacciones del rodamiento (chumacera)).

3.3.13.2 Fuerza que ejerce la salmuera

Para encontrar esta fuerza (F_{salmuera}), es necesario primero calcular la presión que ejerce la salmuera en el área de agitación.

En el sistema de agitación de la poza, se encuentra un túnel rectangular (túnel de agitación) llena de salmuera la cual será movida por el impulsor, la altura de dicho túnel es de 0.6 m. Entonces la presión que ejerce la salmuera es igual a:

$$p = \rho * g * h$$

Dónde:

p: presión que ejerce la salmuera, en (Pa).

ρ : Densidad de la salmuera, en (kg/m^3).

g: Aceleración de la gravedad, en (m/s^2).

h: Altura del túnel, en (m).

Obteniéndose la presión igual a:

$$p = 1190 * 9.81 * 0.6$$

$$p = 7004.34 \text{ Pa}$$

La fuerza que ejerce la salmuera está en función a la presión de esta y al área del impulsor que es al que afecta directamente, por lo que se tiene:

$$F_{\text{salmuera}} = p * A$$

Dónde:

$$A: \text{Área superficial del impulsor} = 2 * \pi * r * (r + h)$$

r: radio del impulsor = 0.1525 m.

h: altura del impulsor = 0.06 m.

$$A = 2 * \pi * 0.1525 * (0.1525 + 0.06)$$

$$A = 0.204 \text{ m}^2$$

Reemplazando, se obtiene la fuerza que ejerce la salmuera sobre el impulsor, la cual afectará al eje del agitador:

$$F_{\text{salmuera}} = 7004.34 \text{ Pa} * 0.204 \text{ m}^2$$

$$F_{\text{salmuera}} = 1428.89 \text{ N}$$

3.3.13.3 Fuerza tangencial en la polea conducida

Fuerza que se genera en la polea conducida, la cual se determina mediante la ecuación [14]:

$$M_t = r * F_t$$

Dónde:

F_{tp} : Fuerza tangencial en la polea conducida.

M_t : Momento torsor = 41.42 N.m

r_p : Radio de la polea conducida = 0.127 m.

Reemplazando obtenemos:

$$F_{tp} = \frac{M_t}{r_p}$$

$$F_{tp} = \frac{41.42 \text{ N.m}}{0.127 \text{ m}} = 326.14 \text{ N}$$

3.3.13.4 Fuerza tangencial que actúa en el impulsor

F_{ti} : Fuerza tangencial en el impulsor.

M_t : Momento torsor = 41.42 N.m

r_i : Radio del impulsor = 0.1525 m.

Como el momento torsor es el mismo entonces se obtiene una fuerza tangencial igual a:

$$F_{ti} = \frac{41.42 \text{ N.m}}{0.1525 \text{ m}} = 271.61 \text{ N}$$

3.3.13.5 Cálculo de fuerzas radiales

Fuerza resultante en la polea conducida

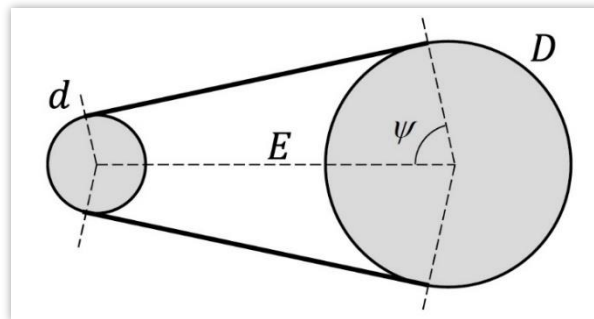


Figura 51: Transmisión por correas.

Fuente: (Mikel, y otros, p. 13)

Se calcularán las tensiones que se genera debido a las fajas, teniendo en cuenta que se trabajará con fajas trapecoidales o tipo “V”.

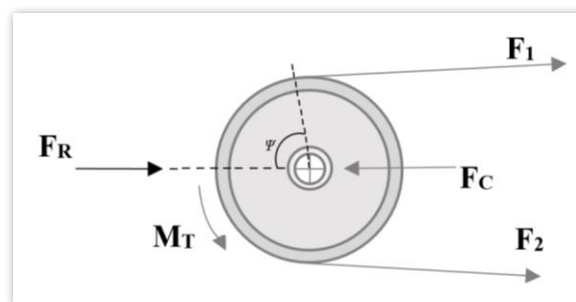


Figura 52: Fuerzas debidas a la tensión de los ramales de la correa.

De la figura 52, se detallan a continuación las fuerzas que actúan en la polea.

Dónde:

F_1 : Tensión mayor.

F_2 : Tensión menor.

F_C : Tensión centrífuga.

F_R : Tensión resultante que afecta al eje propulsor debido a las tensiones de las fajas de tipo “V” que se generan debido a la potencia y rpm del motor eléctrico.

Dónde:

$$F_R = [(F_1 + F_2) * \cos(90^\circ - \psi)] * N_{fajas} \quad [a]$$

Fuente: (Mikel, y otros, p. 24)

N_{fajas} : Número de fajas a utilizar.

A demás:

$$\psi = \cos^{-1} \left(\frac{D - d}{2C} \right) \quad [b]$$

Fuente: (Mikel, y otros, p. 13)

D: Diámetro exterior de la polea conducida, en (mm).

d: diámetro exterior de la polea conductora, en (mm).

C: distancia entre ejes de las poleas, en (mm).

Primero se debe calcular las tensiones que actúan en la polea debido a las fajas por lo cual, para calcular la tensión mayor (F_1), se usa la siguiente ecuación:

$$F_1 = F_C + \frac{\Delta F * \exp(f\phi)}{\exp(f\phi) - 1} \quad [c]$$

(Budynas y Nisbett, 2008, p. 883)

Dónde:

F_C : Tensión centrífuga.

ΔF : Variación de tensiones.

ϕ : Ángulo de cobertura = Ángulo de contacto con respecto a la polea conductora (θ_d).

$\exp(f\phi) = \exp(0.5123(\phi))$, siendo 0.5123 el coeficiente de fricción efectivo, según (La Gates Rubber Company).

Para los siguientes cálculos se considera la velocidad a plena carga del motor, es decir, $N = 1735$ rpm

A continuación se calcula la tensión centrífuga, mediante la siguiente ecuación:

$$F_C = K_C \left(\frac{V}{1000} \right)^2 \quad [d]$$

(Budynas y Nisbett, 2008, p. 881)

Dónde:

K_C : parámetro para fajas de tipo “V”, según la sección de dicha faja a utilizar. Como la sección de faja es A, con la ayuda del ANEXO 12, corresponde un $K_C = 0.561$

V : velocidad periférica de la faja trapezoidal, la cual es igual a:

$$V = \frac{\pi * d * N}{12} \quad \left(\frac{\text{pie}}{\text{min}} \right)$$

d : diámetro exterior de la polea conductora (5 pulg.).

N : rpm de la polea conductora (1735 rpm).

$$V = \frac{\pi * 5 * 1735}{12} = 2271.11 \frac{\text{pie}}{\text{min.}} = 11.54 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Obteniéndose la tensión centrífuga igual a: [d]

$$F_C = 0.561 \left(\frac{2271.11}{1000} \right)^2$$

$$F_C = 2.894 \text{ lbf} = 13 \text{ N}$$

Diferencias de tensiones (ΔF), se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta F = \frac{63025 * \frac{P_{\text{dis.}}}{N_{\text{fajas}}}}{N \left(\frac{d}{2} \right)}$$

Dónde:

P_{dis} : Potencia de diseño = 6.5 HP.

N_{fajas} : Número de fajas a utilizar = 2

N : rpm de la polea conductora = 1735

d : diámetro exterior de la polea conductora = 5 pulg.

$$\Delta F = \frac{63025 * \frac{6.5}{2}}{1735 \left(\frac{5}{2}\right)} = 47.22 \text{ lbf} = 210 \text{ N}$$

Ángulo de cobertura (\emptyset):

Este ángulo de cobertura es igual al ángulo de contacto de la polea conductora (θ_d), por lo cual:

$$\emptyset = \theta_d = \pi - 2 \text{sen}^{-1} \left(\frac{D - d}{2C} \right)$$

(Budynas y Nisbett, 2008, p. 863)

Dónde:

D : Diámetro exterior de la polea conducida (10 pulg.)

d : diámetro exterior de la polea conductora (5 pulg.)

C : distancia entre ejes de las poleas (17.32 pulg.), según Budynas y Nisbett autores del libro titulado “Diseño en ingeniería mecánica de shigley”, señala que para este cálculo,

$\left(\frac{D - d}{2C}\right)$, se debe expresar en radianes.

Reemplazando se obtiene:

$$\emptyset = \theta_d = \pi - 2 \text{sen}^{-1} \left(\frac{\left(\frac{10 - 5}{2 * 17.32}\right) * \pi}{180} \right)$$

$$\emptyset = \theta_d = 2.853 \text{ rad}$$

$$\phi = \theta_d = 2.853 \text{ rad} \left(\frac{180}{\pi} \right) = 163.5^\circ$$

Entonces:

$$\exp(f\phi) = \exp(0.5123(\phi))$$

$$\exp(f\phi) = \exp(0.5123(2.853)) = 4.313$$

Entonces la tensión mayor (F_1), es: [c]

$$F_1 = 2.894 \text{ lbf} + \frac{47.22 \text{ lbf} * 4.313}{4.313 - 1}$$

$$F_1 = 64.37 \text{ lbf} = 286.33 \text{ N}$$

La tensión menor (F_2) es igual:

$$F_2 = F_1 - \Delta F$$

$$F_2 = 76.33 \text{ N}$$

Reemplazando en [b], obtenemos:

$$\psi = \cos^{-1} \left(\frac{254 - 127}{2 * 440} \right) = 81.7^\circ$$

Reemplazando en la ecuación [a], se obtiene la tensión resultante que actuará sobre la polea conducida y por ende en el eje del agitador:

$$F_R = [(286.33 + 76.33) * \cos(90^\circ - 81.7^\circ)] * 2$$

$$F_R = 717.72 \text{ N}$$

3.3.13.6 Sumatoria de fuerzas y momentos

Según las dimensiones de la poza de salmuera, se determina que el eje del agitador tendrá una longitud igual a 1.16 m.

Diagrama de cuerpo libre del eje del agitador con sus respectivas fuerzas anteriormente calculadas.

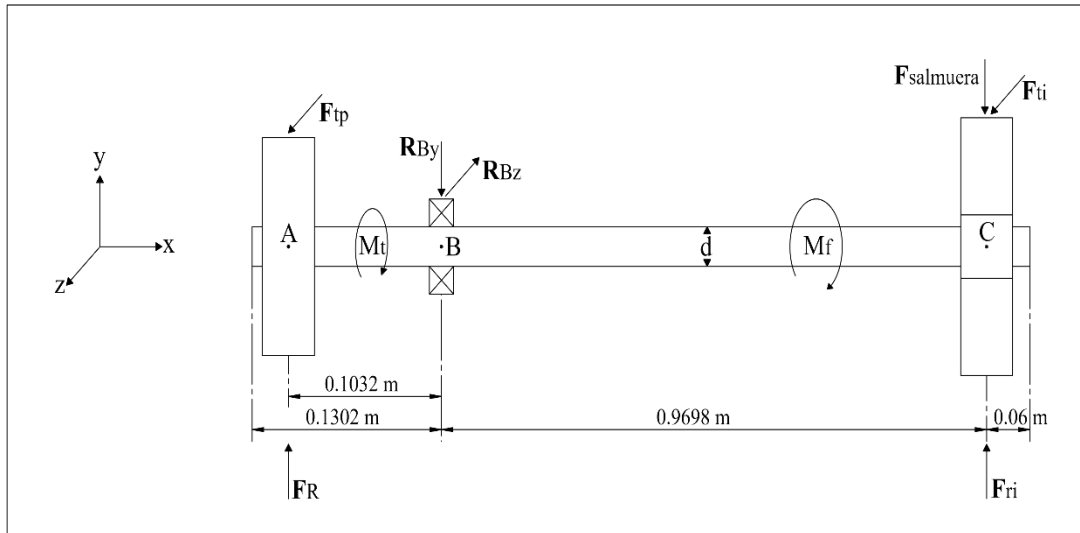


Figura 53: Diagrama de cuerpo libre del eje del agitador (horizontal).

Fuente: Elaboración Propia.

Plano xy

Con el diagrama de cuerpo libre que se aprecia en la figura 53, se realiza la sumatorias de fuerzas en el eje y.

$$\sum F_y = 0$$

$$F_R - R_{By} - F_{salmuera} + F_{ri} = 0$$

$$F_R - F_{salmuera} = R_{By} - F_{ri}$$

$$717.72 \text{ N} - 1428.89 \text{ N} = R_{By} - F_{ri}$$

$$-711.17 \text{ N} = R_{By} - F_{ri} \quad (i)$$

Sumatoria de momentos en el punto B:

$$\sum M_B = 0$$

$$-(F_R * 0.1032 \text{ m}) - (F_{\text{salmuera}} * 0.9698 \text{ m}) + (F_{ri} * 0.9698 \text{ m}) = 0$$

$$-(717.72 \text{ N} * 0.1032 \text{ m}) - (1428.89 \text{ N} * 0.9698 \text{ m}) + (F_{ri} * 0.9698 \text{ m}) = 0$$

$$-74.07 \text{ N} \cdot \text{m} - 1385.74 \text{ N} \cdot \text{m} + (F_{ri} * 0.9698 \text{ m}) = 0$$

$$F_{ri} = 1505.27 \text{ N}$$

Reemplazando en (i):

$$R_{By} = 794.1 \text{ N}$$

Plano xz:

$$\sum F_z = 0$$

$$F_{tp} - R_{Bz} + F_{ti} = 0$$

$$326.14 \text{ N} - R_{Bz} + 271.61 \text{ N} = 0$$

$$R_{Bz} = 597.75 \text{ N}$$

3.3.13.7 Diagramas de fuerzas cortantes y de momentos

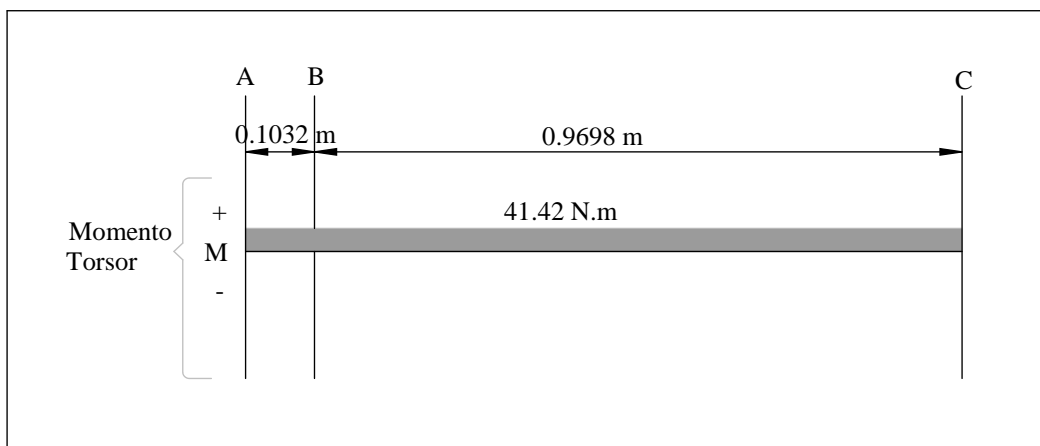


Figura 54: Diagrama del momento torsor.

Fuente: Elaboración propia.

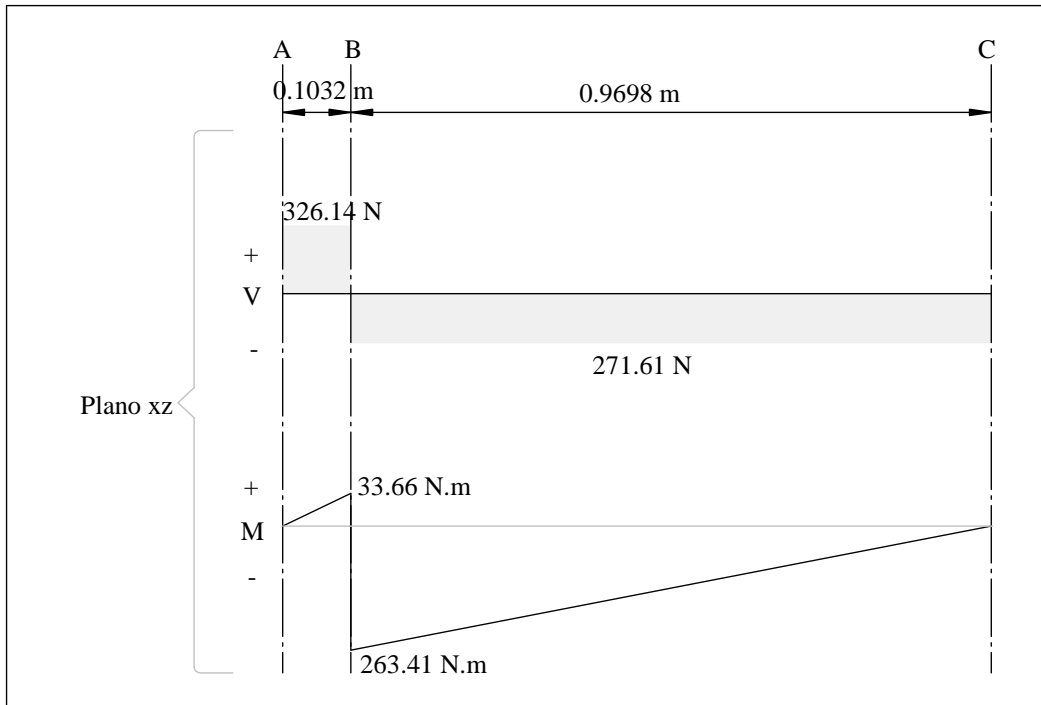


Figura 55: Diagrama de fuerzas cortantes y momento flector (menor y mayor), en el plano xz.

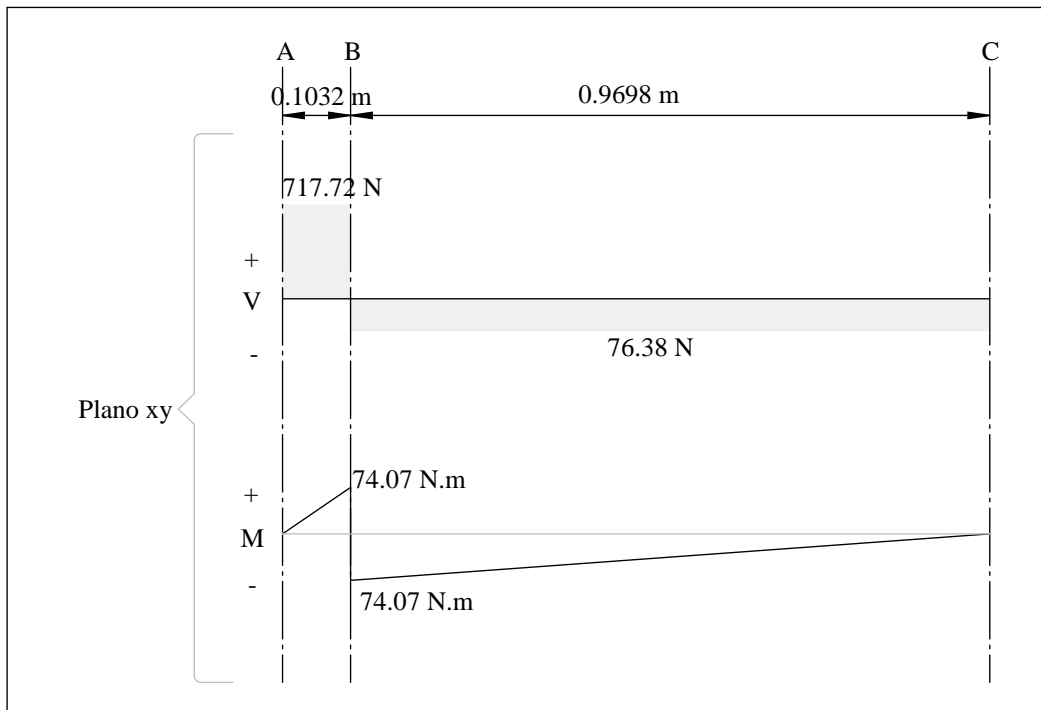


Figura 56: Diagrama de fuerzas cortantes y momento flector (menor y mayor), en el plano xy.

Fuente: Elaboración Propia.

3.3.13.8 Momentos resultantes

Se determina mediante los momentos obtenidos anteriormente en el punto B en los dos planos.

$$M_R = \sqrt{\underbrace{(M)^2}_{\text{Plano } x} + \underbrace{(M)^2}_{\text{Plano } xy}}$$

Momento flector resultante (menor):

$$M_{f_{\text{menor}}} = \sqrt{(33.66)^2 + (74.07)^2}$$
$$M_{f_{\text{menor}}} = 81.36 \text{ N.m}$$

Momento flector resultante (mayor):

$$M_{f_{\text{mayor}}} = \sqrt{(-263.41)^2 + (-74.07)^2}$$
$$M_{f_{\text{mayor}}} = 273.63 \text{ N.m}$$

Para determinar el diámetro del eje, se trabajará con el momento flector mayor y el momento torsor que se generan en el eje propulsor.

$$M_{f_{\text{mayor}}} = 273.63 \text{ N.m}$$
$$M_{\text{torsor}} = 41.42 \text{ N.m}$$

3.3.14 Cálculo del diámetro del eje del agitador

Para este cálculo se toma como modelo a seguir capítulos del libro titulado “**DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS**” 4^{ta} edición, cuyo autor es, Robert L. Mott, P.E.

Para poder realizar el cálculo del diámetro del eje se considera que el límite de resistencia a la fatiga debe de ser el 60 % de la resistencia a la tensión del material a utilizar.

El eje estará en contacto con la salmuera que trabaja a temperaturas bajo 0°C, por tal motivo se elige el material Acero inoxidable AISI 316 ya que tiene una buena resistencia a la corrosión, lo que permite emplearlos en medios agresivos. De acuerdo al ANEXO 13, este tipo de material tiene una resistencia de fluencia (S_y) = 240 MPa, una resistencia a la tensión (S_u) = 552 MPa

El límite de resistencia a la fatiga (S_n) es:

$$S_n = S_u * 60\%$$

$$S_n = 552 * 60\%$$

$$S_n = 331.2\text{MPa}$$

El cálculo del diámetro del eje del agitador se determinará haciendo uso de la ecuación [15], (Robert L. Mott).

$$d = \left[\frac{32n_f}{\pi} \sqrt{\left[\frac{k_t M}{S'_n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Dónde:

d: Diámetro de eje. (m)

n_f : Factor de seguridad estimado.

k_t : Factor de concentración del esfuerzo por fatiga de la flexión.

M: Momento flector resultante. (N.m)

T: Momento torsor. (N.m)

S_y : Resistencia de fluencia. (MPa)

S'_n : Resistencia a la fatiga modificada. (MPa)

El factor de seguridad (n), también está en relación de la resistencia de fluencia del material (S_y) y su esfuerzo permisible ($\sigma_{\text{permisible}}$), considerando que dicho esfuerzo, tanto para tensión, compresión y flexión debe ser el 60% de S_y .

$$\sigma_{\text{permisible}} = S_y * 60 \%$$

$$\sigma_{\text{permisible}} = 240 * 0.6 = 144 \text{ MPa}$$

Por lo tanto se obtiene un factor de seguridad mínimo igual a:

$$n = \frac{240 \text{ MPa}}{144 \text{ MPa}} = 1.67$$

Resistencia a la fatiga modificada:

Ecuación [16]

$$S'_n = S_n * C_m * C_{st} * C_R * C_S$$

Dónde:

$$S_n = 331.2 \text{ MPa}$$

C_m : Factor del material, dependiente de la calidad del acabado y de la resistencia a la tensión, el cálculo de dicho factor se realiza con la ayuda del libro titulado “**Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley**”, 8^{va} edición cuyos autores son, Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett.

$$k_a = aS_u^b = C_m$$

(Budynas y Nisbett, 2008, p. 280)

Dónde:

S_u : resistencia a la tensión del material a utilizar.

a y b : es un factor y un exponente respectivamente, que se determinan teniendo en cuenta el acabado superficial, dicha determinación las proporciona la tabla “**parámetros en el factor de la condición superficial de Marín**”, la cual se puede apreciar en el ANEXO 14.

Corresponde:

$a = 4.51$, $b = -0.265$, reemplazando los datos se obtiene el k_a :

$$k_a = 4.51 * 552^{-0.265}$$

$$k_a = 0.846 = C_m$$

C_{st} : Factor de Carga, para esfuerzo flexionante el $C_{st} = 1$

C_R : Para la confiabilidad deseada (99.9 %), corresponde $C_R = 0.75$, ANEXO 15

C_S : Factor modificador de tamaño, debido a que no se conoce el diámetro del eje se considera este factor igual a 0.9

Quedando la resistencia a la fatiga modificada:

$$S'_n = (331.2 \text{ MPa})(0.846)(0.75)(0.9) = 189.132 \text{ MPa}$$

Reemplazando en la ecuación [15], el diámetro del eje es:

$$d = \left[\frac{32 * 1.67}{\pi} \sqrt{\left[\frac{1.5 * 273.63}{189.132 * 10^6} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{41.42}{240 * 10^6} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0.0333 \text{ m}$$

Se opta por estandarizar el diámetro del eje, por lo cual se trabajará con el diámetro del eje igual a 35 mm.

3.3.15 Cálculos de esfuerzos a los que se somete el eje propulsor

En este caso, la torsión es constante y el esfuerzo flexionante es completamente reversible por lo que el momento flector medio (M_m) y el momento torsor alternante (T_a) son iguales a cero.

Esfuerzo flector alternante

Para este cálculo se hará uso de la ecuación [17]

$$\sigma'_a = \left[\left(\frac{32 * k_t * M_{\text{flector}}}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma'_a = \frac{32 * k_t * M_{\text{flector}}}{\pi d^3}$$

$$\sigma'_a = \frac{32 * 1.5 * 273.63}{\pi (0.035)^3} = 97.51 \text{ MPa}$$

Esfuerzo cortante medio

Se hará uso de la ecuación [18]

$$\sigma'_m = \left[3 \left(\frac{16 * M_t}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma'_m = \left[3 \left(\frac{16 * 41.42}{\pi (0.035)^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 8.52 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad contra la fluencia

Para verificar la fluencia, se calcula el factor de seguridad, el cual resulta de la relación de la resistencia a la fluencia del material a utilizar y el esfuerzo máximo.

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma'_{\text{máx.}}} = \frac{S_y}{\sigma'_a + \sigma'_m}$$

$$n_y = \frac{240 \text{ MPa}}{97.51 \text{ MPa} + 8.52 \text{ MPa}} = 2.3 \quad \text{ok}$$

3.3.16 Carga sometida al rodamiento de la chumacera

Para este cálculo se toma en cuenta los elementos que en conjunto forman el agitador, es decir polea conducida, impulsor tipo hélice, eje.

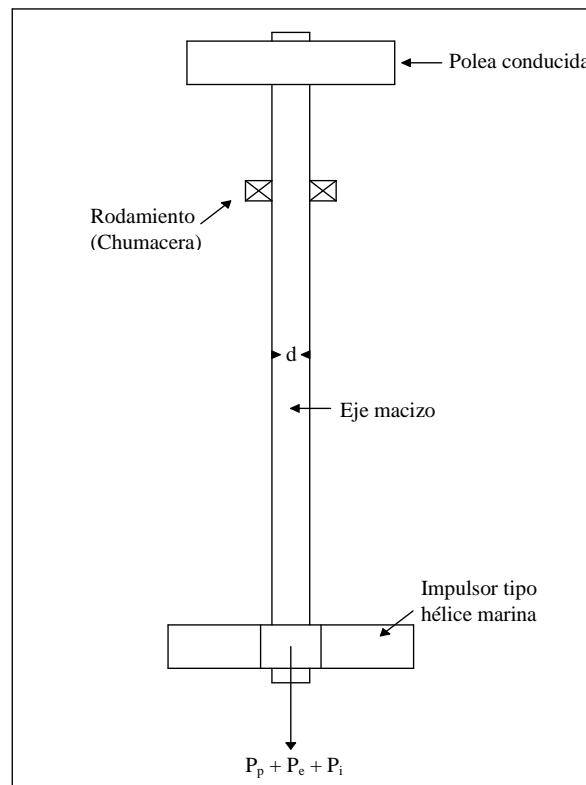


Figura 57: Cargas mecánicas del agitador.

Fuente: Elaboración Propia.

La chumacera es la que debe resistir la carga total generado por los elementos antes mencionado, a continuación se determinan las cargas independientemente:

Carga de la polea conducida (P_p):

El material de la polea es Aluminio, aplicando este tipo de material con las dimensiones de la polea conducida en el software de simulación y diseño (CAD), obtenemos:

Masa = 3.85 kg.

$$\rho = 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

g: aceleración de la gravedad = 9.81 m/s²

$$P_p = m_p * g$$

$$P_p = 3.85 * 9.81$$

$$P_p = 37.77 \text{ N}$$

Carga del impulsor tipo hélice (P_i):

El material del impulsor es bronce, debido a que estará en contacto con salmuera y debido a que debe lograr que dicho fluido circule por la poza, aplicando este tipo de material con las dimensiones del impulsor tipo hélice en el software de simulación y diseño, obtenemos:

Masa = 6.85 kg.

$$\rho = 8300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

g: aceleración de la gravedad = 9.81 m/s²

$$P_i = m_i * g$$

$$P_i = 6.85 * 9.81$$

$$P_i = 67.2 \text{ N}$$

Carga del eje (P_e):

Debido que el eje estará en contacto con salmuera, el material del eje es ACERO AISI 316, con las dimensiones del eje antes calculadas y el material de este, al aplicarlos en el software de simulación y diseño, obtenemos:

Masa = 8.89 kg.

$$\rho = 8000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

g: aceleración de la gravedad = 9.81 m/s²

$$P_e = m_e * g$$

$$P_e = 8.89 * 9.81$$

$$P_e = 87.21 \text{ N}$$

Por lo que la carga total es igual a:

$$P_t = P_p + P_i + P_e$$

$$P_t = 37.77 + 67.2 + 87.21$$

$$P_t = 192.18 \text{ N}$$

Se debe tener en cuenta que parte del eje y el impulsor estarán sumergido en el fluido, por lo que el peso de estos no será el mismo, pero esto se obviará por lo que se considerará el peso total (P_t).

3.3.17 Cálculos para el rodamiento de la chumacera

Para esta selección se sabe que el rodamiento estará montado en el eje de diámetro “d”, motivo por el cual se deben tener en cuenta el diámetro del eje, la velocidad angular a la que gira la polea conducida, tiempo de vida y la confiabilidad. Por lo que tenemos:

$$d = 35 \text{ mm}$$

$$n = 860 \text{ rpm}$$

Debido a que el agitador debe trabajar el tiempo el que dura el proceso y como dicho proceso es continuo, se considera el tiempo de vida del rodamiento (chumacera) igual a 1 año, por lo que se tiene:

Tiempo de vida = 1 año (24horas/día)

La confiabilidad será de 90 %.

Se realiza los siguientes cálculos del rodamiento de tipo bola en función del índice básico de carga, con la siguiente ecuación:

$$L = \left(\frac{C}{p_{\text{rod.}}} \right)^3 \quad (\text{ii})$$

Dónde:

L: Índice básico de vida (10^6 rev).

$p_{\text{rod.}}$: Carga del rodamiento, en Newton.

C: Capacidad de carga dinámica, en Newton.

Carga del rodamiento

Es la carga resultante que hay entre la reacción que genera el rodamiento en el eje “y” y la carga total de los elementos que en conjunto forman el agitador mecánico.

$$p_{\text{rod.}} = \sqrt{R_{By}^2 + P_t^2}$$

$$R_{By} = 794.1 \text{ N}$$

$$P_t = 192.18 \text{ N}$$

$$p_{\text{rod.}} = 817.02 \text{ N}$$

Índice básico de vida

Está en función a las rpm que girará el rodamiento.

$$L = \text{tiempo de vida} * \text{rpm}$$

$$L = 24 \frac{\text{h}}{\text{día}} * 365 \text{ días} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} * 860 \text{ rpm}$$

$$L = 452.016 * 10^6 \text{ rev}$$

Despejando de la ecuación (ii), obtenemos la capacidad de carga dinámica:

$$C = \sqrt[3]{L} * p_{rod.}$$

$$C = \sqrt[3]{452.016} * 817.02 \text{ N}$$

$$C = 6270.24 \text{ N}$$

Se opta por utilizar chumacera tipo brida cuadrada con tornillo de fijación (prisionero) – NTN UCF207D1, rodamiento de bolas UC207D1 cuya capacidad de carga se puede apreciar en el ANEXO 17.

3.3.18 Cálculo de cuñas

Para las cuñas se utilizará el mismo material del eje propulsor, es decir ACERO A.I.S.I 316, cuya resistencia de fluencia (S_y) es 240 MPa.

El momento torsor que se genera en el eje propulsor se calculó en el ítem 3.3.13.1

$$T = M_t = 41.42 \text{ N.m}$$

3.3.18.1 Longitud de la cuña

Se calcula la longitud mínima de la cuña del eje-polea conducida y eje-impulsor, las cuñas serán iguales debido a que el eje es de un solo diámetro.

El cálculo de la longitud mínima de la cuña se realiza mediante:

$$l \geq \frac{2 * M_t}{\tau_d * d * W} \quad (\text{iii})$$

Dónde:

$M_t = T$: par torsor.

d: Diámetro del eje propulsor.

W: Ancho de la cuña.

Se opta por utilizar cuñas de sección cuadrada y teniendo en cuenta el diámetro del eje propulsor, de acuerdo al ANEXO 18 la sección de la cuña es de 9.525*9.525mm (3/8 *3/8 pulg).

τ_d : Tensión de diseño por esfuerzo de corte.

$$\tau_d = 0.5 \left(\frac{S_y}{n_s} \right)$$

Quedando la ecuación (iii)

$$l \geq \frac{2 * M_t * n_s}{0.5(S_y) * d * W}$$

$$M_t = 41.42 \text{ N.m}$$

n_s : factor de seguridad = 3

S_y : Esfuerzo de fluencia del Acero A.I.S.I 316 = 240 MPa

$$d = 0.035 \text{ m}$$

$$W = 0.009525 \text{ m}$$

Reemplazando:

$$l \geq \frac{2 * 41.42 \text{ N. m} * 3}{0.5(240 \text{ MPa}) * 0.035 \text{ m} * 0.00953 \text{ m}}$$

$$l \geq 0.00621 \text{ m}$$

$$l \geq 6.21 \text{ mm}$$

Finalmente se concluye que las cuñas del eje de agitador y el impulsor; eje de agitador y la polea conducida serán de sección cuadrada de 9.525mm* 9.525mm (3/8*3/8 pulg.) y con una longitud de 40 mm.

Debido a la sección cuadrada de las cuñas y sus medidas, los cuneros serán de 9.525*4.7625 mm (3/8*3/16 pulg), longitud de 40 mm.

3.3.19 Soporte del agitador

Cada agitador será montado en un soporte con el mismo diseño con el que cuenta actualmente la planta, lo que variará será en el tipo de material de dicho elemento mecánico (ACERO A.I.S.I 316), en la parte superior de dicho soporte se empernará la chumacera, en la cual descansará el peso del agitador, el diseño de este soporte contribuye a que la salmuera ingrese al área de agitación (túnel de agitación) con mayor facilidad gracias a las aletas que se ubican en la parte inferior del eje del soporte.

Se utilizará una empaquetadura de jebe y lona de 1/8 pulg. de espesor, que será ubicada entre la estructura cuadrada (ubicada en la cubierta del sistema de agitación) y el soporte del agitador, los cuales se unirán mediante pernos y tuercas, el propósito de utilizar esta empaquetadura es proteger al agitador de la vibración y evitar que la salmuera fugue por esta zona. (En los planos, ver dibujos 05 y 06)

3.3.20 Sistema eléctrico para los agitadores mecánicos

Actualmente en la fábrica se cuenta con sistema eléctrico para los motores del sistema de agitación, por lo cual se tomará en cuenta algunos materiales para instalación eléctrica de los motores, como por ejemplo tableros industriales, etc.

El arranque de los motores seguirá siendo el mismo, es decir los motores eléctricos del sistema de agitación funcionaran a través de arranques directos.

3.3.20.1 Cálculos de los equipos de protección para el sistema eléctrico de los agitadores mecánicos

Debido a que los motores son accionados por arranques directos, se realizarán los cálculos de capacidad de corriente para los equipos de protección, es decir del guardamotor, contactor, relé térmico y también del conductor eléctrico.

Parámetros eléctricos del motor:

Considerando la eficiencia y el factor de potencia del motor eléctrico, de acuerdo a su potencia, rpm y teniendo en cuenta la tensión con la que se trabaja en la planta, con la ayuda de la tabla que proporciona la figura 47, se tiene:

P: Potencia del motor = 5 HP = 3730 W

V: Tensión de trabajo en la planta= 440 V

η : Eficiencia = 87.5%

Factor de potencia = 0.79

Tipo de red = trifásica

Cálculo de la corriente nominal del motor eléctrico:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \eta * \cos \varphi}$$

$$I_N = \frac{3730 \text{ W}}{\sqrt{3} * 440 \text{ V} * 0.875 * 0.79} = 7.1 \text{ Amp.}$$

Interruptor termomagnético general

Debido a que se utilizarán 2 motores eléctricos y la corriente nominal de cada motor es de 7.1 A, se elige un interruptor termomagnético A9F74320 - Schneider electric. El cual se utilizará como interruptor termomagnético general para el circuito de fuerza de los arranques de los motores eléctricos.

Cálculos para la selección del guardamotor

El guardamotor es un dispositivo diseñado especialmente para la proteger a los motores eléctricos, su diseño brinda al dispositivo una curva de disparo que lo hace más robusto frente a las sobre intensidades en los arranques de los motores.

La selección del guardamotor está en función a la corriente nominal del motor, por lo que se cree conveniente utilizar un guardamotor magneto-térmico de coordinación tipo 1 (Schneider electric) los cuales trabajan con regulación de corriente, este dispositivo ha sido diseñado para la protección contra cortocircuitos y sobrecargas, debido a que cumple también la función de un relé térmico, es decir protegen a los motores eléctricos de las sobrecargas, las cuales se hacen presente a través de un aumento de la corriente absorbida por dichos motores y a través de ciertos efectos térmicos.

Índice de regulación mínimo

$$I_{\min.} = I_N * 0.80$$

$$I_{\min.} = 5.7 \text{ Amp.}$$

Índice de regulación máximo

$$I_{\max.} = \frac{I_N}{0.80}$$

$$I_{\max.} = 8.9 \text{ Amp.}$$

Debido a la corriente nominal del motor, se concluye utilizar el guardamotor magneto-térmico GV2ME14, cuya regulación de corriente de trabajo es de 6 a 10 Amp. La corriente nominal debe ser ubicada en el punto medio de la amplitud comprendida entre el índice mínimo y máximo de regulación.



Figura 58: Guardamotor magneto-térmico.

Debido a que se trabajará con un guardamotore magneto-térmico, es necesario el uso de contactos auxiliares laterales (abiertos y cerrados), por lo que se opta por elegir a los contactos auxiliares GVAN11 de la marca Schneider electric



Figura 59: Contactos auxiliares NA y NC (GVAN11)

Contactor electromagnético

Dispositivo mecánico de conexión, contralado a través de un electroimán, su funcionamiento es del todo o nada; al energizar la bobina del contactor, los contactos cambian de posición. Su selección está en base a la corriente nominal del motor eléctrico.

$$I_c = f_s * I_N$$

f_s : factor de seguridad para contactores electromagnéticos = 1.15.

Obteniéndose:

$$I_c = 8.2 \text{ Amp.}$$

Se utilizará un contactor tripolar (LC1D09M7) - Schneider electric, cuya corriente de trabajo es de 9 Amp.



Figura 60: Contactor electromagnético.

Conductor eléctrico

Cálculo de la corriente de carga que debe de soportar el conductor eléctrico:

$$I_{\text{cable}} = I_N * 1.25$$

$$I_{\text{cable}} = 8.9 \text{ Amp.}$$

Debido a que los conductores irán en tubos y a la temperatura a la que estarán expuestos, teniendo en cuenta la caída de tensión debido a la longitud de instalación se opta por utilizar conductores de tipo THW-90 (mm²), el cual tiene una buena resistencia dieléctrica, resistencia a la humedad, productos químicos, grasas y al calor, es retardante a la llama. Se opta por utilizar un conductor de 2.5 mm² de calibre, el cual soporta la capacidad de corriente (I_s) de 27 Amp. (ANEXO 19)

Cálculo por capacidad de corriente (C_I):

Capacidad de corriente que puede soportar el conductor eléctrico elegido, teniendo en cuenta la temperatura ambiente de trabajo y a la cantidad de conductores que irán en el tubo. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$C_I = I_S * F_T * F_A$$

Dónde:

I_s : Capacidad de corriente que soporta el conductor eléctrico = 27 A

F_T : Factor de corrección para temperatura ambiente, se considera la temperatura ambiente superior a los 30°C, por cual según el ANEXO 20 nos corresponde este factor de corrección igual a 0.88.

F_A : Factor de corrección para agrupamiento de conductores en tubos. Por el interior del tubo pasarán 4 conductores de tipo THW-90 (2.5 mm²), 3 de alimentación y 1 de protección a tierra, de acuerdo al ANEXO 21 este factor de corrección es igual a 0.80.

Reemplazando obtenemos:

$$C_1 = 27 \text{ A} * 0.88 * 0.80 = 19 \text{ A}$$

Caída de tensión

La caída de tensión máxima permitida, es el 3% de la tensión de línea.

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * \rho * I * L * \cos\phi}{S}$$

Dónde:

ρ : Resistividad del material del conductor, (cobre = 0.0171 $\frac{\Omega * \text{mm}^2}{\text{m}}$)

I : Corriente nominal = 7.1 Amp.

L : longitud de la instalación = 20 m

$\cos\phi = 0.79$

S : Sección del conductor en mm², según el ANEXO 19, la sección del conductor THW-90 es 2.5 mm²

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * 0.0171 \frac{\Omega * \text{mm}^2}{\text{m}} * 7.1 \text{ A} * 20\text{m} * 0.79}{2.5 \text{ mm}^2}$$

$$\Delta V = 1.33 \text{ V}$$

% ΔV : caída de tensión máxima (3% * V)

$$\% \Delta V = \frac{\sqrt{3} * \rho * I * L * \cos\phi}{S * V} * 100$$

V: Tensión de la línea = 440 V

$$\% \Delta V = \frac{\sqrt{3} * 0.0171 \frac{\Omega * \text{mm}^2}{\text{m}} * 7.1 \text{ A} * 20\text{m} * 0.79}{2.5 \text{ mm}^2 * 440\text{V}} * 100$$

$$\% \Delta V = 0.3\% < 3\%$$

Se concluye que el conductor tipo THW-90, 2.5 mm² de calibre, es el adecuado para la instalación de los motores eléctricos.

Para los 4 conductores que estarán en el interior de las tuberías, se utilizará tubo de PVC SAP de $\frac{3}{4}$ " de diámetro.

Dispositivos de protección para el circuito de control de los arranques directos:

Se utilizará un interruptor termomagnético A9F74206 - Schneider electric, es utilizado para el mando y protección contra sobrecargas y cortocircuitos, su utilización final es para la industria.

Para el control de los arranque se opta por utilizar pulsadores NA y NC, los cuales serán luminosos, y se hará uso de un pulsador de emergencia tipo hongo (color rojo).



Figura 61: Pulsadores NA y NC.

3.4 Análisis económico del proyecto

3.4.1 Costos

Costos de materiales para las cubiertas de la poza de salmuera

Tabla 18: Costos de materiales para las cubiertas de la poza de salmuera N° 2

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Costos en soles	
				Unitario	Sub total
01	Panel térmico de poliuretano rígido de 1.15 * 6 m, espesor = 200 mm	21	Unid.	S/ 240.00	S/ 5040.00
02	Perfil en “U” de lata, de 50*200 mm, de espesor = 2 mm, longitud = 3 m	133	Unid.	S/ 53.00	S/ 7049.00
03	Remaches de 5/32*3/4”, 100 remaches por caja	17	cajas	S/ 25.00	S/ 425.00
04	Plancha rectangular de poliuretano de 0.86*6 m, 50 mm de espesor	01	Unid.	S/ 120.00	S/ 120.00
Costo total en Nuevos Soles incluido el IGV					S/ 12634.00

Costo de materiales para el túnel de agitación de la poza de salmuera

Tabla 19: Costos de materiales para el túnel de agitación de la poza N ° 2

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Costos en soles	
				Unitario	Sub total
01	Plancha rectangular de acero fundido de 1200*2400 mm, 6.35 mm (1/4") de espesor	06	Unid.	S/ 900.00	S/ 5400.00
02	Pintura especial para el acero fundido en trabajos a baja temperatura y expuesto a la corrosión (epóxica)	10	galón	S/ 150.00	S/1500.00
03	Soldadura Cellocord de 1/8"	04	kg	S/ 15.00	S/ 60.00
Costo total en Nuevos Soles incluido el IGV					S/ 6960.00

Costos de inversión para el rediseño del sistema de agitación

Los costos que se realizan para el rediseño de los agitadores mecánicos se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 20: Costos para el rediseño del sistema de agitación

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Costos en soles	
				Unitario	Sub total
01	Motor eléctrico trifásico de 5 HP, 1735 rpm, 4 polos.	02	Unid.	S/ 2500.00	S/ 5000.00
02	Impulsor tipo hélice de bronce, diámetro externo de 305 mm	02	Unid.	S/ 450.00	S/ 900.00
03	Eje de acero inoxidable AISI 316, diámetro de 35mm, longitud de 1160mm.	02	Unid.	S/ 400.00	S/ 800.00
04	Soldadura sellocord de 1/8"	04	kg	S/ 15.00	S/ 60.00
05	Soldadura Inox	03	kg	S/ 20.00	S/ 60.00
06	Chumaceras de pared NTN UCF207D1	02	Unid.	S/ 130.00	S/ 260.00
07	Tubo hueco de ACERO A.I.S.I 316, diámetro exterior = 60 mm, diámetro interior = 45 mm, longitud = 780mm	02	Unid.	S/ 300.00	S/ 600.00
08	Plancha de acero inoxidable de 9.53*478*478 mm	02	Unid.	S/ 200.00	S/ 400.00

09	Plancha de acero inoxidable de 4.76*130*720 mm	02	Unid.	S/ 80.00	S/ 160.00
10	Plancha de acero inoxidable de 3.175*100*580 mm	02	Unid.	S/ 60.00	S/ 120.00
11	Fajas tipo "V" A - 58	04	Unid.	S/ 40.00	S/ 160.00
12	Polea (con tornillo de retención) de 2 canales, diámetro externo = 254mm (10 pulg.)	02	Unid.	S/ 130.00	S/ 260.00
13	Polea (con tornillo de retención) de 2 canales de diámetro externo = 127 mm (5 pulg.)	02	Unid.	S/ 70.00	S/ 140.00
14	Ángulos estructurales de acero de 1 1/2*1 1/2*3/16 "", longitud de 6 m	01	Unid.	S/ 180.00	S/ 180.00
15	Ángulos estructurales de acero de 2*2*3/16 "", longitud de 6 m	01	Unid.	S/ 200.00	S/ 200.00
16	Ángulos estructurales de acero de 2 1/2*2 1/2*1/4 "", longitud de 6 m	01	Unid.	S/ 250.00	S/ 250.00
17	Empaquetadura cuadrada de jebe y lona de 478*478*3.175mm	02	Unid.	S/ 35.00	S/ 70.00

18	Soporte aislador de vibraciones	08	Unid.	S/ 10.00	S/ 80.00
19	Cuña o chaveta de acero inoxidable A.I.S.I 316, de sección cuadrada, 9.53*9.53mm, longitud = 40mm	02	Unid.	S/ 25.00	S/ 50.00
20	Perno M12, 1.75 * 35mm	20	Unid.	S/ 3.00	S/ 60.00
21	Perno M12, 1.75 * 40mm	15	Unid.	S/ 3.00	S/ 45.00
22	Perno M12, 1.75 * 45mm	15	Unid.	S/ 4.00	S/ 60.00
23	Perno M12, 1.75 * 60mm	15	Unid.	S/ 4.00	S/ 60.00
24	Arandela plana M12	50	Unid.	S/ 1.00	S/ 50.00
25	Arandela de presión M12	20	Unid.	S/ 1.50	S/ 30.00
26	Tuercas M12*1.75	50	Unid.	S/ 2.00	S/ 100.00
27	Tuerca M35*4	02	Unid.	S/ 5.00	S/ 10.00
Costo total en Nuevos Soles incluido el IGV					S/ 10165.00

Costos del sistema eléctrico para los agitadores mecánicos

Tabla 21: Costos del sistema eléctrico para los agitadores mecánicos

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Costos en soles	
				Unitario	Sub total
01	Guardamotor maneto-térmico de coordinación tipo 1 (GV2ME14) - Schneider electric.	02	Unid.	S/ 362.00	S/ 724.00
02	Interruptor termomagnético tripolar (A9F74320) - Schneider electric.	01	Unid.	S/ 190.00	S/ 190.00
03	Interruptor termomagnético bipolar (A9F74206) - Schneider electric.	01	Unid.	S/ 136.00	S/ 136.00
04	Contactador electromagnético (LC1D09M7) - Schneider electric.	02	Unid.	S/ 142.00	S/ 284.00
05	Contacto auxiliar (GVAN11) - Schneider electric.	02	Unid.	S/ 65.00	S/ 130.00
06	Conductor eléctrico de tipo THW-90, 2.5 mm ² (color rojo)	60	metros	S/ 1.40	S/ 84.00
07	Conductor eléctrico de tipo THW-90, 2.5 mm ² (color blanco)	60	metros	S/ 1.40	S/ 84.00
08	Conductor eléctrico de tipo THW-90, 2.5 mm ² (color negro)	60	metros	S/ 1.40	S/ 84.00
09	Conductor eléctrico de tipo THW-90, 2.5 mm ² (color amarillo)	60	metros	S/ 1.40	S/ 84.00

10	Pulsador de emergencia (XB7NS8445)	01	Unid.	S/ 64.00	S/ 64.00
11	Pulsadores NA	02	Unid.	S/ 160.00	S/ 320.00
12	Pulsadores NC	02	Unid.	S/ 160.00	S/ 320.00
13	Tubo PVC SAP, diámetro = 3/4", longitud = 3m.	20	Unid.	S/ 15.00	S/ 300.00
14	Curvas PVC SAP, diámetro = 3/4"	20	Unid.	S/ 5.00	S/ 100.00
15	Manguera corrugada de 3/4 "	03	Metros	S/ 5.00	S/ 15.00
16	Prensaestopa para manguera corrugada de 3/4 "	06	Unid.	S/ 3.00	S/ 18.00
Costo total en Nuevos Soles incluido el IGV					S/ 2937.00

Costos de mano de obra:

Costos para el montaje de los agitadores mecánicos (montaje de poleas, fajas, chumaceras, motores eléctricos), soldaduras de las platinas de acero inoxidable, instalación eléctrica de los motores trifásicos.

Costo de mano de obra = S/ 3000.00

Costo de mano de obra para el pintado de la poza de salmuera = S/ 2600.00

Costos de transportes de los materiales y equipos a utilizar para el proyecto = S/ 250.00

Costo total para el rediseño del sistema de agitación:

$$C_{\text{total}} = S/ 12634.00 + S/ 6960.00 + S/ 10165.00 + S/ 2937.00 + S/ 3000.00 \\ + S/2600.00 + S/ 250.00$$

$$C_{\text{total}} = S/ 38546.00$$

IV. DISCUSIÓN

(Quispe, 2017, p. 89), señala que el diseño del sistema de agitación dispone de elecciones sobre el tipo y ubicación del agitador, las dimensiones del tanque, número y dimensiones de las placas deflectoras, el sistema de transmisión por fajas y poleas y el tipo de impulsor, dichas elecciones afectan a la velocidad de circulación del fluido y el consumo de potencia.

Vladimir Castillo Uribe, en su tesis titulada “**Diseño y cálculo de un agitador de fluidos**”, señala que el proceso de agitación es eficaz, si el volumen del fluido agitado es capaz de llegar a partes más lejanas del recipiente, señala también que la turbulencia del fluido es un factor importante el cual puede llegar a determinar la eficacia de la operación, dicha turbulencia se genera cuando las corrientes del fluido logren generar grandes gradientes de velocidad.

V. CONCLUSIONES

Con la propuesta que se planteó como uno de los objetivos específicos, se llega a la conclusión que el tiempo del proceso de la fabricación del hielo en bloques está en función también de las dimensiones de los moldes que contienen el agua, lista para transformada en hielo. Motivo por el cual se propuso un nuevo dimensionamiento de los moldes, dicho dimensionamiento no compromete a la capacidad de bloques de hielo que produce la poza de salmuera, se dimensionó teniendo en cuenta la distancia de molde a molde en los cuatro lados que tiene dicho elemento, obteniendo así una mejor área de salmuera que estará en contacto con dichos moldes, mejorando la transferencia de calor, por ende optimizando el proceso de fabricación de hielo en bloques.

Se determinó mediante números adimensionales y correlaciones empíricas el coeficiente de transferencia de calor por convección de la salmuera, donde se concluye que este coeficiente es de mucha importancia, debido a que contribuye en la determinación del flujo de calor necesario para cada etapa del proceso de fabricación de hielo en bloques y así poder llegar a saber el tiempo que tarda cada etapa del proceso.

Se llega a la conclusión, que la velocidad de la salmuera es un factor muy importante para la transferencia de calor, que con ayuda de las características del tipo de evaporador a utilizar se logra determinar la cantidad de flujo de salmuera que pasa por los evaporadores para que se genere la transferencia de calor entre evaporador-salmuera, seguidamente salmuera-agua contenida en los moldes.

Se optó por trabajar con impulsores tipo hélice marina con diámetros y rpm establecidos, con la finalidad de mover una buena cantidad de flujo y obtener una adecuada circulación de la salmuera, teniendo en cuenta la potencia de arrastre que consume cada impulsor, para determinar la potencia del motor eléctrico a utilizar, el cual resultó de 5HP (3730 W).

Con las dimensiones y tipo de impulsor a utilizar, siendo accionado por un motor eléctrico de 5 HP de potencia, se logra tener una buena agitación, obteniendo una buena cantidad de flujo de salmuera que debe pasar por los evaporadores, logrando así una mejor transferencia de calor.

Para el diseño de los agitadores mecánicos es obligación determinar los esfuerzos que se generan al estar en funcionamiento estos agitadores, así como el tipo de material con el que se diseña teniendo en cuenta que este elemento mecánico estará en contacto con la salmuera.

La ubicación de los agitadores mecánicos se hizo teniendo en cuenta la velocidad con la que debe de pasar la salmuera por los evaporadores, por lo que se optó por ubicar un agitador a 0.75 m de un extremo del área del sistema de agitación y el agitador restante se ubicará a 0.5 m del otro extremo de dicho sistema, impulsando la salmuera hacia el área de los evaporadores.

En el área de agitación se encuentra un túnel rectangular de 0.86*6m y una altura de 0.6 m (túnel de agitación), con dos orificios para dar facilidad al montaje de los agitadores, estos orificios ayudan a succionar al fluido teniendo en cuenta el sentido de giro de los impulsores de los agitadores. En conjunto la succión del fluido en el túnel y los agitadores darán una buena velocidad a la salmuera con dirección hacia el área de los evaporadores. (En los planos, ver dibujo 03).

Con el rediseño del sistema de agitación y una adecuada ubicación de los agitadores, la agitación de la salmuera será uniforme y se obtendrá un buen movimiento de la salmuera, siendo enviada hacia los evaporadores (en cuyo interior circula el amoníaco refrigerado), generándose la transferencia de calor, esta misma salmuera sigue su recorrido ingresando al área de congelamiento en donde mantendrá contacto con los moldes que contienen el agua, generándose la transferencia de calor para obtener el hielo en bloques, y por último la salmuera sigue el recorrido retornado al túnel de agitación y repitiéndose así el ciclo de circulación de la salmuera. En conclusión la salmuera se mantendrá en constante movimiento, contribuyendo a la mejora del proceso de fabricación de hielo en bloques.

VI. RECOMENDACIONES

- A los técnicos encargados del área de mantenimiento de la empresa SARITA COLONIA S.A.C que se dedica a la fabricación de hielo en bloques, se recomienda tener un programa de mantenimientos preventivos, para que los equipos que en conjunto hacen posible la fabricación del hielo, operen con eficiencia y así no generar pérdidas económicas para la empresa por fallas de algunos de estos equipos.
- Para el desmontaje del agitador mecánico se recomienda el método tradicional, en especial para el desmontaje de la chumacera.
- Durante el proceso de enfriamiento, congelamiento y subenfriamiento, se recomienda tener cubierta totalmente la poza de salmuera para no tener pérdidas de calor, y para evitar que cualquier sustancia ingrese a la poza.
- A los trabajadores de la planta, se le recomienda trabajar con sus respectivos EPPs, ya que hay varios factores que dañan los organismos humanos.

REFERENCIAS

Arrieta Valderrama, Gustavo Andrés. 2012. Metodología de optimización numérica multi-objetivo y de simulación numérica de la interacción fluido-estructura del desempeño de un agitador con impulsor PBT variando ángulo, altura y velocidad de rotación utilizando ANSYS CFX, MECHANICAL y DESIGN EXPLORER. Lima, PERÚ : s.n., 11 de Octubre de 2012. pág. 10; 11.

Bolívar Martínez, Rubén Darío. 2013. ANÁLISIS, DISEÑO Y MODELAMIENTO POR ELEMENTOS FINITOS DEL EJE PARA UN AGITADOR MECÁNICO DE LA EMPRESA FLOW CONTROL AND HANDLING S.A. Santiago de Cali, Colombia : UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE, 23 de Agosto de 2013. pág. 16; 17.

Budynas, Richard G. y Nisbett, J. Keith. 2008. Diseño en Ingeniería mecánica de shigley. Octava edición. s.l. : McGraw Hill, 2008. pág. 8; 9.

Cengel, Yunes A. y Cimbala, John M. 2006. MECÁNICA DE FLUIDOS: Fundamentos y Aplicaciones. Primera edición 2006. pág. 251.

Cengel, Yunus A. Transferencia de calor y masa. Tercera edición pág. 366; 413; 473; 474.

Correas de Transmisión.

De la Peña Barrón, Adolfo. 2012. OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y RENTABILIDAD DE UNA FÁBRICA DE HIELO, MEDIANTE LA SEGMENTACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DIVISIÓN EN ÁREAS DE PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN. La Paz, Baja California, MÉXICO : s.n., Agosto de 2012. pág. 48; 50.

De los santos Reyna, Yery Juan José y Mariños Rosado, Diego Jhovanny. 2017. “EVALUACIÓN TERMOEXERGÉTICA DE LA COMPRESIÓN DE VAPOR EN ESCALA EN EL COEFICIENTE DE PERFORMANCE DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EN LA PLANTA FRIGORÍFICA PRC S.A.C., 2016”. Nuevo Chimbote, Perú : s.n., Noviembre de 2017. pág. 2;3.

Dinámica de fluidos. Torres. pág. 19.

El Mantenimiento y la Eficiencia Energética. Carolina, Altmann. 2010. 2010, pág. 1.

FENÓMENOS DE TRANSPORTE. s.l. : Universidad Nacional experimental del Táchira.

Fierro Escobar, Carlos. CÁLCULO Y DISEÑO DE UNA PLANTA FRIGORÍFICA PARA UN SISTEMA DE FABRICACIÓN DE HIELO.

Herrera Díaz, Luis Fernando. 2005. Procesos de transferencia de calor. 31 de Agosto de 2005. pág. 44.

Holman, J. P. 1999. Transferencia de calor. s.l., México : CONTINENTAL, S.A. DE C.V., 1999. pág. 309.

Huerto Bujaico, Hebert Oswaldo. 2013. ESTUDIO DEL FLUJO EN UN TANQUE AGITADOR VERTICAL DE IMPULSOR PTB CON SUPERFICIE LIBRE MEDIANTE EL PROGRAMA ANSYS CFX V.14.0. Lima, Perú : PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, Octubre de 2013. pág. i; 8; 9.

J. Graham, W.A. Johnston y Nicholson, F.J. 1993. El hielo en las pesquerías. Roma : s.n., 1993.

McCabe, Warren L., Smith, Julian C. y Harriott, Peter. Operaciones unitarias en Ingeniería Química. Cuarta edición pag. 247; 262.

McCabe, Warren L., Smith, Julian C. y Harriott, Peter. 2007. Operaciones unitarias en Ingeniería Química. Séptima edición, 2007. pag. 262; 275; 276.

Medina, Roger, Pérez Pupo, Juan Rafael y Estrada Cingualbres, Roberto. 2015. Parámetros de diseño en agitadores de fluidos industriales para tanques de recirculación. Marzo de 2015. Vol. 1, pág. 55; 58.

Mezcladores.pdf. S.A, DLC. Santiago : s.n., pág. 2.

Mikel, Abasolo, y otros. TRANSMISIÓN POR CORREAS. pág. 13.

Neyra Navarro, Segundo Zósimo, Trigoso Saavedra, Jonathan Alberto y Santa María Lomas, Nancy Salvith. 2013. "DISEÑO-CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE TANQUE AGITADOR". IQUITOS, PERÚ : s.n., 2013.

Padilla Velásquez, Brenda Lucia. 2013. DISEÑO DE UN EVAPORADOR TIPO MARMITA CON AGITADOR Y SERPENTÍN INTERNO PARA LA ELABORACIÓN DE DIVERSOS ALIMENTOS EN PLANTA PILOTO. s.l., GUATEMALA : UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, Septiembre de 2013.

Palate Meza, Denisse y Villón Quinde, Julio. 2016. " Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de un Reactor de Mezcla Completa Didáctico." s.l., ECUADOR : Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química, Marzo de 2016. pág. 43; 44.

Paredes Quispe, Aldair y córdova velasquez, Joel Antony. 2015. "SUBENFRIAMIENTO Y SOBRECALENTAMIENTO DEL REFRIGERANTE R-707 Y SU RELACION CON EL INCREMENTO DEL COEFICIENTE DE PERFORMANCE DE LA FABRICA DE HIELO LESSER S.A. C.". Nuevo Chimbote, PERÚ : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA, Mayo de 2015. pág. 14; 15; 16; 17; 18.

Paul, Edward L., Atiemo-Obeng, Victor A. y M., Kresta Suzanne. 2003. HANDBOOK OF INDUSTRIAL MIXING SCIENCE AND PRACTICE. 2003. pág. 348; 365.

Ramos. 2017. Ciclo de refrigeración por compresión de vapor. 2017.

Renedo, Carlos J. 2010. Tecnología Frigorífica: Refrigerantes y Salmueras. 2010. pág. 48.

Robert L. Mott, P.E. DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS. Cuarta edición pág. 548.

Salazar Larios, Karla María Alejandra. 2015. MEJORA DE LA PRODUCCIÓN DE LA FÁBRICA DE HIELO SARITA COLONIA S.A.C. Chiclayo, Chiclayo, Perú : Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 03 de Marzo de 2015. pág. 6.

Shawyer, Michael y Medina Pizzali, Avilio F. 2005. El uso de hielo en pequeñas embarcaciones de pesca. Roma : FAO Documento Técnico de Pesca. No. 436., 2005.

Terán Mayorga, Juan Simón. 2015. "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA INSTALACIÓN DE UNA FÁBRICA DE HIELO EN ESCAMAS EN LA PARROQUIA POSORJA DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS". LA LIBERTAD, ECUADOR : s.n., 2015. pág. 2; 3; 4.

Zuloeta Lagos, Bujarín Jaime y Muñoz Alegre, Dan Robert. 2017. INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN UNA EMPRESA DE HIELO PURIFICADO UTILIZANDO HERRAMIENTAS LEAN MANUFACTURING. Lima, PERÚ : s.n., 2017. pág. 5.

ANEXO N° 01



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

GUÍA DE PREGUNTAS

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE AGITACIÓN DE SALMUERA PARA
MEJORAR EL CONGELAMIENTO DE BLOQUES DE AGUA EN EMPRESA
SARITA COLONIA S.A.C**

La información que usted brindará será utilizada para fines académicos y de investigación, por lo que se agradece su valiosa información y generosa participación.

- 1. ¿Qué problemas existen en el proceso de congelamiento de los bloques de agua en la empresa SARITA COLONIA S.A.C?**

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

- 2. ¿Cuánto es el tiempo que tarda el proceso de congelamiento de los bloques de agua?**

.....
.....
.....
.....

- 3. ¿Cuál es el tiempo de trabajo de los sistemas que en conjunto hacen posible la producción de hielo en bloques?**

.....
.....
.....
.....

4. ¿Se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo para todos los sistemas del proceso de congelamiento de los bloques de agua en la empresa SARITA COLONIA S.A.C?, de contar con alguno explicar cuál es.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

5. Debido a la importancia de la agitación en el proceso de congelamiento de bloques de agua, ¿Cuál es el estado en el que se encuentra el sistema de agitación de salmuera?

.....
.....
.....
.....
.....

6. ¿Creé usted que al tener un buen sistema de agitación de salmuera ayudaría a mejorar el proceso de congelamiento de bloques de agua en la empresa SARITA COLONIA S.A.C?, ¿Por qué?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

ANEXO N° 02

FICHA DE OBSERVACIÓN

“REDISEÑO DEL SISTEMA DE AGITACIÓN DE SALMUERA PARA MEJORAR EL CONGELAMIENTO DE BLOQUES DE AGUA EN EMPRESA SARITA COLONIA S.A.C”		
Ítem	Parámetros del proceso de congelamiento de bloques de agua	Descripciones
01	Dimensión de la poza de salmuera	
02	Densidad de la salmuera	
03	Temperatura de la salmuera	
04	Caudal de la salmuera	
05	Tipos de agitadores	
06	Potencia eléctrica de los motores eléctricos	

ANEXO N° 03

FICHA DE ANÁLISIS DE DOCUMENTOS

FICHA DE ANÁLISIS DE DOCUMENTOS											
Número	Origen (País)	Año	Autores	Link	Universidad, institutos/Páginas	Tema que aborda	Problema que enfrentó	¿Qué se hizo?	¿Cómo se hizo?	¿Qué resultados se obtuvo?	Conclusiones
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											

ANEXO 04

GALONES POR MINUTOS BASADOS EN 100 PIES POR MINUTO DE VELOCIDAD POR HAZ DE TUBOS DE EVAPORADORES “VILTER SUPER INUNDADOS”, CON SERPENTÍN TIPO CALDERA.

Pipes High	Pipes Wide Per Bundie			
	2	3	4	5
6	235	310	390	470
8	310	410	515	620
10	385	510	640	770
12	460	600	765	920
14	535	700	890	1070
16	610	800	1015	1220
18	685	900	1140	1370
20	760	1000	1265	1520

ANEXO 05

EQUIVALENTE CALORÍFICO DE MOTORES ELÉCTRICOS

Kcal/HP-h

EQUIVALENTE CALORIFICO DE MOTORES ELECTRICOS

Kcal / hp-h

POTENCIA EN HP	MOTOR Y CARGA ADENTRO	CARGA SOLO	MOTOR SOLO
1/8 a 1/2	1071	641.34	428.40
1/2 a 3	932.4	641.34	289.80
3 a 20	743	641.34	100.80

ANEXO 06

FACTORES DE SERVICIOS PARA TRANSMISIÓN POR FAJAS “V”

TABLA 7-1 Factores de servicio para bandas V

Tipo de máquina impulsada	Tipo de impulsor					
	Motores de CA: par torsional normal ^a Motores de CD: bobinado en derivación Motores de combustión: múltiples cilindros			Motores de CA: Alto par torsional ^b Motores de CD: bobinado en serie- bobinado compuesto Motores de combustión: 4 cilindros o menos		
	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día
Agitadores, sopladores, ventiladores, bombas centrífugas, transportadores ligeros	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generadores, máquinas herramienta, mezcladores, transportadores de grava	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de cangilones, máquinas textiles, molinos de martillos, transportadores pesados	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras, molinos de bolas, malacates, extrusoras de hule	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Toda máquina que se pueda ahogar	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

^aSíncronos, fase dividida, trifásicos con par de torsión de arranque o par de torsión al paro máximo menor que 175% de par torsional con carga total.
^bMonofásicos, trifásicos con par de torsión de arranque o par de torsión al paro máximo menor que 175% de par torsional con carga total.

ANEXO 07

DIÁMETRO EXTERIOR MÍNIMO RECOMENDADO DE POLEA PARA FAJAS EN “V” A UTILIZAR EN MOTORES ELÉCTRICOS

HP MOTOR	RPM DEL MOTOR					
	575	695	870	1160	1750	3450
0.5	2.5	2.5	2.2			
0.75	3.0	2.5	2.4	2.2		
1	3.0	2.5	2.4	2.4	2.2	
1.5	3.0	3.0	2.4	2.4	2.4	2.2
2	3.6	3.0	3.0	2.4	2.4	2.4
3	4.5	3.6	3.0	3.0	2.4	2.4
5	4.5	4.5	3.8	3.0	3.0	2.4
7.5	5.3	4.5	4.4	3.8	3.0	3.0
10	6.0	5.3	4.4	4.4	3.8	3.0
15	6.9	6.0	5.2	4.4	4.4	3.8
20	8.0	6.9	6.0	5.2	4.4	4.4
25	9.0	8.0	6.8	6.0	4.4	<u>4.4</u>
30	<u>10.0</u>	9.0	6.8	6.8	5.2	
40	10.0	<u>10.0</u>	8.2	6.8	6.0	
50	11.0	10.0	8.4	8.2	6.8	
60	12.0	11.0	10.0	8.0	7.4	
75	14.0	13.0	10.0	10.0	8.6	
100	18.0	15.0	<u>12.0</u>	10.0	8.6	
125	20.0	18.0		<u>12.0</u>	10.5	
150	22.0	20.0			10.5	
200	22.0	22.0			13.2	

NOTA: Los valores indicados en la parte superior de la línea divisionaria están basados en motores bajo estandarización de NEMA MG1-14.43a. Los valores inferiores a la línea son en base a fabricantes de motores.

Los valores dados en la presente tabla son generalmente conservadores, se pueden usar diámetros más pequeños de poleas instalados en motores según el diseño específico de ellos.

ANEXO 08

DUCASSE COMERCIAL LTD - DIMENSIONES DE POLEAS DE ALUMINIO

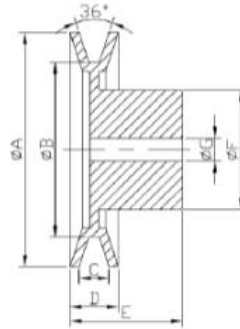
CATÁLOGO POLEAS

DUCASSE COMERCIAL LTD

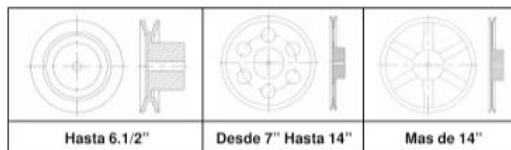
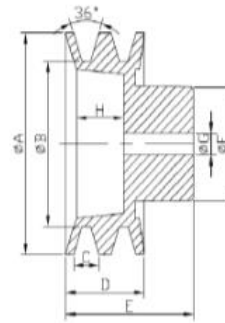
POLEAS ALUMINIO

Poleas perfil "A"

1 Canal (DIM. EN MM)							
Nº de Parte	Ø A	Ø B	C	D	E	Ø F	Ø G
1 A 2	50	24	13	21	46	30	10,0
1 A 2.1/2	63,5	37	13	21	46	30	10,0
1 A 3	77	51	13	21	46	40	10,0
1 A 3.1/2	90	64	13	21	46	52	10,0
1 A 4	102	76	13	21	46	52	12,7
1 A 4.1/2	112	86	13	21	49	52	12,7
1 A 5	127	101	13	21	49	60	12,7
1 A 5.1/2	140	113	13	21	49	60	12,7
1 A 6	154	128	13	21	49	60	12,7
1 A 6.1/2	165	137	13	21	49	60	12,7
1 A 7	180	154	13	23	51	82	12,7
1 A 8	203	177	13	23	51	82	12,7
1 A 9	229	203	13	23	51	82	12,7
1 A 10	254	228	13	23	51	82	12,7
1 A 11	280	251	13	23	51	96	17,0
1 A 12	305	274	13	23	51	108	17,0
1 A 13	330	297	13	23	51	108	17,0
1 A 14	356	320	13	23	51	110	17,0
1 A 15	381	343	13	23	51	112	17,0
1 A 16	406	366	13	23	51	114	17,0



2 Canales (DIM. EN MM)								
Nº de Parte	Ø A	Ø B	C	D	E	Ø F	Ø G	H
2 A 2.1/2	66	40	13	40	65	52	12,7	24
2 A 3	77	51	13	40	65	52	12,7	24
2 A 3.1/2	90	64	13	40	65	52	12,7	24
2 A 4	102	76	13	40	65	52	12,7	24
2 A 4.1/2	112	86	13	40	65	52	12,7	24
2 A 5	127	101	13	40	65	60	12,7	24
2 A 5.1/2	140	114	13	40	65	60	12,7	24
2 A 6	154	128	13	40	65	60	12,7	24
2 A 6.1/2	166	143	13	40	65	60	12,7	24
2 A 7	180	154	13	40	69	82	12,7	25
2 A 8	203	177	13	41	69	82	12,7	25
2 A 9	229	203	13	41	69	82	12,7	25
2 A 10	254	228	13	41	69	90	12,7	25
2 A 11	280	253	13	41	69	96	12,7	25
2 A 12	305	278	13	41	69	108	12,7	25
2 A 13	330	303	13	41	69	108	12,7	25
2 A 14	355	328	13	41	69	110	12,7	25
2 A 15	381	353	13	41	69	112	12,7	25
2 A 16	406	378	13	41	69	114	12,7	25



DUCASSE
COMERCIAL

ANEXO 09

LONGITUD DE FAJA Y FACTOR DE LONGITUD DE FAJA

LONGITUD DE FAJA Y FACTOR POR LONGITUD DE FAJA								
SECCION A			SECCION B			SECCION C		
FAJA Nº	LONG. PASO PULG.	K _L	FAJA Nº	LONG. PASO PULG.	K _L	FAJA Nº	LONG. PASO PULG.	K _L
A26	27,3	0,81	B35	36,8	0,81	C51	53,9	0,80
A31	32,3	0,84	B38	39,8	0,83	C60	62,7	0,82
A33	34,3	0,85	B42	43,8	0,85	C68	70,9	0,85
A35	36,3	0,87	B46	47,8	0,87	C75	77,9	0,87
A36	37,3	0,87	B51	52,8	0,89	C81	83,9	0,89
A38	39,3	0,88	B53	54,8	0,89	C85	87,9	0,90
A40	41,3	0,89	B55	56,8	0,90	C90	92,9	0,91
A42	43,3	0,90	B58	59,8	0,91	C96	98,9	0,92
A43	44,3	0,90	B60	61,8	0,92	C100	102,9	0,92
A46	47,3	0,92	B62	63,8	0,92	C105	107,9	0,94
A48	49,3	0,93	B64	65,8	0,93	C112	114,9	0,95
A51	52,3	0,94	B66	67,8	0,93	C120	122,9	0,97
A53	54,3	0,95	B68	69,8	0,95	C124	126,9	0,97
A55	56,3	0,96	B71	72,8	0,95	C128	130,9	0,98
A58	59,3	0,97	B75	76,8	0,97	C136	138,9	0,99
A60	61,3	0,98	B78	79,8	0,97	C144	146,9	1,00
A62	63,3	0,98	B81	82,8	0,98	C158	160,9	1,02
A64	65,3	0,99	B83	84,8	0,98	C162	164,9	1,03
A66	67,3	0,99	B85	86,8	0,99	C173	175,9	1,04
A68	69,3	1,00	B90	91,8	1,00	C180	182,9	1,05
A71	72,3	1,01	B93	94,8	1,01	C195	197,9	1,07
A75	76,3	1,02	B97	98,8	1,02	C210	212,9	1,08
A78	79,3	1,03	B103	104,8	1,03	C225	225,9	1,10
A80	81,3	1,04	B105	106,8	1,04	C240	240,9	1,11
A85	86,3	1,05	B112	113,8	1,05	C255	255,9	1,12
A90	91,3	1,06	B120	121,8	1,07	C270	270,9	1,14
A96	97,3	1,08	B128	129,8	1,08	C300	300,9	1,16
A105	106,3	1,10	B136	137,8	1,09	C330	330,9	1,19
A112	113,3	1,11	B144	145,8	1,11	C360	360,9	1,21
A120	121,3	1,13	B158	159,8	1,13	C390	390,9	1,23
A128	129,3	1,14	B173	174,8	1,15	C420	420,9	1,24
			B180	181,8	1,16			
			B195	196,8	1,18			
			B210	211,8	1,19			
			B240	240,8	1,22			
			B270	270,3	1,25			
			B300	300,3	1,27			

ANEXO 11

POTENCIA ADIONAL POR RELACIÓN DE TRANSMISIÓN

RELACION DE TRANSMISION	SECCION FAJA				
	A	B	C	D	E
1.00 a 1.01	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.02 a 1.04	0.00180	0.00472	0.0131	0.0466	0.0890
1.05 a 1.08	0.00360	0.00944	0.0263	0.0931	0.1780
1.09 a 1.12	0.00539	0.01415	0.0394	0.1397	0.2670
1.13 a 1.18	0.00719	0.01887	0.0525	0.1863	0.3560
1.19 a 1.24	0.00899	0.02359	0.0656	0.2329	0.4450
1.25 a 1.34	0.01079	0.02831	0.0788	0.2794	0.5340
1.35 a 1.51	0.01259	0.03303	0.0919	0.3260	0.6230
1.52 a 1.99	0.01439	0.03774	0.1050	0.3726	0.7120
2.00 ó más	0.01618	0.04246	0.1182	0.4191	0.8010

NOTA: Los valores de la tabla multiplicar por: RPM / 100

ANEXO 12

PARÁMETROS DE FAJAS TRAPEZIODALES SEGÚN SU SECCIÓN

Sección de la banda	K_b	K_c
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1 600	1.716
D	5 680	3.498
E	10 850	5.041
3V	230	0.425
5V	1 098	1.217
8V	4 830	3.288

*Datos cortesía de Gates Rubber Co., Denver, Colo.

ANEXO 13

PROPIEDADES DEL ACERO AISI 316

Aceros Inoxidables	Normas		
	AISI	W. Nr.	DIN
Austeníticos	316 316L	1.4401 1.4404	X5CrNiMo17-12-2 X2CrNiMo17-12-2

Composición Química (Valores promedio, %)

Calidad	C	Cr	Mo	Ni
316	≤ 0,07	16,5 - 18,5	2 - 2,5	10 - 13
316L	≤ 0,03	16,5 - 18,5	2 - 2,5	10 - 13

Propiedades Mecánicas

Tipo Acero	Rango de dimensiones	Límite Elástico 0,2% (R _{p0,2}) min. N/mm ²	Resistencia a la tracción (R _m) N/mm ²	Elongación (A ₅) min. %
316	Laminado en frío e ≤ 6 mm.	≥240	530 - 680	≥ 40
	Laminado en caliente e ≤ 12 mm.	≥220		
316L	Laminado en frío e ≤ 6 mm.	≥240	530 - 680	≥ 40
	Laminado en caliente e ≤ 12 mm.	≥220		

ASTM	NORMA EUROPEA EN 10088		Algunas Aplicaciones
AISI	DNI (Designación)	W.N	
304	X5CrNi18-10	1,4301	Industria alimentaria, cubertería, menaje, médica y otros.
304L	X2CrNi18-9	1,4307	Industria alimentaria, cubertería, menaje, médica, tubos y otros.
316	X5CrNiMo17-12-2	1,4401	Industrias químicas, petroquímica, minería, refrigeración y otros.
316L	X2CrNiMo17-12-3	1,4404	Industrias químicas, petroquímica, minería, refrigeración, tubos y otros.
430	X6Cr17	1,4016	Cubertería, menaje, armarios, decoración interior.

Designación del material		Condición	Resistencia a la tensión	
Número AISI	UNS		(ksi)	(MPa)
Aceros austeníticos				
201	S20100	Recocido	115	793
		1/4 duro	125	862
		1/2 duro	150	1030
		3/4 duro	175	1210
		Duro total	185	1280
301	S30100	Recocido	110	758
		1/4 duro	125	862
		1/2 duro	150	1030
		3/4 duro	175	1210
		Duro total	185	1280
304	S30400	Recocido	85	586
310	S31000	Recocido	95	655
316	S31600	Recocido	80	552
Aceros ferríticos				
405	S40500	Recocido	70	483
430	S43000	Recocido	75	517
446	S44600	Recocido	80	552
Aceros martensíticos				
410	S41000	Recocido	75	517
416	S41600	Q&T 600	180	1240
		Q&T 1000	145	1000
		Q&T 1400	90	621
431	S43100	Q&T 600	195	1344
440A	S44002	Q&T 600	280	1930
Aceros endurecidos por precipitación				
17-4PH	S17400	H 900	200	1380
		H 1150	145	1000
17-7PH	S17700	RH 950	200	1380
		TH 1050	175	1210

ANEXO 14

PARÁMETROS EN EL FACTOR DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DE MARÍN.

Acabado superficial	Factor <i>a</i>		Exponente <i>b</i>
	<i>S_{utr}</i> kpsi	<i>S_{utr}</i> MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

ANEXO 15

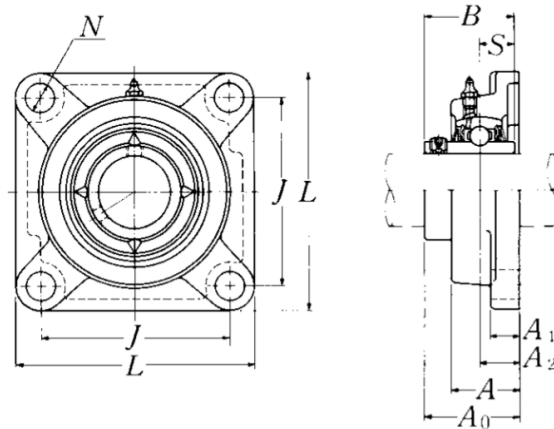
FACTORES DE CONFIABILIDAD APROXIMADOS

TABLA 5-1
Factores de confiabilidad aproximados C_R

Confiabilidad deseada C_R	
0.50	1.0
0.90	0.90
0.99	0.81
0.999	0.75

ANEXO 16

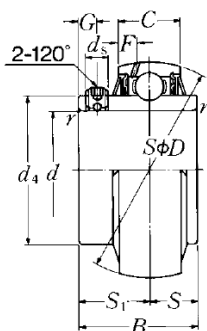
MEDIDAS DE LA CHUMACERA TIPO BRIDA CUADRADA CON TORNILLO DE FIJACIÓN (PRISIONERO) - NTN UCF207D1



Diámetro del eje mm pulg.	Número ¹⁾ de la chumacera	Dimensiones nominales										Tamaño del perno mm pulg.	Número del rodamiento
		mm					pulg.						
		L	J	A ₂	A ₁	A	N	A ₀	B	S			
12 1/2	UCF201D1 UCF201-008D1	86 3 3/8	64 2 33/64	15 19/32	11 7/16	25.5 1	12 15/32	33.3 1 5/16	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC201D1 UC201-008D1	
15 9/16 5/8	UCF202D1 UCF202-009D1 UCF202-010D1	86 3 3/8	64 2 33/64	15 19/32	11 7/16	25.5 1	12 15/32	33.3 1 5/16	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC202D1 UC202-009D1 UC202-010D1	
17 1 1/16	UCF203D1 UCF203-011D1	86 3 3/8	64 2 33/64	15 19/32	11 7/16	25.5 1	12 15/32	33.3 1 5/16	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC203D1 UC203-011D1	
20 3/4	UCF204D1 UCF204-012D1	86 3 3/8	64 2 33/64	15 19/32	11 7/16	25.5 1	12 15/32	33.3 1 5/16	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC204D1 UC204-012D1	
25 1 3/16 7/8 15/16 1	UCF205D1 UCF205-013D1 UCF205-014D1 UCF205-015D1 UCF205-100D1	95 3 3/4	70 2 3/4	16 5/8	13 1/2	27 1 1/16	12 15/32	35.8 1 13/32	34.1 1.3425	14.3 0.563	M10 3/8	UC205D1 UC205-013D1 UC205-014D1 UC205-015D1 UC205-100D1	
30 1 1/16 1 1/8 1 3/16 1 1/4	UCF206D1 UCF206-101D1 UCF206-102D1 UCF206-103D1 UCF206-104D1	108 4 1/4	83 3 17/64	18 45/64	13 1/2	31 1 7/32	12 15/32	40.2 1 37/64	38.1 1.5000	15.9 0.626	M10 3/8	UC206D1 UC206-101D1 UC206-102D1 UC206-103D1 UC206-104D1	
35 1 1/4 1 5/16 1 3/8 1 7/16	UCF207D1 UCF207-104D1 UCF207-105D1 UCF207-106D1 UCF207-107D1	117 4 19/32	92 3 5/8	19 3/4	15 19/32	34 1 11/32	14 35/64	44.4 1 3/4	42.9 1.6890	17.5 0.689	M12 7/16	UC207D1 UC207-104D1 UC207-105D1 UC207-106D1 UC207-107D1	
40 1 1/2 1 9/16	UCF208D1 UCF208-108D1 UCF208-109D1	130 5 1/8	102 4 1/64	21 53/64	15 19/32	36 1 13/32	16 5/8	51.2 2 1/64	49.2 1.9370	19 0.748	M14 1/2	UC208D1 UC208-108D1 UC208-109D1	
45 1 5/8 1 11/16 1 3/4	UCF209D1 UCF209-110D1 UCF209-111D1 UCF209-112D1	137 5 13/32	105 4 9/64	22 55/64	16 5/8	38 1 1/2	16 5/8	52.2 2 1/16	49.2 1.9370	19 0.748	M14 1/2	UC209D1 UC209-110D1 UC209-111D1 UC209-112D1	

ANEXO 17

CAPACIDAD DE CARGA DEL RODAMIENTO DE BOLAS TIPO CON TORNILLO DE FIJACIÓN (PRISIONERO) – UC207D1



Diámetro del eje mm pulg.	Número del rodamiento	Dimensiones nominales										
		<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>r_s</i> mm min.	<i>S</i>	pulg. <i>S₁</i>	<i>G</i>	<i>d_s</i>	<i>d₄</i>	<i>F</i>
12 ½	UC201D1	12	47	31	17	0.6	12.7	18.3	4.5	M5 × 0.8	29.6	4.7
	UC201-008D1	0.5000	1.8504	1.2205	0.6693	0.024	0.500	0.720	0.177	No.10-32UNF	1.1654	0.185
15 9/16 5/8	UC202D1	15	47	31	17	0.6	12.7	18.3	4.5	M5 × 0.8	29.6	4.7
	UC202-009D1	0.5625	1.8504	1.2205	0.6693	0.024	0.500	0.720	0.177	No.10-32UNF	1.1654	0.185
	UC202-010D1	0.6250										
17 11/16	UC203D1	17	47	31	17	0.6	12.7	18.3	4.5	M5 × 0.8	29.6	4.7
	UC203-011D1	0.6875	1.8504	1.2205	0.6693	0.024	0.500	0.720	0.177	No.10-32UNF	1.1654	0.185
20 ¾	UC204D1	20	47	31	17	1	12.7	18.3	4.5	M5 × 0.8	29.6	4.7
	UC204-012D1	0.7500	1.8504	1.2205	0.6693	0.039	0.500	0.720	0.177	No.10-32UNF	1.1654	0.185
25 13/16 7/8 15/16 1	UC205D1	25	52	34.1	17	1	14.3	19.8	5	M5 × 0.8	33.9	4.5
	UC205-013D1	0.8125										
	UC205-014D1	0.8750	2.0472	1.3425	0.6693	0.039	0.563	0.780	0.197	No.10-32UNF	1.3346	0.177
	UC205-015D1	0.9375										
30 1 1/16 1 1/8 1 3/16 1 1/4	UC206D1	30	62	38.1	19	1	15.9	22.2	5	M6 × 0.75	40.8	4.6
	UC206-101D1	1.0625										
	UC206-102D1	1.1250	2.4409	1.5000	0.7480	0.039	0.626	0.874	0.197	¼-28UNF	1.6063	0.181
	UC206-103D1	1.1875										
35 1 1/4 1 5/16 1 3/8 1 7/16	UC207D1	35	72	42.9	20	1.5	17.5	25.4	6	M6 × 0.75	46.8	4.6
	UC207-104D1	1.2500										
	UC207-105D1	1.3125	2.8346	1.6890	0.7874	0.059	0.689	1.000	0.236	¼-28UNF	1.8425	0.181
	UC207-106D1	1.3750										
40 1 1/2 1 9/16	UC208D1	40	80	49.2	21	1.5	19	30.2	8	M8 × 1	53	4.5
	UC208-108D1	1.5000	3.1496	1.9370	0.8268	0.059	0.748	1.189	0.315	5/16-24UNF	2.0866	0.177
	UC208-109D1	1.5625										
45 1 5/8 1 11/16 1 3/4	UC209D1	45	85	49.2	22	1.5	19	30.2	8	M8 × 1	57.5	4.9
	UC209-110D1	1.6250										
	UC209-111D1	1.6875	3.3465	1.9370	0.8661	0.059	0.748	1.189	0.315	5/16-24UNF	2.2638	0.193
	UC209-112D1	1.7500										

Diámetro del eje mm pulg.	Número del rodamiento	Capacidad básica de carga		Factor ¹⁾ f_0	Peso	
		N dinámica C_r	lbf estática C_{or}		kg	lb
12 $\frac{1}{2}$	UC201D1	12 800	6 650	13.2	0.21	
	UC201-008D1	2 890	1 500		0.46	
15 $\frac{9}{16}$ $\frac{5}{8}$	UC202D1	12 800	6 650	13.2	0.20	
	UC202-009D1	2 890	1 500		0.44	
	UC202-010D1				0.42	
17 $\frac{11}{16}$	UC203D1	12 800	6 650	13.2	0.18	
	UC203-011D1	2 890	1 500		0.39	
20 $\frac{3}{4}$	UC204D1	12 800	6 650	13.2	0.17	
	UC204-012D1	2 890	1 500		0.39	
25 $\frac{13}{16}$ $\frac{7}{8}$ $\frac{15}{16}$ 1	UC205D1	14 000	7 850	13.9	0.20	
	UC205-013D1				0.53	
	UC205-014D1	3 150	1 770		0.51	
	UC205-015D1				0.46	
	UC205-100D1				0.44	
30 $1\frac{1}{16}$ $1\frac{1}{8}$ $1\frac{3}{16}$ $1\frac{1}{4}$	UC206D1	19 500	11 300	13.8	0.32	
	UC206-101D1				0.82	
	UC206-102D1	4 400	2 540		0.77	
	UC206-103D1				0.73	
	UC206-104D1				0.66	
35 $1\frac{1}{4}$ $1\frac{5}{16}$ $1\frac{3}{8}$ $1\frac{7}{16}$	UC207D1	25 700	15 300	13.8	0.46	
	UC207-104D1				1.21	
	UC207-105D1	5 750	3 450		1.15	
	UC207-106D1				1.08	
	UC207-107D1				1.01	
40 $1\frac{1}{2}$ $1\frac{9}{16}$	UC208D1	29 100	17 800	14.0	0.64	
	UC208-108D1	6 550	4 000		1.52	
	UC208-109D1				1.46	
45 $1\frac{5}{8}$ $1\frac{11}{16}$ $1\frac{3}{4}$	UC209D1	32 500	20 400	14.1	0.68	
	UC209-110D1				1.76	
	UC209-111D1	7 350	4 600		1.68	
	UC209-112D1				1.57	

ANEXO 18

TABLA DE CUÑAS Y CUÑEROS ESTANDAR, SECCIÓN CUADRADA.

Diámetro del eje (pulg)	Anchura y profundidad del cuñero (pulg)	Cuña de sección cuadrada (pulg)	Diámetro del prisionero (pulg)
1/2 a 5/8	1/8 x 1/16	1/8 x 1/8	3/16
5/8+ a 7/8	3/16 x 3/32	3/16 x 3/16	3/16
7/8+ a 1-1/4	1/4 x 1/8	1/4 x 1/4	1/4
1-1/4+ a 1-3/8	5/16 x 5/32	5/16 x 5/16	5/16
1-3/8+ a 1-3/4	3/8 x 3/16	3/8 x 3/8	3/8
1-3/4+ a 2-1/4	1/2 x 1/4	1/2 x 1/2	1/2
2-1/4+ a 2-3/4	5/8 x 5/16	5/8 x 5/8	5/8
2-3/4+ a 3-1/4	3/4 x 3/8	3/4 x 3/4	5/8
3-1/4+ a 3-3/4	7/8 x 7/16	7/8 x 7/8	3/4
3-3/4+ a 4-1/2	1 x 1/2	1 x 1	3/4
4-1/2+ a 5-1/2	1-1/4 x 5/8	1-1/4 x 1-1/4	7/8
5-1/2+ a 6-1/2	1-1/2 x 3/4	1-1/2 x 1-1/2	1
6-1/2+ a 7-1/2	1-3/4 x 7/8	1-3/4 x 1-3/4	1-1/4
7-1/2+ a 9	2 x 1	2 x 2	1-1/4
9+ a 11	2-1/2 x 1-1/4	2-1/2 x 2-1/2	1-1/4

ANEXO 19

DATOS TÉCNICOS DEL CONDUCTOR ELÉCTRICO THW-90 (mm²) - INDECO



TABLA DE DATOS TECNICOS THW - 90 (mm ²)								
CALIBRE CONDUCTOR	NUMERO HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (*)	
							AIRE	DUCTO
mm ²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	32	37	27
4	7	0.84	2.44	0.8	4.1	47	45	34
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	67	61	44
10	7	1.33	3.99	1.1	6.2	117	88	62
16	7	1.69	4.67	1.5	7.7	186	124	85
25	7	2.13	5.88	1.5	8.9	278	158	107
35	7	2.51	6.92	1.5	10	375	197	135
50	19	1.77	8.15	2	12.3	520	245	160
70	19	2.13	9.78	2	13.9	724	307	203
95	19	2.51	11.55	2	15.7	981	375	242
120	37	2.02	13	2.4	18	1245	437	279
150	37	2.24	14.41	2.4	19.4	1508	501	318
185	37	2.51	16.16	2.4	21.1	1866	586	361
240	37	2.87	18.51	2.4	23.5	2416	654	406
300	37	3.22	20.73	2.8	26.5	3041	767	462
400	61	2.84	23.51	2.8	29.3	3846	908	541
500	61	3.21	26.57	2.8	32.3	4862	1037	603

ANEXO 20

FACTORES DE CORRECCIÓN PARA TEMPERATURAS AMBIENTES

TABLA N° 2

FACTORES DE CORRECCIÓN PARA TEMPERATURAS AMBIENTES SUPERIORES A LOS 30° C

TEMPERATURA AMBIENTE	TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN DEL CONDUCTOR	
	60° C	75° C
31-40	0,82	0,88
41-45	0,71	0,82
46-50	0,58	0,75
51-55	0,41	0,67
56-60		0,58

ANEXO 21

FACTORES DE CORRECCIÓN PARA AGRUPAMIENTO DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS EN TUBOS

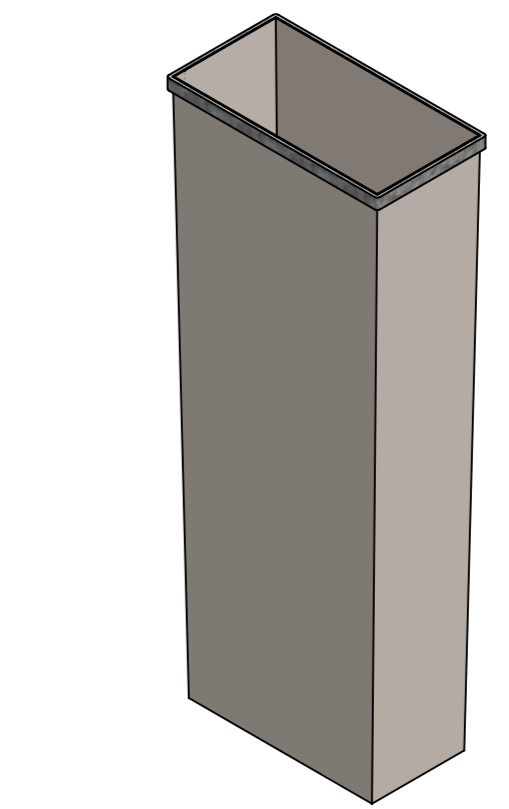
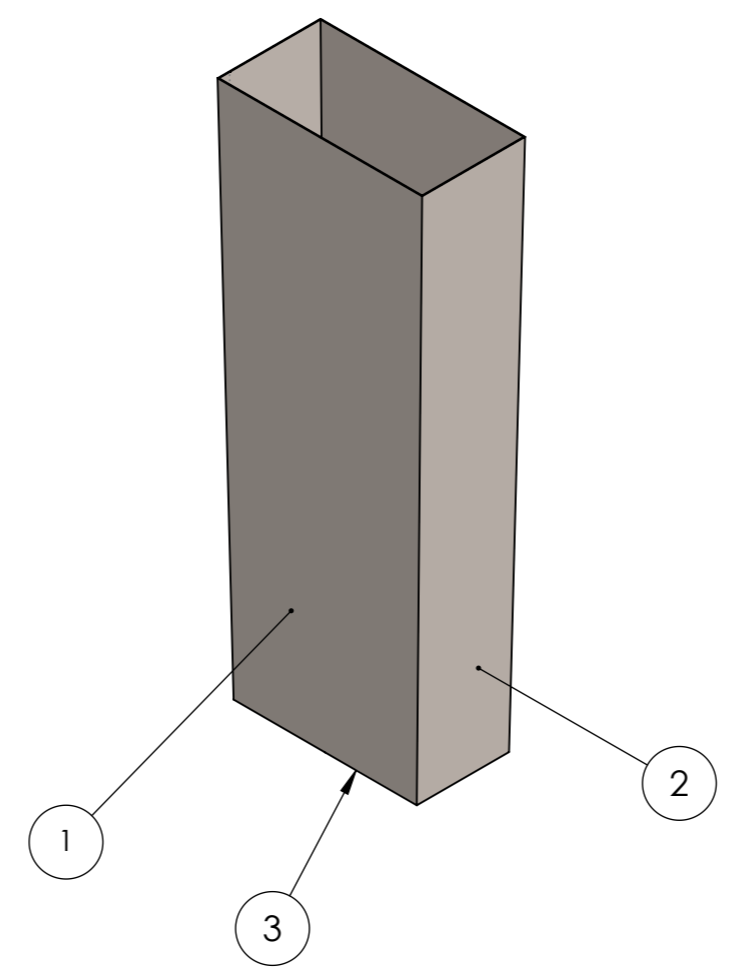
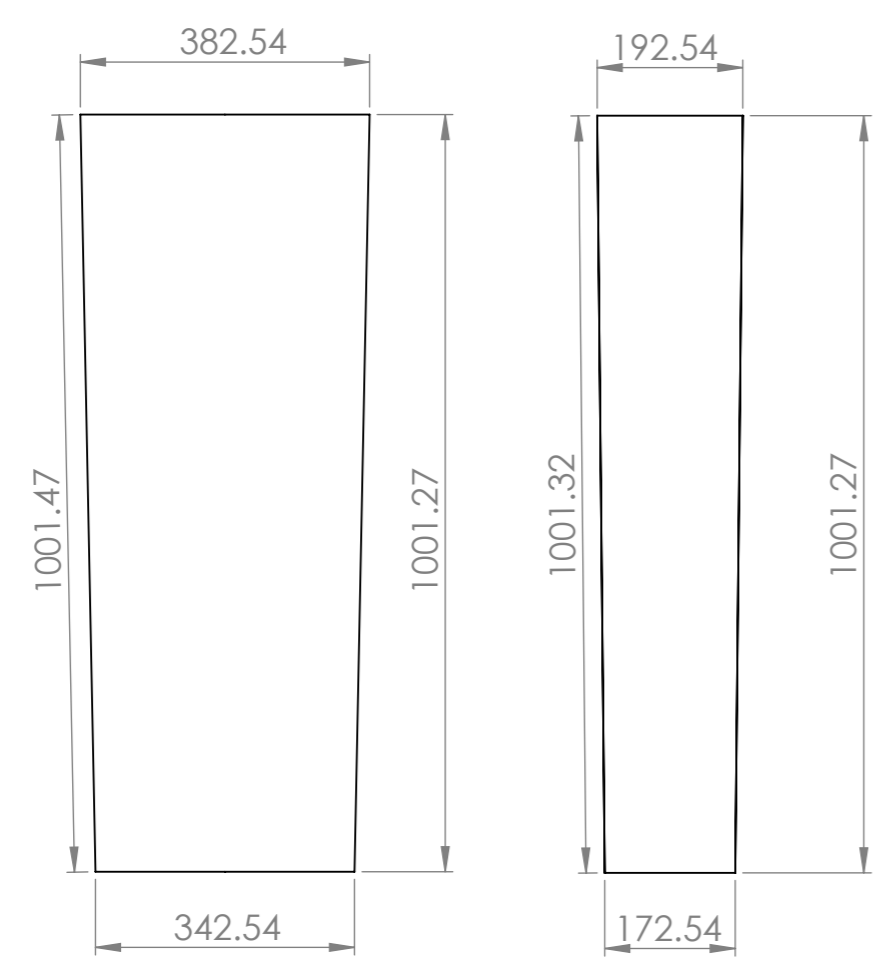
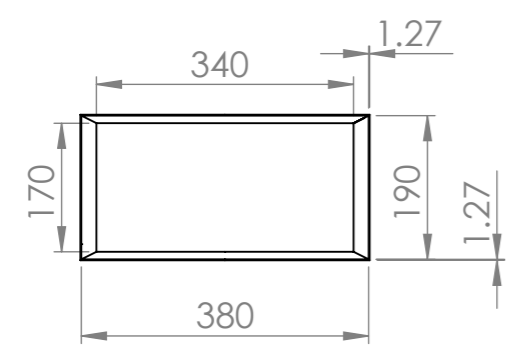
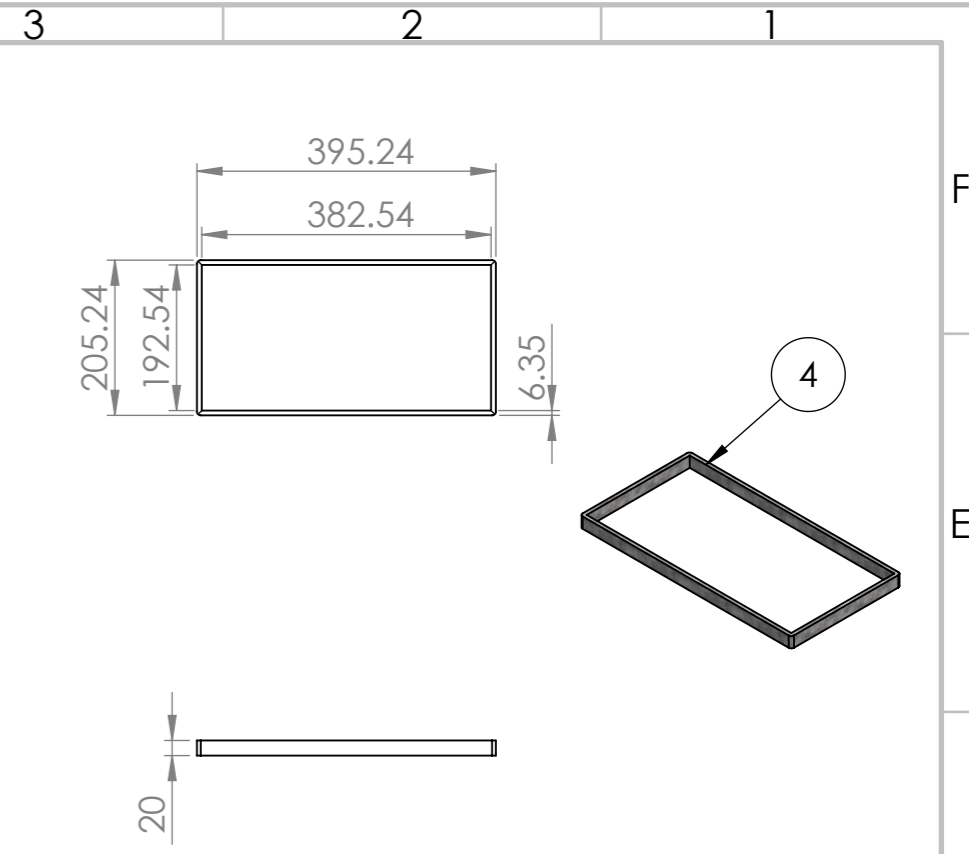
TABLA N° 3

FACTORES DE CORRECCIÓN PARA AGRUPAMIENTO DE CABLES EN TUBOS

NÚMERO DE CONDUCTORES POR TUBO	FACTOR DE CORRECCIÓN
4-6	0,80
7-24	0,70
25-42	0,60
43 ó más	0,50

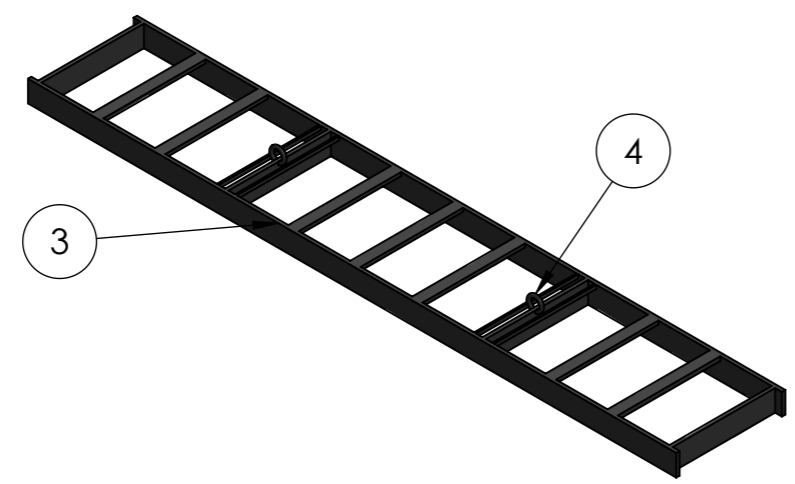
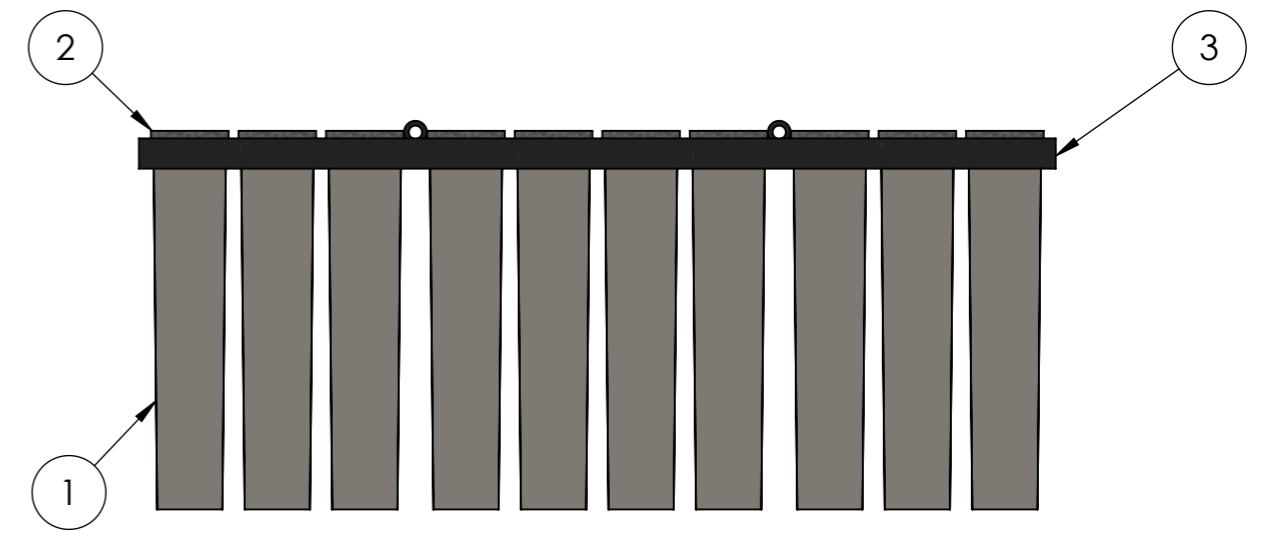
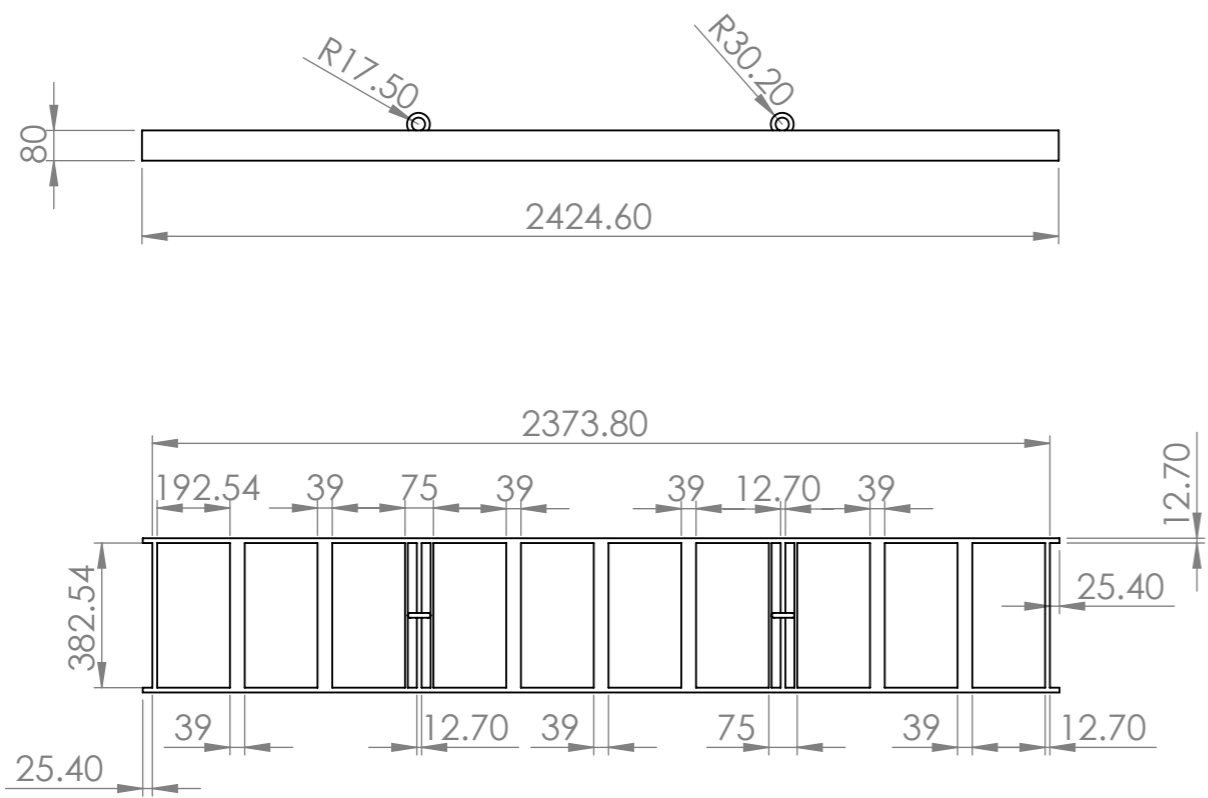
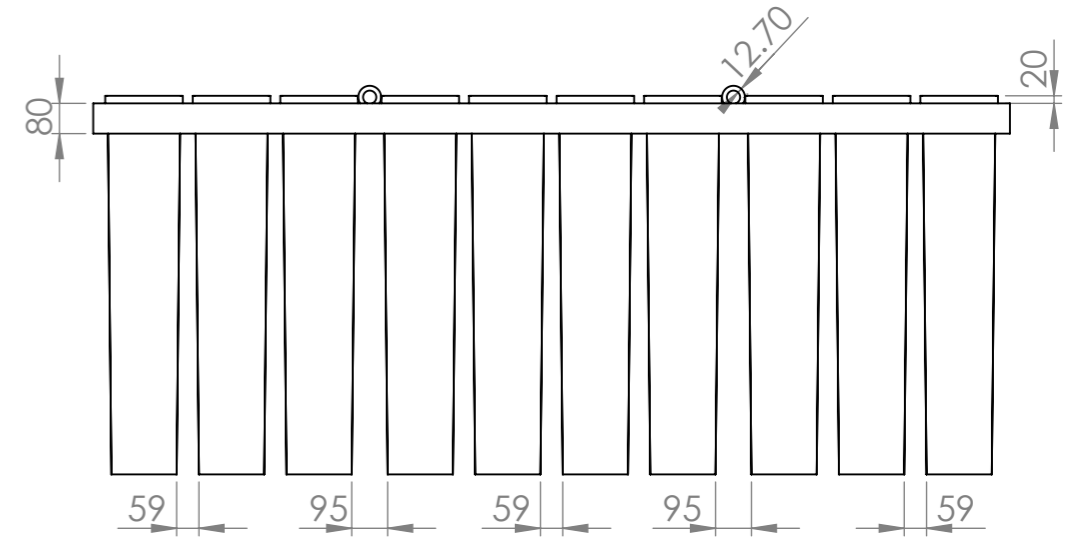
PLANOS

N.º DE ELEMENTO	COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Plancha trapezoidal	Acero inoxidable A.I.S.I 316, longitud superior = 382.54 mm, longitud inferior = 342.54 mm, espesor = 1.27 mm	2
2	Plancha trapezoidal	Acero inoxidable A.I.S.I 316, ancho superior = 192.54 mm, ancho inferior = 172.54 mm, espesor = 1.27 mm	2
3	Plancha rectangular	Acero inoxidable A.I.S.I 316, longitud = 342.54 mm, ancho = 172.54 mm, espesor = 1.27 mm	1
4	Elemento de suspensión	Platinas rectangulares de acero galvanizado, de 395.24 x 20 mm, espesor = 6.35 mm	2
		Platinas rectangulares de acero galvanizado, de 205.24 x 20 mm, espesor = 6.35 mm	2

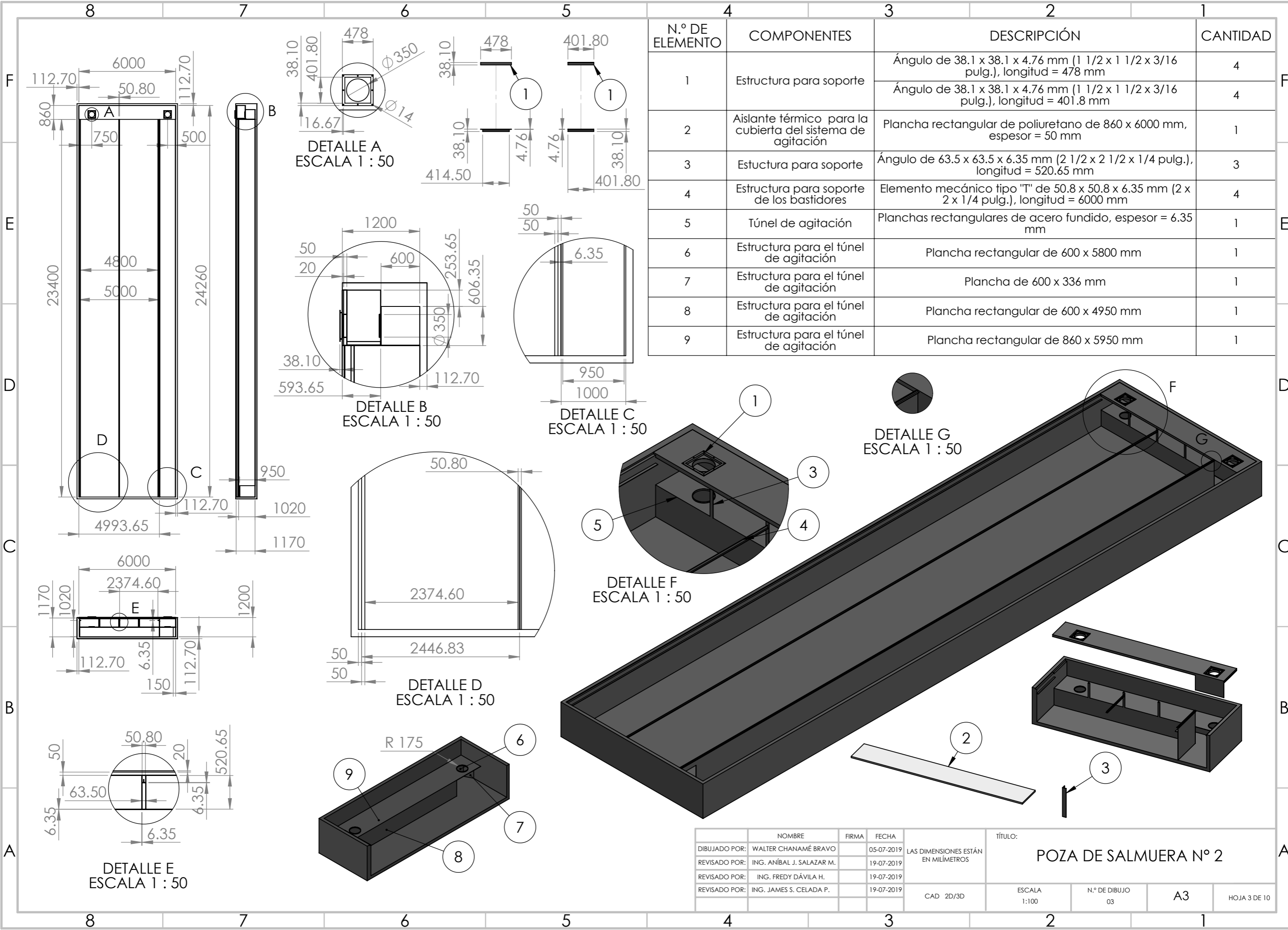


NOMBRE		FIRMA	FECHA	LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS		TÍTULO:			
DIBUJADO POR: WALTER CHANAMÉ BRAVO			05-07-2019	CAD 2D/3D		Molde para el congelamiento del agua			
REVISADO POR: ING. ANÍBAL J. SALAZAR M.			19-07-2019						
REVISADO POR: ING. FREDY DÁVILA H.			19-07-2019						
REVISADO POR: ING. JAMES S. CELADA P.			19-07-2019	MASA: 13 kg.	ESCALA: 1:10	N.º DE DIBUJO 01	A3	HOJA 1 DE 10	

N.º DE ELEMENTO	COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Molde para el congelamiento del agua	Paredes de acero A.I.S.I 316, espesor = 1.27 mm, altura del molde = 1001.27 mm	10
2	Elemento de suspensión	Acero galvanizado, longitud interior = 382.54 mm, ancho interior = 192.54 mm, longitud exterior = 395.24 mm, ancho exterior = 205.24 mm	10
3	Bastidor o chasis	Acero fundido, longitud = 2424.6 mm, ancho = 80 mm, espesor de las planchas = 12.7 mm (1/2 pulg.)	1
4	Gancho del bastidor o chasis	Elemento mecánico "barra circular" de acero fundido, diámetro = 12.7 mm (1/2 pulg.)	2



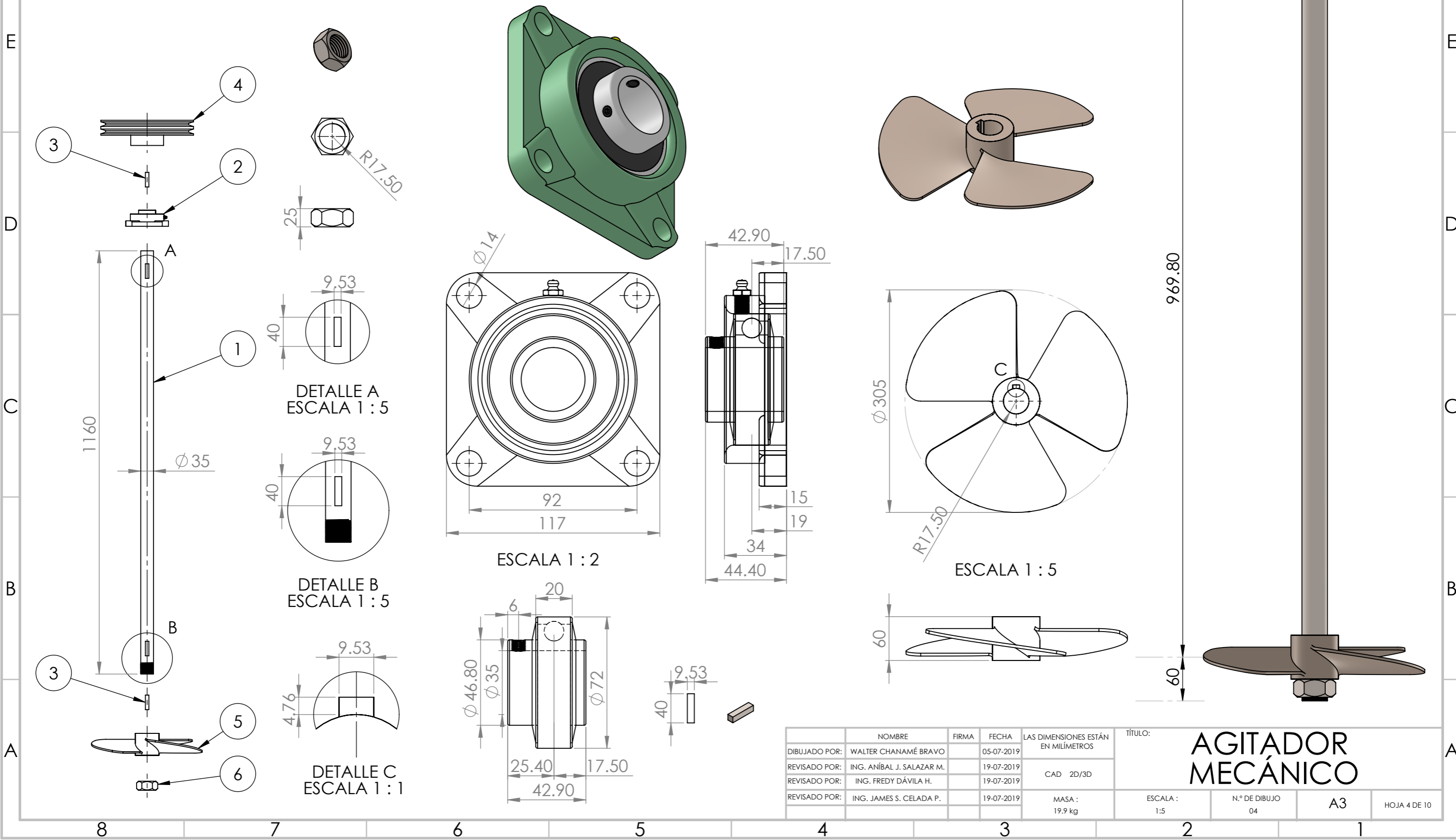
NOMBRE			FIRMA	FECHA	TÍTULO:				
DIBUJADO POR: WALTER CHANAMÉ BRAVO				05-07-2019	LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS Bastidor o chasis para los moldes				
REVISADO POR: ING. ANÍBAL J. SALAZAR M.				19-07-2019					
REVISADO POR: ING. FREDY DÁVILA H.				19-07-2019					
REVISADO POR: ING. JAMES S. CELADA P.				19-07-2019					
CAD 2D/3D					ESCALA : 1:20	N.º DE DIBUJO 02	A3	HOJA 2 DE 10	



N.º DE ELEMENTO	COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Estructura para soporte	Ángulo de 38.1 x 38.1 x 4.76 mm (1 1/2 x 1 1/2 x 3/16 pulg.), longitud = 478 mm	4
		Ángulo de 38.1 x 38.1 x 4.76 mm (1 1/2 x 1 1/2 x 3/16 pulg.), longitud = 401.8 mm	4
2	Aislante térmico para la cubierta del sistema de agitación	Plancha rectangular de poliuretano de 860 x 6000 mm, espesor = 50 mm	1
3	Estructura para soporte	Ángulo de 63.5 x 63.5 x 6.35 mm (2 1/2 x 2 1/2 x 1/4 pulg.), longitud = 520.65 mm	3
4	Estructura para soporte de los bastidores	Elemento mecánico tipo "T" de 50.8 x 50.8 x 6.35 mm (2 x 2 x 1/4 pulg.), longitud = 6000 mm	4
5	Túnel de agitación	Planchas rectangulares de acero fundido, espesor = 6.35 mm	1
6	Estructura para el túnel de agitación	Plancha rectangular de 600 x 5800 mm	1
7	Estructura para el túnel de agitación	Plancha de 600 x 336 mm	1
8	Estructura para el túnel de agitación	Plancha rectangular de 600 x 4950 mm	1
9	Estructura para el túnel de agitación	Plancha rectangular de 860 x 5950 mm	1

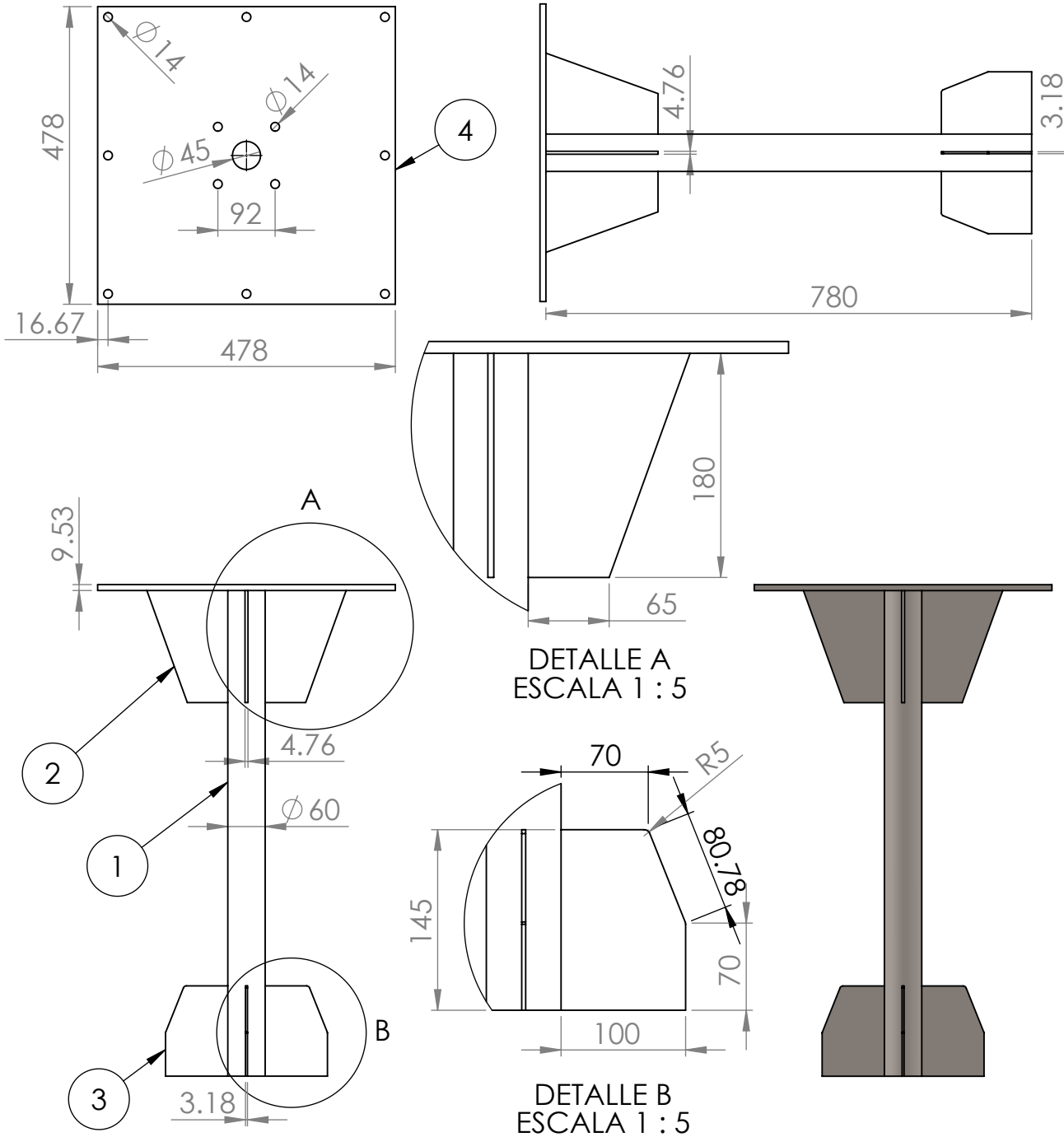
DIBUJADO POR:	WALTER CHANAMÉ BRAVO	FIRMA:	FECHA:	05-07-2019	LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS	TÍTULO: POZA DE SALMUERA N° 2			
REVISADO POR:	ING. ANÍBAL J. SALAZAR M.			19-07-2019					
REVISADO POR:	ING. FREDY DÁVILA H.			19-07-2019					
REVISADO POR:	ING. JAMES S. CELADA P.			19-07-2019					
					CAD 2D/3D	ESCALA 1:100	N.º DE DIBUJO 03	A3	HOJA 3 DE 10

N.º DE ELEMENTO	COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Eje de agitador	Acero A.I.S.I 316, diámetro = 35 mm, longitud = 1160 mm	1
2	Chumacera de pared	NTN, UCF207D1	1
3	Cuña (polea conducida-eje de agitador, impulsor-eje de agitador)	Acero A.I.S.I 316, sección cuadrada de 9.53 x 9.53 mm (3/8 x 3/8 pulg.), longitud = 40 mm	2
4	Polea conducida	Diámetro exterior = 254 mm (10 pulg.), diámetro interior = 35 mm	1
5	Impulsor tipo hélice marina	Bronce, diámetro exterior = 305 mm, diámetro interior = 35 mm	1
6	Tuerca M35	M35 x 4	1



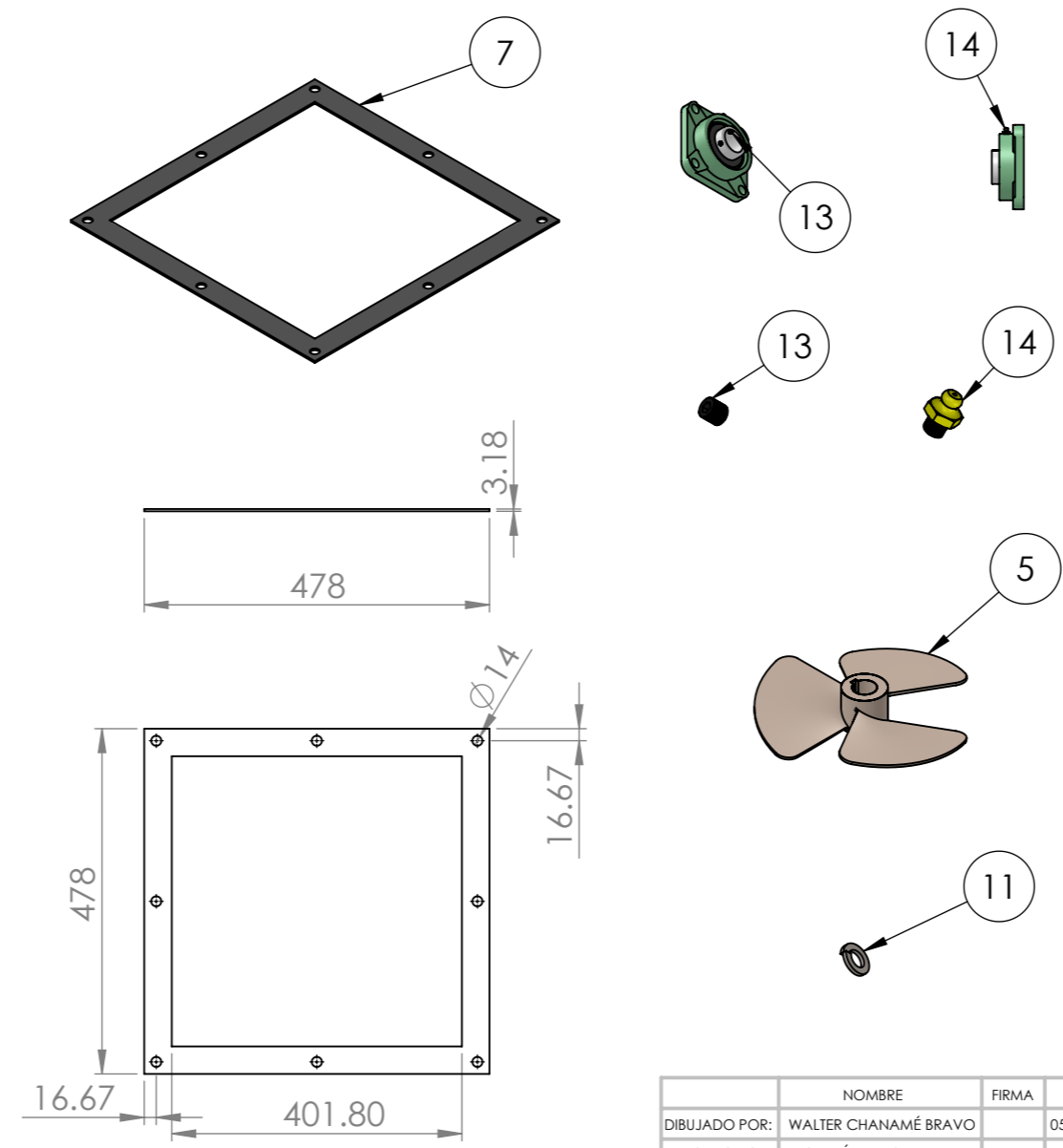
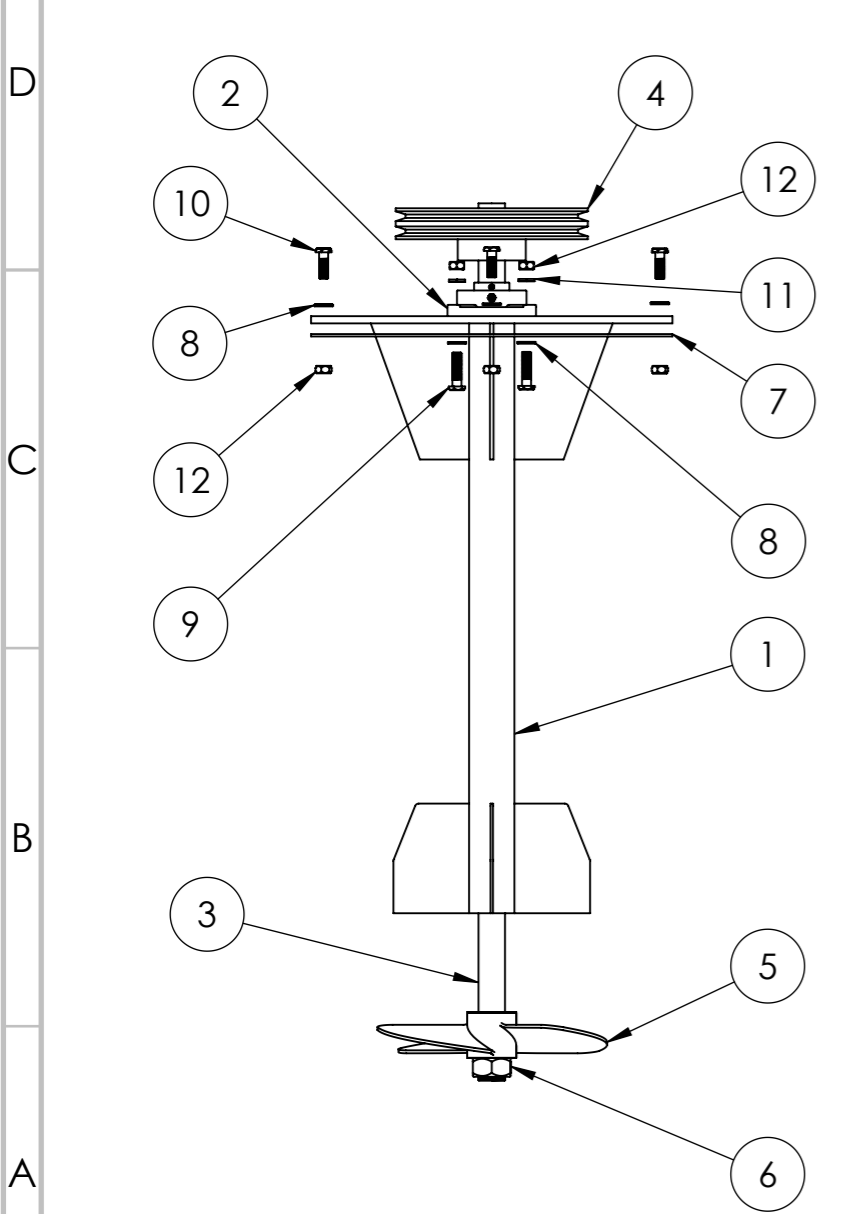
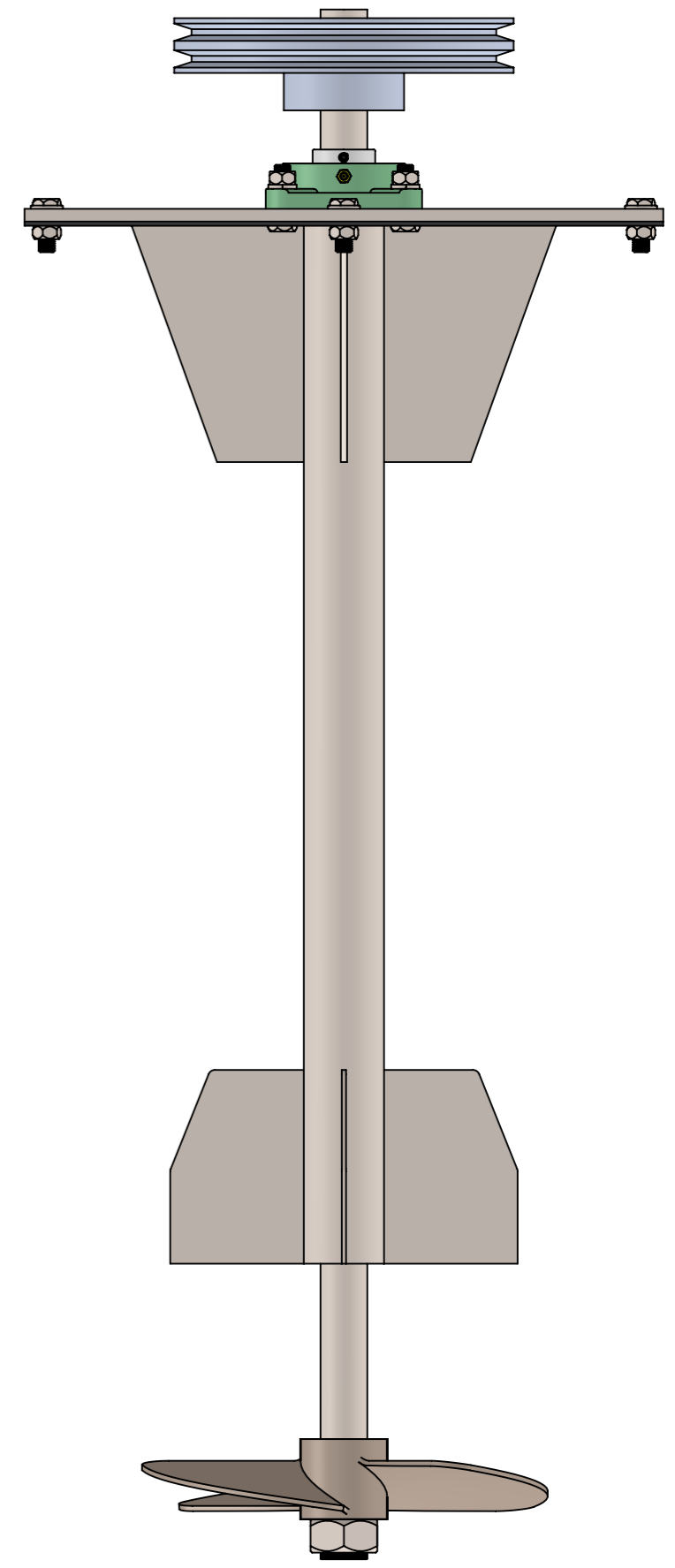
DIBUJADO POR:	WALTER CHANAMÉ BRAVO	FIRMA:		FECHA:	05-07-2019	LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS		TÍTULO: AGITADOR MECÁNICO			
REVISADO POR:	ING. ANÍBAL J. SALAZAR M.				19-07-2019	CAD 2D/3D		ESCALA:	1:5	N.º DE DIBUJO	04
REVISADO POR:	ING. FREDY DÁVILA H.				19-07-2019	MASA:				A3	HOJA 4 DE 10
REVISADO POR:	ING. JAMES S. CELADA P.				19-07-2019	19.9 kg					

N.º DE ELEMENTO	COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Tubo hueco	Acero inoxidable A.I.S.I 316, diámetro exterior = 60 mm, diámetro interior = 45 mm, longitud = 780 mm	1
2	Placas trapezoidales	Acero inoxidable A.I.S.I 316, lado menor = 65 mm, lado mayor = 130 mm, longitud = 180 mm, espesor = 4.76 mm (3/16 pulg.)	4
3	Placas en forma de aletas	Acero inoxidable A.I.S.I 316, espesor = 3.175 mm (1/8 pulg.)	4
4	Plancha cuadrada	Acero inoxidable A.I.S.I 316 de 478 x 478 mm, espesor = 9.53 mm (3/8 pulg.)	1

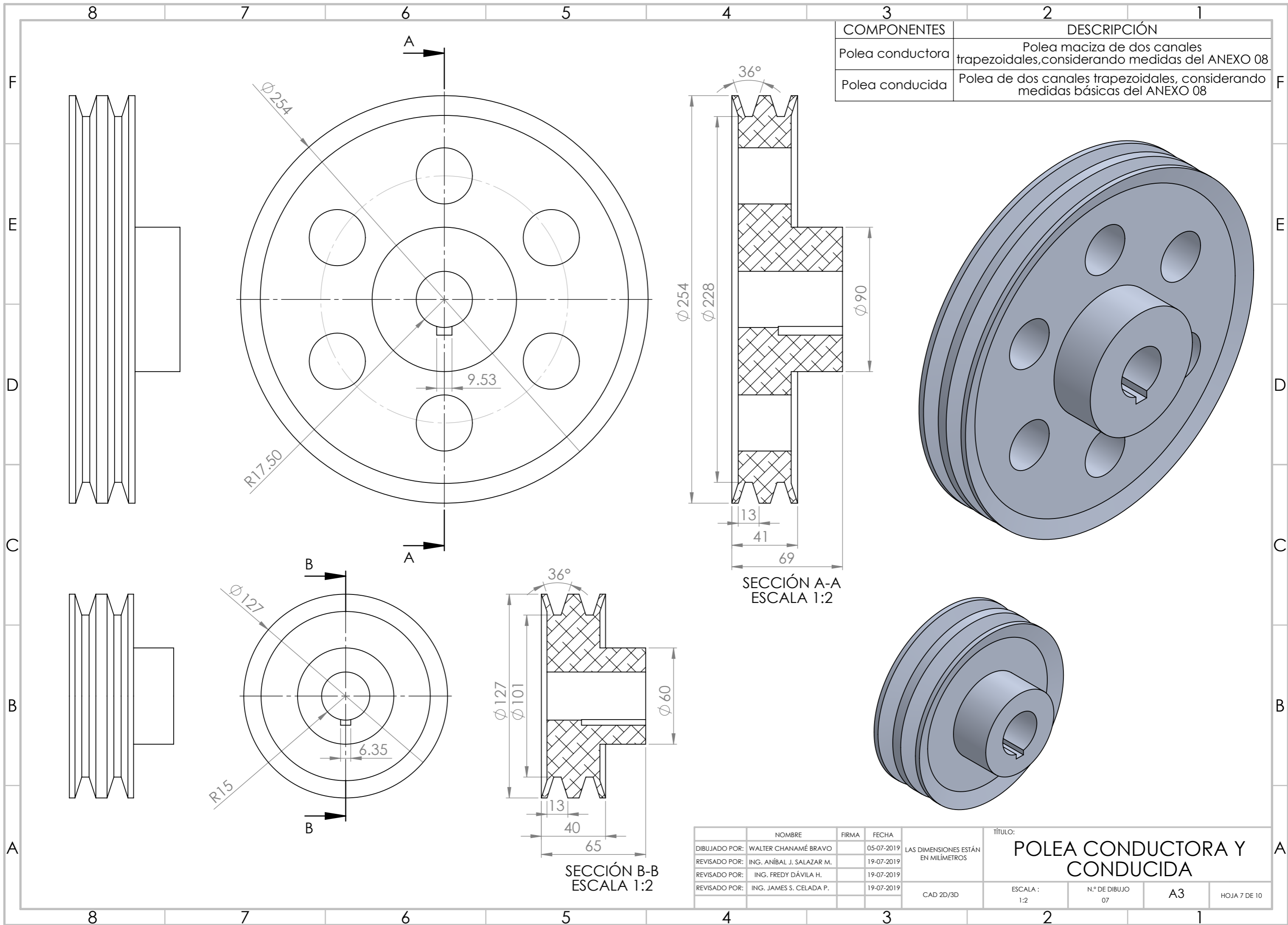


NOMBRE	FIRMA	FECHA	LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS	TÍTULO:	
DISEÑADO POR: WALTER CHANAMÉ BRAVO		05-07-2019	CAD 2D / 3D	SOPORTE MECÁNICO PARA LA CHUMACERA - AGITADOR	
REVISADO POR: ING. ANÍBAL J. SALAZAR M.		19-07-2019			
REVISADO POR: ING. FREDY DÁVILA H.		19-07-2019			
REVISADO POR: ING. JAMES S. CELADA P.		19-07-2019			
MASA: 28.9 kg.			ESCALA: 1:10	N.º DE DIBUJO 05	
				A4	HOJA 5 DE 10

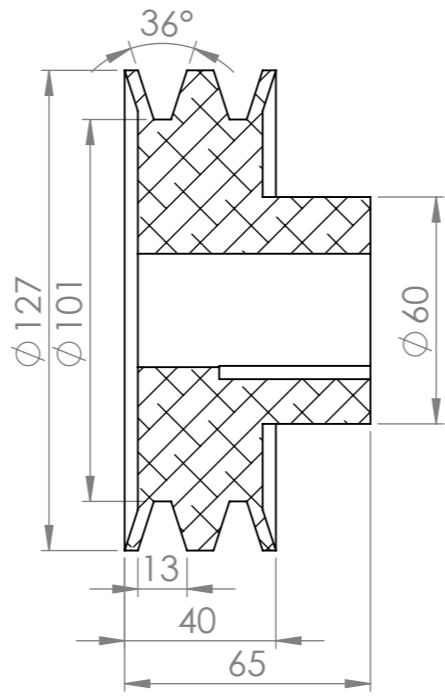
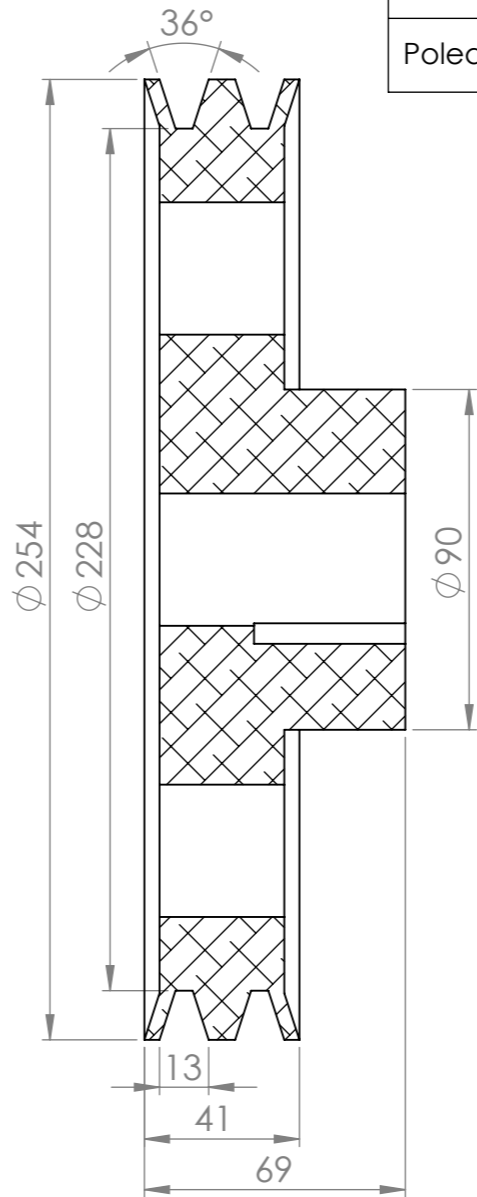
N.º DE ELEMENTO	COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Soporte mecánico para el agitador	Elemento mecánico de acero inoxidable A.I.S.I 316	1
2	Chumacera de pared	NTN, UCF207D1	1
3	Eje de agitador	Acero A.I.S.I 316, diámetro = 35 mm, longitud = 1160 mm	1
4	Polea conducida	Diámetro exterior = 254 mm (10 pulg.), diámetro interior = 35 mm	1
5	Impulsor tipo hélice marina	Bronce, diámetro exterior = 305 mm, diámetro interior = 35 mm	1
6	Tuerca M35	M35 x 4	1
7	Empaquetadura	Jebe y lona , espesor = 3.175 mm (1/8 pulg.)	1
8	Arandela plana	M12 mm	12
9	Perno M12	M12, 1.75 x 45	4
10	Perno M12	M12, 1.75 x 35	8
11	Arandela de presión	M 12 mm	4
12	Tuerca M12	M12 x 1.75	12
13	Prisionero del rodamiento de la chumacera	Tornillo de fijación, M6 x 0.75	2
14	Grasera de la chumacera	Tornillo para la grasera de la chumacera UCF207D1	1



NOMBRE	FIRMA	FECHA	LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS	TÍTULO:
DIBUJADO POR: WALTER CHANAMÉ BRAVO		05-07-2019	CAD 2D/3D	Agitador mecánico montado en el soporte
REVISADO POR: ING. ANÍBAL J. SALAZAR M.		19-07-2019		
REVISADO POR: ING. FREDY DÁVILA H.		19-07-2019	MASA: 49.8 kg	ESCALA: 1:5
REVISADO POR: ING. JAMES S. CELADA P.		19-07-2019		
			N.º DE DIBUJO 06	A3
				HOJA 6 DE 10

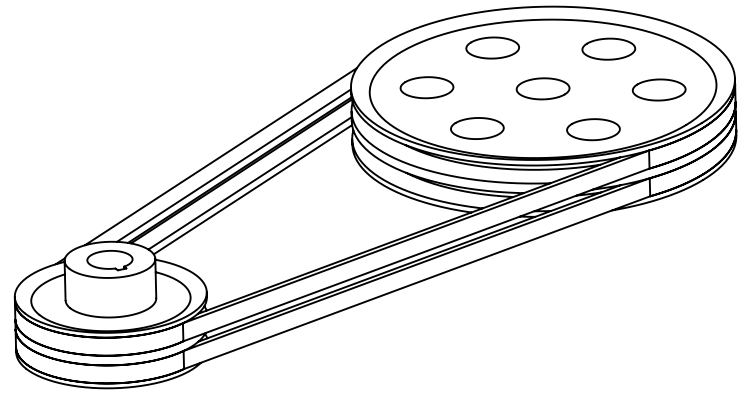
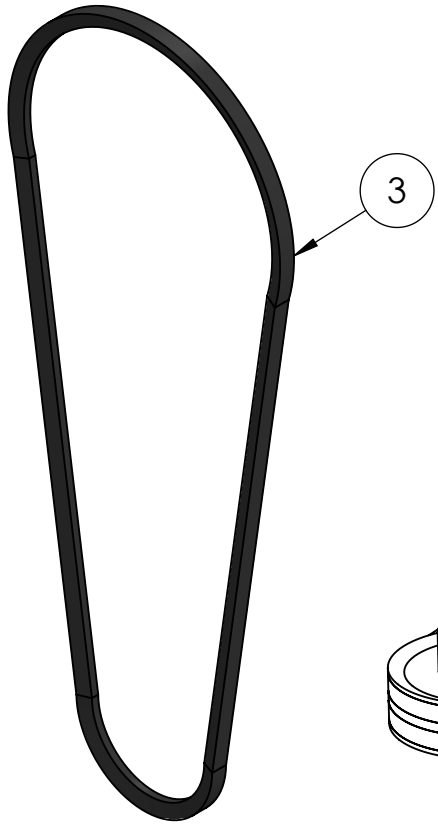
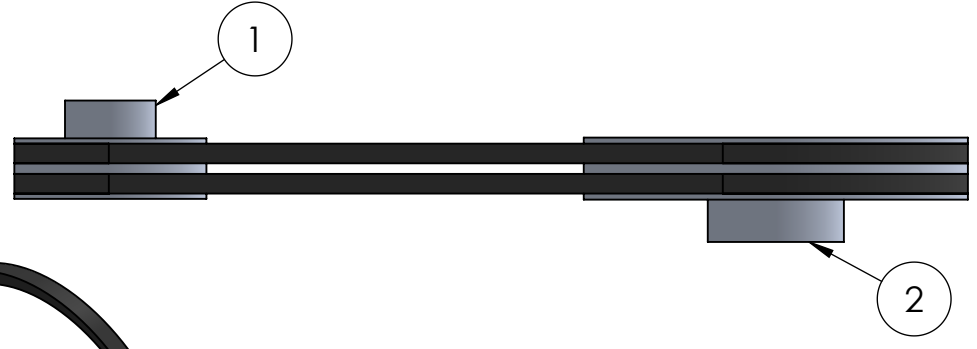
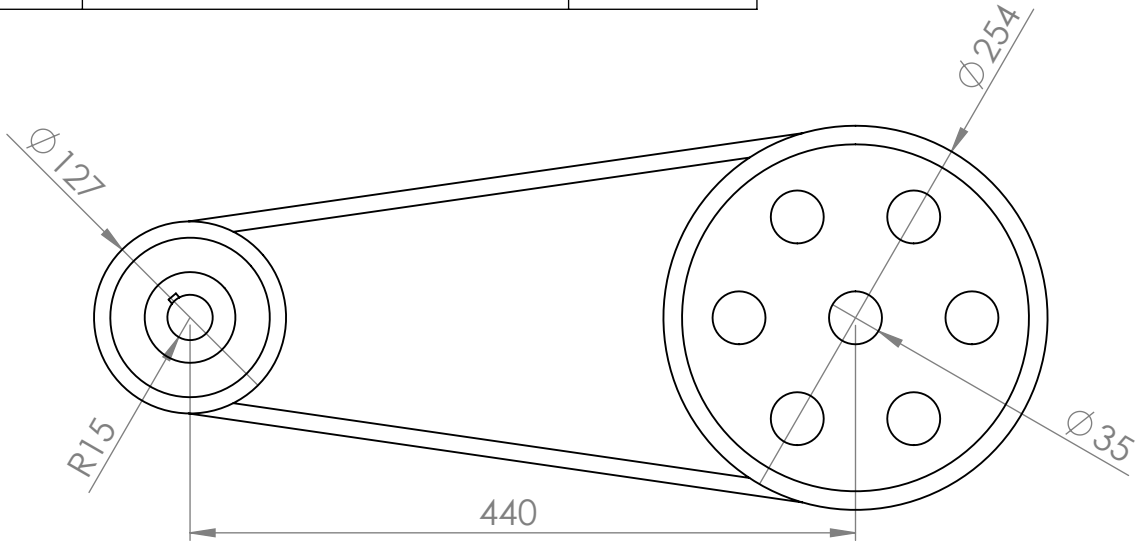


COMPONENTES	DESCRIPCIÓN
Polea conductora	Polea maciza de dos canales trapezoidales, considerando medidas del ANEXO 08
Polea conducida	Polea de dos canales trapezoidales, considerando medidas básicas del ANEXO 08



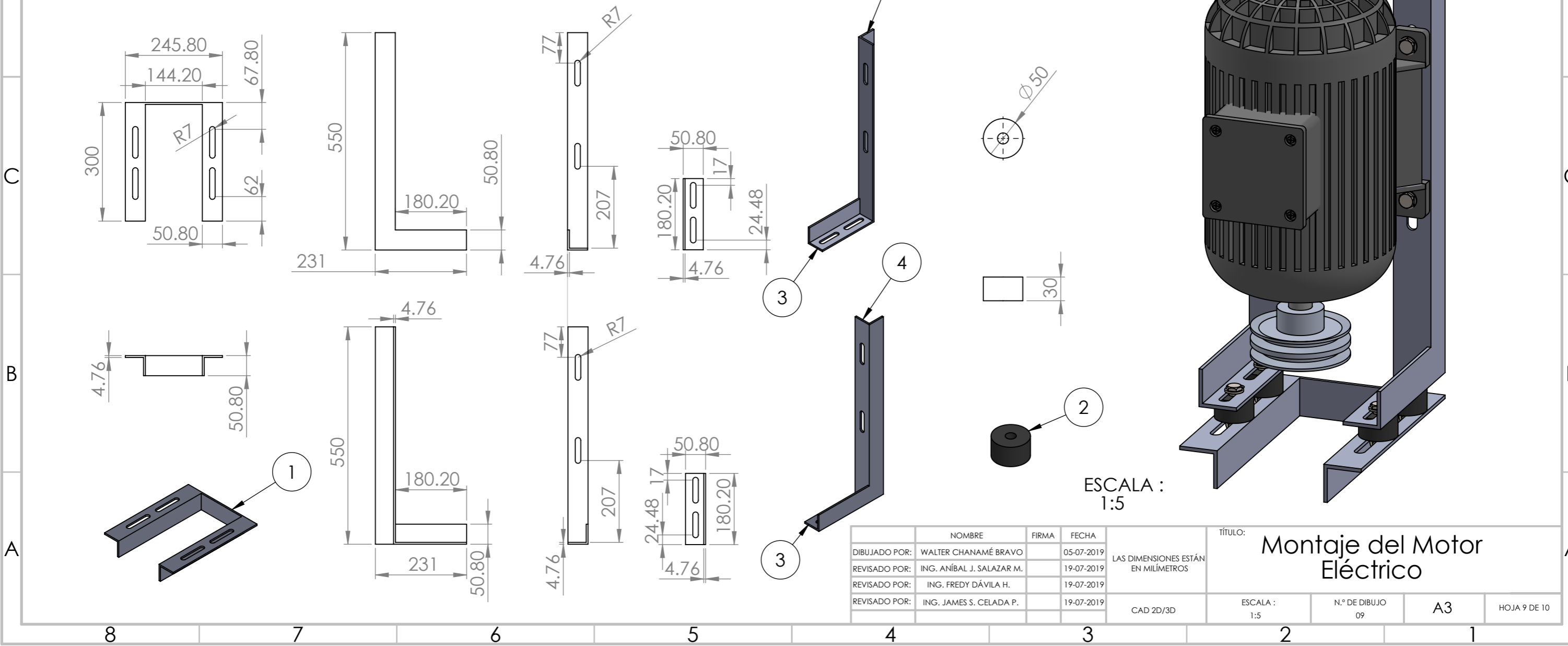
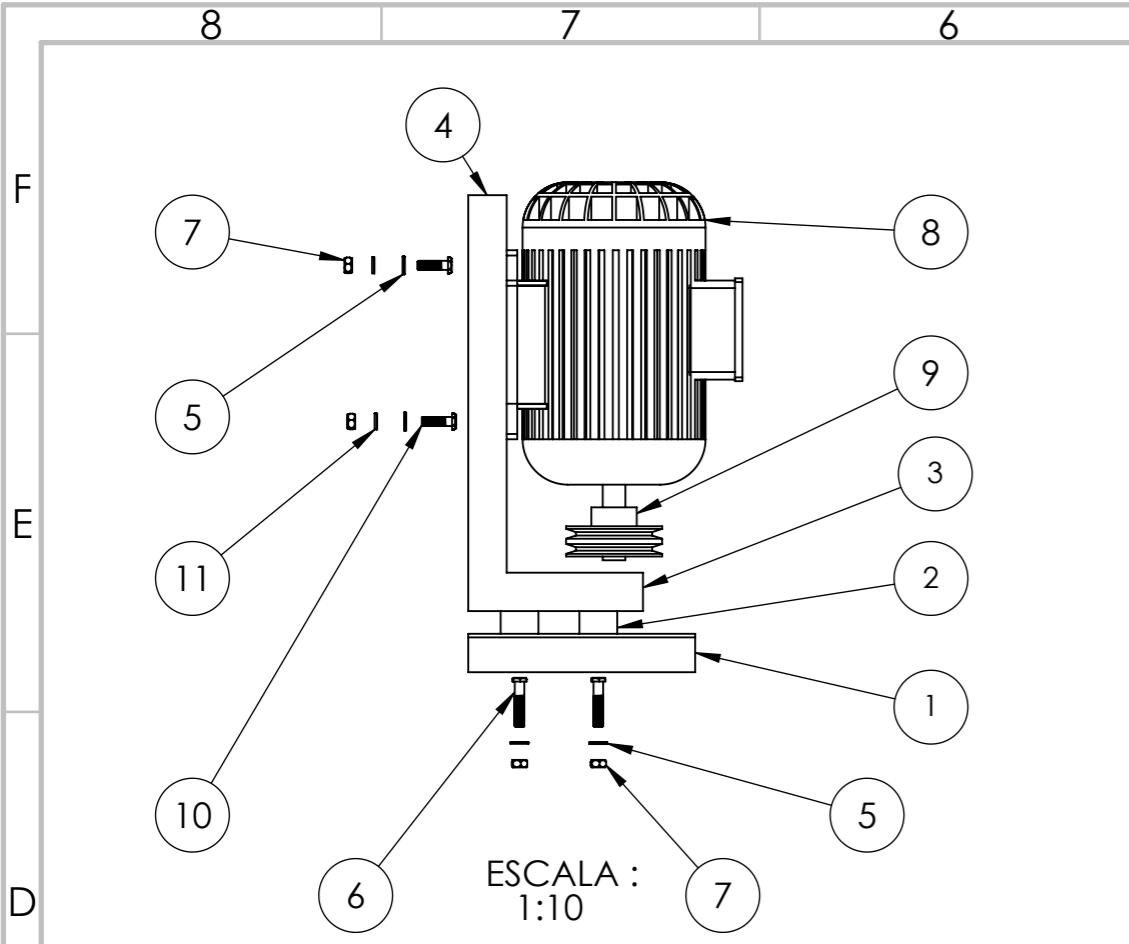
NOMBRE			FIRMA	FECHA	TÍTULO:	DESCRIPCIÓN				
DIBUJADO POR: WALTER CHANAMÉ BRAVO				05-07-2019		LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS	POLEA CONDUCTORA Y CONDUCCIDA ESCALA : 1:2 N.º DE DIBUJO 07 A3 HOJA 7 DE 10			
REVISADO POR: ING. ANÍBAL J. SALAZAR M.				19-07-2019						
REVISADO POR: ING. FREDY DÁVILA H.				19-07-2019						
REVISADO POR: ING. JAMES S. CELADA P.				19-07-2019						
CAD 2D/3D										

N.º DE ELEMENTO	COMPONENTES	CANTIDAD
1	Polea conductora	1
2	Polea conducida	1
3	Correa trapezoidal A-58	2



	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:
DIBUJADO POR:	WALTER CHANAMÉ BRAVO		05-07-2019	SISTEMA DE TRANSMISIÓN
REVISADO POR:	ING. ANÍBAL J. SALAZAR M.		19-07-2019	
REVISADO POR:	ING. FREDY DÁVILA H.		19-07-2019	
REVISADO POR:	ING. JAMES S. CELADA P.		19-07-2019	
	LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS			ESCALA : 1:5
	CAD 2D/3D			N.º DE DIBUJO 08
				A4
				HOJA 8 DE 10

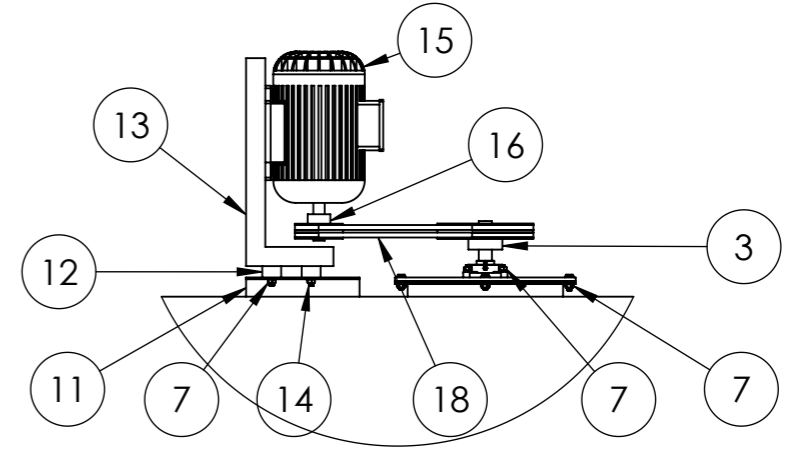
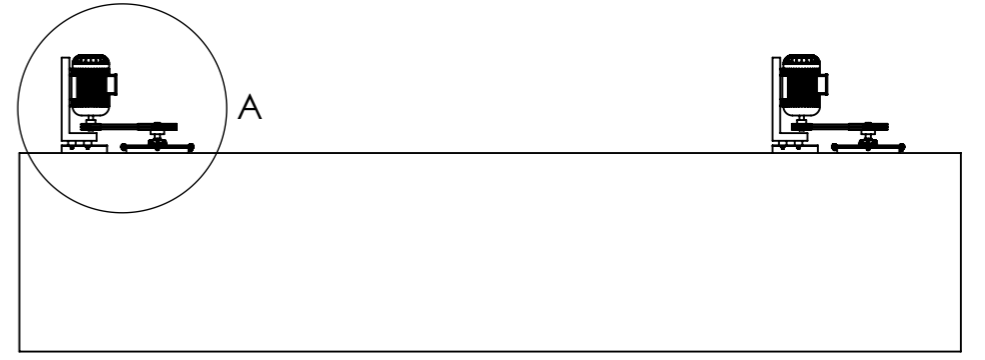
N.º DE ELEMENTO	COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Estructura para el motor eléctrico	Ángulo de acero de 50.8 x 50.8 x 4.76 mm (2 x 2 x 3/16 pulg.), longitud 300 mm	2
		plancha rectangular de acero de 144.2 x 50.8 mm, espesor = 4.76 mm (3/16 pulg.)	1
2	Soporte aislador de vibraciones	Elemento de forma cilíndrica (hueco), material de goma, diámetro exterior = 50 mm, diámetro interior = 14 mm, altura = 30 mm	4
3	estructura para el motor eléctrico	Ángulo de acero de 50.8 x 50.8 x 4.76 mm (2 x 2 x 3/16 pulg.), longitud = 180.2 mm	2
4	estructura para el motor eléctrico	Ángulo de acero de 50.8 x 50.8 x 4.76 mm (2 x 2 x 3/16 pulg.), longitud = 550 mm	2
5	Arandela plana	M12 mm	8
6	Perno M12	M12, 1.75 x 60	4
7	Tuerca M12	M12 x 1.75	8
8	Motor eléctrico	Trifásico de 5 HP, 440 V, 1800 rpm	1
9	Polea conductora	Diámetro exterior = 127 mm (5 pulg.)	1
10	Perno M12	M12, 1.75 x 40	4
11	Arandela de presión	M12 mm	4



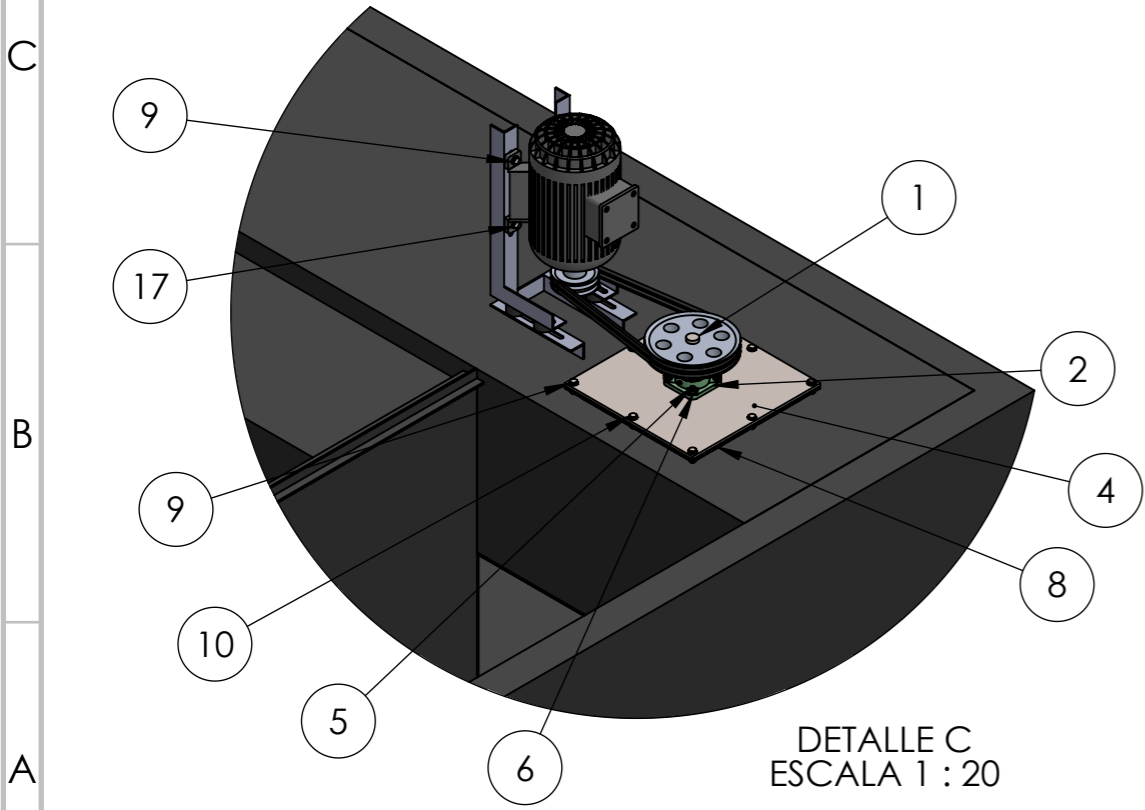
NOMBRE			FIRMA			FECHA			TÍTULO:		
DIBUJADO POR: WALTER CHANAMÉ BRAVO						05-07-2019			LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS		
REVISADO POR: ING. ANÍBAL J. SALAZAR M.						19-07-2019					
REVISADO POR: ING. FREDY DÁVILA H.						19-07-2019					
REVISADO POR: ING. JAMES S. CELADA P.						19-07-2019					
CAD 2D/3D						ESCALA: 1:5		N.º DE DIBUJO 09		A3	

Montaje del Motor Eléctrico

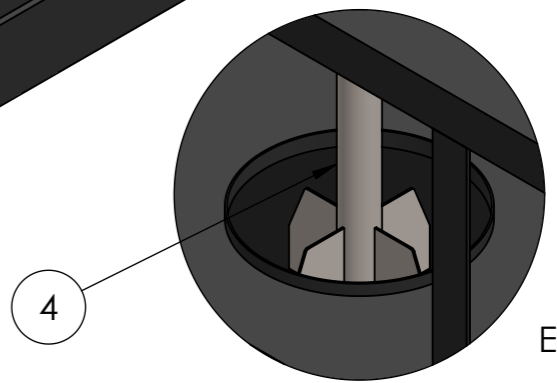
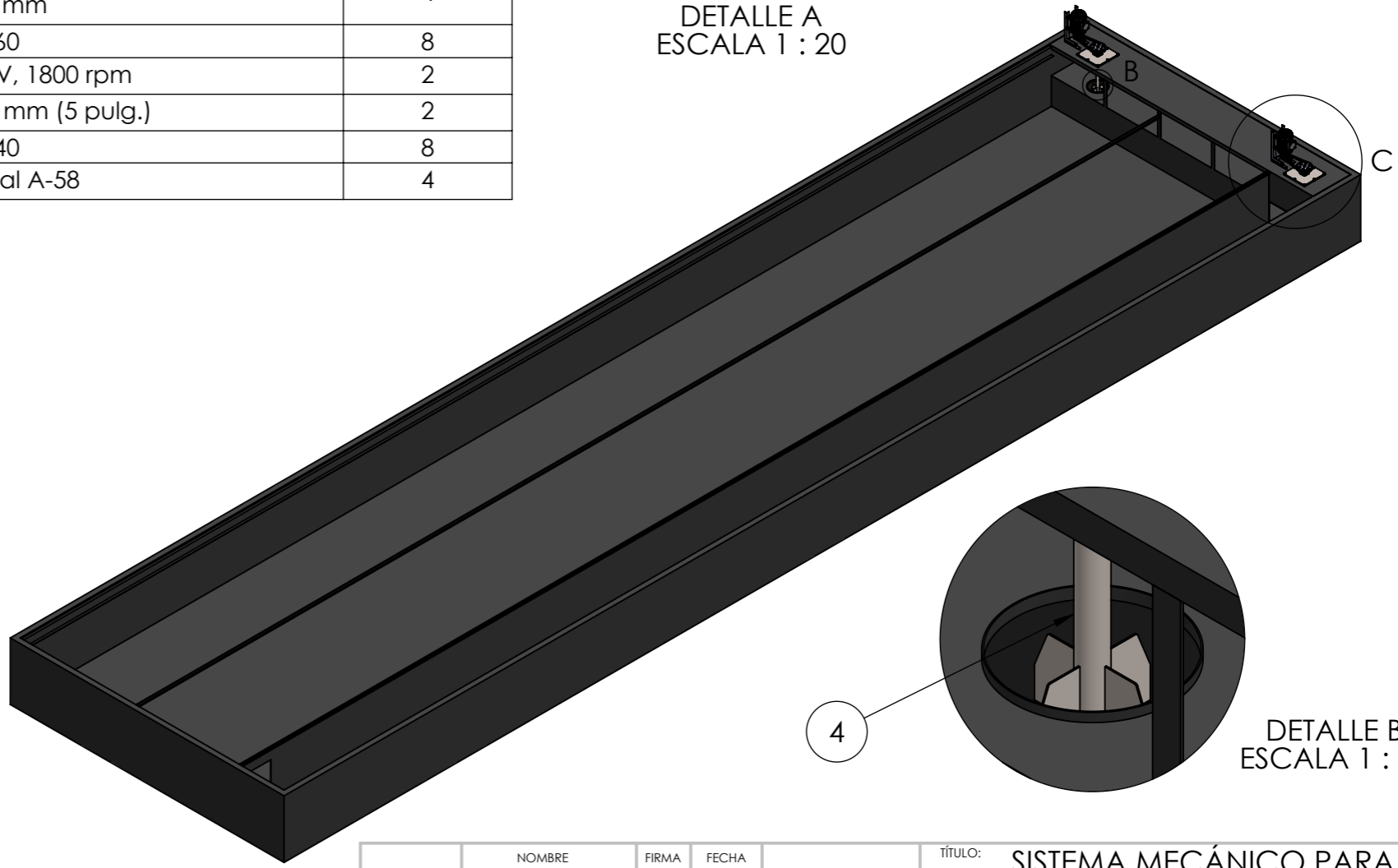
N.º DE ELEMENTO	COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Eje de agitador	Acero A.I.S.I 316, diámetro = 35 mm, longitud = 1160 mm	2
2	Chumacera de pared	NTN, UCF207D1	2
3	Polea conducida	Diámetro exterior = 254 mm (10 pulg.), diámetro interior = 35 mm	2
4	Soporte mecánico para el agitador	Elemento mecánico de acero inoxidable A.I.S.I 316	2
5	Perno M12	M12, 1.75 x 45	8
6	Arandela de presión	M12 mm	16
7	Tuerca M12	M12 x 1.75	40
8	Empaquetadura	Jebe y lona, espesor = 3.175 mm (1/8 pulg.)	2
9	Arandela plana	M12 mm	40
10	Perno M12	M12, 1.75 x 35	16
11	Estructura para el motor eléctrico	Ángulo de acero de 50.8 x 50.8 x 4.76 mm (2 x 2 x 3/16 pulg.), longitud = 300 mm	4
		Plancha rectangular de acero de 144.2 x 50.8 mm, espesor = 4.76 mm (3/16 pulg.)	2
12	Soporte aislador de vibraciones	Elemento de forma cilíndrica (hueco), material de goma, diámetro exterior = 50 mm, diámetro interior = 14 mm, altura = 30 mm	8
13	Estructura para el motor eléctrico	Ángulo de acero de 50.8 x 50.8 x 4.76 mm (2 x 2 x 3/16 pulg.), longitud = 180.2 mm	4
		Ángulo de acero de 50.8 x 50.8 x 4.76 mm (2 x 2 x 3/16 pulg.), longitud = 550 mm	4
14	Perno M12	M12, 1.75 x 60	8
15	Motor eléctrico	Trifásico de 5 HP, 440 V, 1800 rpm	2
16	Polea conductora	Diámetro exterior = 127 mm (5 pulg.)	2
17	Perno M12	M12, 1.75 x 40	8
18	Correa tipo "V"	Correa trapezoidal A-58	4



DETALLE A
ESCALA 1 : 20

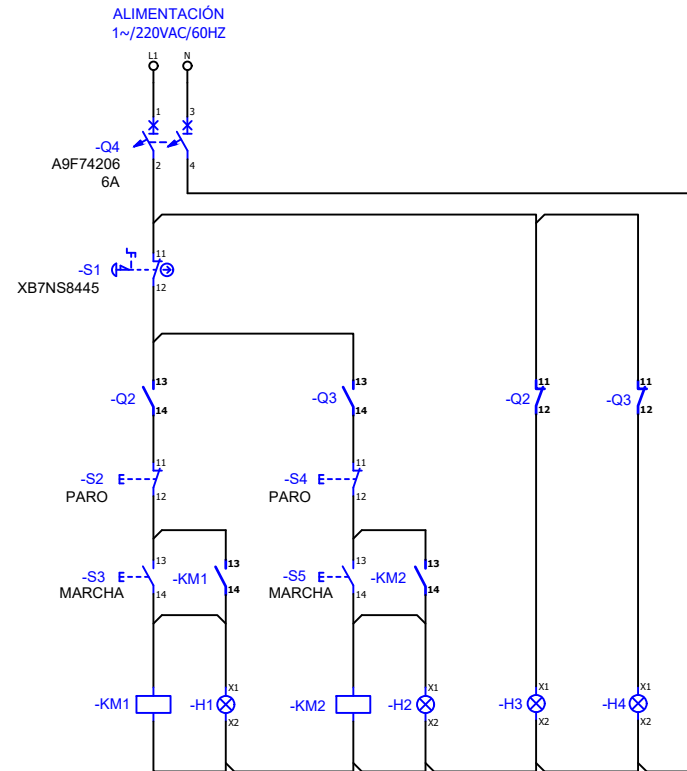
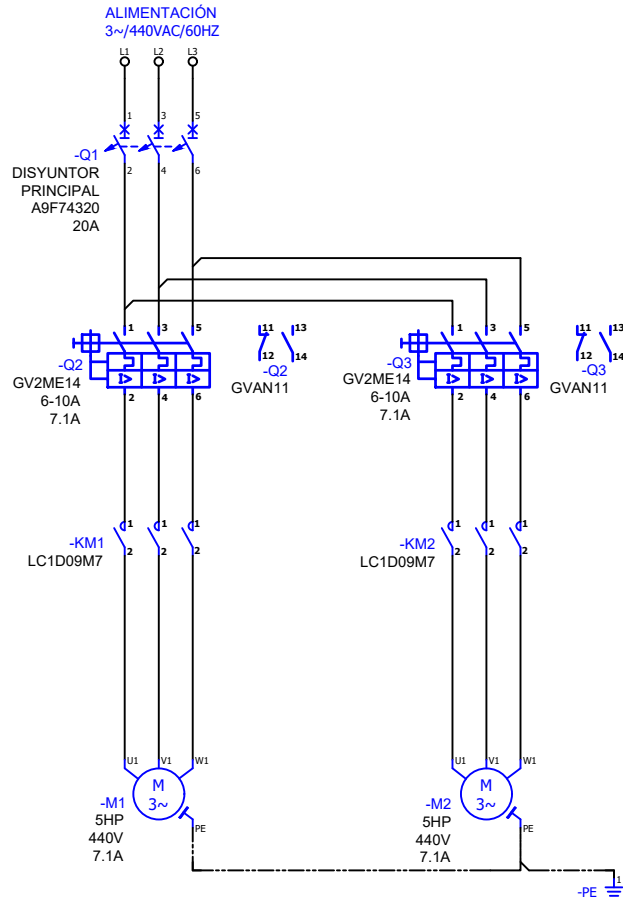


DETALLE C
ESCALA 1 : 20



DETALLE B
ESCALA 1 : 10

DIBUJADO POR:	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:
DIBUJADO POR:	WALTER CHANAMÉ BRAVO		05-07-2019	SISTEMA MECÁNICO PARA LA AGITACIÓN DE SALMUERA
REVISADO POR:	ING. ANÍBAL J. SALAZAR M.		19-07-2019	
REVISADO POR:	ING. FREDY DÁVILA H.		19-07-2019	
REVISADO POR:	ING. JAMES S. CELADA P.		19-07-2019	
LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS				ESCALA : 1:100
CAD 2D/3D				N.º DE DIBUJO 10
				A3
				HOJA 10 DE 10



	Nombre	Fecha	Título	Descripción del plano
Dibujado por:	Walter Chanamé Bravo	06-07-2019	Arranque directo de motores eléctricos para los agitadores mecánicos	Diagrama multifilar de los circuitos de control y fuerza
Revisado por:	Ing. Anibal J. Salazar Mendoza	19-07-2019		
Revisado por:	Ing. Fredy Dávila Hurtado	19-07-2019		
Revisado por:	Ing. James S. Celada Padilla	19-07-2019		
			Norma	IEC 60617