



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABI

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECÁNICA NAVAL

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO EN MECÁNICA NAVAL

TEMA:

**“CÁLCULO Y SELECCIÓN DE UN ENFRIADOR (CHILLER) EN LA PLANTA DE
HORMIGÓN GEO 1 DE LA CONSTRUCTORA RIPCONCIV DE LA CIUDAD DE
GUAYAQUIL, PARA REDUCIR LA TEMPERATURA DEL AGUA DE MEZCLA
DEL HORMIGÓN.”**

AUTORES:

CASTRO SOLÓRZANO CARLOS DANIEL

MENDOZA DAZA CARLOS VINICIO

DIRECTOR DE TESIS:

ING. PABLO HIDROVO

2014-2015



CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

En calidad de Director de Tesis del trabajo de titulación **“CÁLCULO Y SELECCIÓN DE UN ENFRIADOR (CHILLER) EN LA PLANTA DE HORMIGÓN GEO 1 DE LA CONSTRUCTORA RIPCONCIV DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL, PARA REDUCIR LA TEMPERATURA DEL AGUA DE MEZCLA DEL HORMIGÓN.”**, de los egresados **MENDOZA DAZA CARLOS VINICIO**, con Cédula de ciudadanía número 131096399-4 y, **CASTRO SOLÓRZANO CARLOS DANIEL**, con Cédula de ciudadanía número 131182207-4, de la Carrera de Ingeniería en Mecánica Naval, ha sido revisado periódicamente y cumple con las normas legales académicas, así como la redacción establecida y reglamento de graduación.

Por lo tanto considero que el presente trabajo de titulación reúne los méritos necesarios para la previa evaluación del tribunal que el Consejo de Facultad designe.

Ing. Pablo Hidrovo Alcívar

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA DE TESIS

MENDOZA DAZA CARLOS VINICIO, con cédula de ciudadanía número 131096399-4, y **CASTRO SOLÓRZANO CARLOS DANIEL**, con cédula de ciudadanía número 131182207-4, egresados de la Carrera de Ingeniería Mecánica Naval, de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, en calidad de autores del trabajo de grado **“CÁLCULO Y SELECCIÓN DE UN ENFRIADOR (CHILLER) EN LA PLANTA DE HORMIGÓN GEO 1 DE LA CONSTRUCTORA RIPCONCIV DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL, PARA REDUCIR LA TEMPERATURA DEL AGUA DE MEZCLA DEL HORMIGÓN.”**, tenemos a bien mencionar que:

Las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de grado, son de nuestra exclusiva autoría, por lo tanto declaramos formalmente nuestra responsabilidad en dicha investigación y reiteramos además que el tema mencionado está desarrollado a base de investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes de referencia se encuentran citadas en la bibliografía de la tesis de grado.

En virtud de lo mencionado declaramos nuestra responsabilidad del contenido, dando veracidad y alcance científico de dicho trabajo de titulación.

Manta, Septiembre de 2016

APROBACIÓN



UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECÁNICA NAVAL

Sometida a consideración del Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí de la ciudad de Manta, como requisito previo la obtención del título de Ingenieros en Mecánica Naval.

Aprobado por el Tribunal Examinador:

Ing. Enrique Figueroa Soledispa Mg.

DECANO

Ing. Pablo Hidrovo Alcívar

DIRECTOR DE TESIS

JURADO EXAMINADOR

JURADO EXAMINADOR

JURADO EXAMINADOR

TABLA DE CONTENIDOS

Capítulo I: Generalidades del proyecto.....	9
1.1. Localización geográfica y político- administrativa.....	9
1.1.1. Descripción general de la empresa y su actividad.	9
1.1.2. Instalaciones físicas de la planta Geo 1	11
1.2. Características y requerimientos de la planta Geo 1	11
1.3. Descripción de las actividades de la planta Geo 1	12
1.4. Situación actual del sistema de proceso de hormigón de la empresa.....	13
1.4.1. Revisión de Calidad de agregados.-.....	13
1.4.2. Cálculo de peso según corresponda a cada diseño.....	14
1.4.3. Chequeo de Calidad en conteo de agua.	15
1.4.4. Dosificación de acuerdo al diseño	15
Capítulo II: Elaboración de hormigón	17
2.1. Componentes del hormigón.	17
2.1.1. Aire	17
2.1.2. Los aditivos.....	18
2.1.3. El agua	18
2.1.4. Cemento.....	19
2.1.5. Agregados.....	20

2.2. Otras precauciones a adoptar.....	22
2.3. Diseño de las mezclas	25
2.3.1. Procedimiento constructivo	26
2.4. Curado del hormigón.....	27
2.4.1. Humedad.....	27
2.4.2. Temperatura.....	27
2.4.3. Deficiencias del Curado.....	28
2.4.4. Condiciones básicas de un curado adecuado	28
2.4.5. Relación entre el curado y desarrollo de resistencias	28
2.5. Criterios de calidad del agua para uso del hormigón	29
2.5.1. Requisitos de calidad	31
2.6. Medición de los materiales en volumen en obra	32
2.7. Mezclado, transporte y colocación.....	32
2.8. Dosificación	33
2.8.1. Aditivos retardadores de fragua.....	33
2.8.2. Aditivos reductores de fragua.....	33
2.9. Almacenamiento de los materiales.....	33
2.10. Preparación de la mezcla.....	34
2.11. Planteamiento de alternativas de enfriamiento del hormigón	34

2.11.1. Métodos de enfriamiento del hormigón.....	35
2.11.1.1. <i>Enfriamiento de hormigón con hielo escamado</i>	36
2.11.1.2. <i>Enfriamiento Chiller</i>	38
2.11.1.3. <i>Enfriamiento con nitrógeno</i>	39
2.11.2. Costos de alternativa óptima.....	40
2.12. Selección de alternativa.....	42
Capítulo III: Enfriador Chiller	44
3.1. Definición del enfriador chiller	44
3.2. Características de los chiller.....	45
3.3. Componentes del chiller.....	45
3.3.1. Compresor	46
3.3.2. Condensador	61
3.3.2.1. <i>Clasificación de los condensadores</i>	62
3.3.3. Válvula termostática de expansión (TXV)	69
3.3.3.1. <i>Componentes de la Válvula de expansión termostática</i>	70
3.3.4. Evaporador.....	73
3.3.4.1. <i>Clasificación de los evaporadores</i>	73
3.3.5. Dispositivos y controles.....	80
3.3.5.1. <i>Termostato:</i>	80

3.3.5.2.	<i>Presostatos:</i>	80
3.3.5.3.	<i>Calefactor de cárter:</i>	80
3.3.5.4.	<i>Filtro deshidratador de succión:</i>	81
3.3.5.5.	<i>Filtro deshidratador de líquido:</i>	81
3.3.5.6.	<i>Indicador de líquido o cristal mirilla:</i>	81
3.3.5.7.	<i>Circuito de control:</i>	81
3.3.5.8.	<i>Bombas de agua:</i>	82
3.4.	Principio de operación del chiller.....	83
3.4.1.	Selección de Equipos y Sistemas de Enfriamiento	83
3.4.2.	Requerimientos.	84
3.4.3.	Análisis termodinámico:	84
Capitulo IV: Cálculo y selección del equipo chiller		86
4.1.	Cálculo para la selección del equipo generador de agua helada.	86
4.1.1.	La Aplicación.....	86
4.1.2.	Rangos de Temperatura y caudal.....	86
4.1.3.	Características del Circuito	87
4.1.4.	Selección del equipo según el requerimiento energético.	87
4.2.	Selección de la Unidad Generadora de agua helada para el proceso de producción de hormigón.	88

4.2.1.	Método de selección del equipo según sus condiciones ambientales	88
4.2.2.	Condiciones de los factores de energía eléctrica en el lugar de instalación.	90
4.2.3.	Balance de Carga Térmica.	90
4.2.4.	Selección de bombas.	90
4.3.	Sobrecalentamiento y Sub-enfriamiento.	92
Capítulo V: Análisis Financiero.....		94
5.1.	Costos de implementación del chiller	94
5.2.	Mantenimiento del equipo chiller	94
5.3.	Flujo neto de caja	94
5.4.	VPN ó VAN = Valor presente neto (valor actual neto)	96
5.5.	TIR = Tasa Interna de Retorno.....	98
5.6.	Análisis Beneficio – Costo	100
Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones.....		102
6.1.	Conclusiones	102
6.2.	Recomendaciones.....	103
Referencias Bibliográficas.....		104

Índice de imágenes

Imagen	Pág.
Fotografía N° 1.1.- Silos de almacenaje	12
Imagen N° 1.2.- Proceso de Hormigón	13
Imagen N° 1.3.- Muestra de agregados	14
Fotografía N° 1.4.- Bomba con contador	16
Imagen N°2.1.- Proporciones de materiales	17
Imagen N° 2.2.- Ripio	20
Imagen N° 2.3.- Grava	21
Imagen N° 2.4.- Arena	21
Imagen N° 2.5.- Tamaño de Agregados	23
Imagen N° 2.6.- Curado de Hormigón	27
Gráfica N° 2.7.- Tiempo – Resistencia	29
Imagen N° 2.8.- Calidad del Concreto	31
Imagen N° 2.9.- Parihuela	32
Imagen N° 2.10.- Adición de Hielo Escamado como parte del Agua de Mezclado	38
Imagen N° 2.11.- Enfriador Chiller	39
Imagen N° 2.12.- Enfriador con Nitrógeno Líquido	40
Imagen N° 3.1.- Sistema Chiller	44

Imagen N° 3.2.- Componentes de un Chiller	46
Figura n° 3.2.1.- 1. Cuerpo, 2. Cojinete trasero, 3. Cojinete delantero, 4 culata, 5. Junta.	48
Figura n° 3.2.2.- 1. Cuerpo, 2. Cilindros, 3. Culatas, 4. Juntas.	48
Imagen N° 3.3.- Cuerpo de Compresor de 6 Cilindros en W	49
Imagen N° 3.3.1.- compresor de pistones fijo	51
Imagen N° 3.3.2.- compresor de pistones móvil	51
Fig. 3.4.- Características del Compresor a Pistón	52
Fig. 3.5.- Características de Compresor a Membrana	53
Fig. 3.6.- Descripción del Compresor a Paletas	54
Fig. 3.7.- Compresor de Tornillo de dos etapas	56
Fig. 3.8.- Funcionamiento de Compresor Roots	57
Fig. 3.9.- Tipos de Rotor de Compresor Roots	58
Fig. 3.10.- Elementos del Compresor Roots	58
Fig. 3.11.- Compresor Axial de Múltiples Pasos	61
Fig. 3.12.- Unidad de Condensación Enfriada por Agua Antigua	62
Fig. 3.13.- Condensador de Tubo dentro de tubo tipo serpiente	63
Fig. 3.14.- Condensador de Tubo dentro de tubo que se ha construido deslizando un tubo en otro	64
Fig. 3.15.- El flujo de un fluido en el condensador	64

Fig. 3.16.- Condensador de Coraza y Serpentín	66
Fig. 3.17.- Circulación del agua en condensador	67
Fig. 3.18.- Recirculación de agua en el condensador por evaporación	68
Fig. 3.19.- Aletas para serpentín	69
Fig. 3.20.- Componentes de una TXV	70
Fig. 3.21.- Tercera Conexión de válvula de expansión o ecualizado externo	71
Fig. 3.22.- Diafragma de la válvula de expansión	72
Fig. 3.23.- Dispositivos de aguja y asiento	73
Fig. 3.24.- Cuerpo Cilíndrico Vertical	74
Fig. 3.25.- Vapor entra por dentro de los Tubos	75
Fig. 3.26.- Evaporador Standard	76
Fig. 3.27.- Alimentación Directo	77
Fig. 3.28.- Alimentación a Contracorriente	78
Fig. 3.29.- Alimentación Mixta	78
Fig. 3.30.- Alimentación en Paralelo	79

Índice de Tablas

Tabla	Pág.
Cuadro N° 1.- Árbol del Problema	4
Cuadro N° 2.1.- Sustancias Nocivas	19
Cuadro N° 2.2.- Influencia tamaño grano	24
Cuadro N° 2.3.- Límites Máximo	30
Cuadro N° 2.4.- Métodos de Enfriamiento de Hormigón	36
Cuadro N° 2.5.- Costo anual de producción de hormigón con hielo escamado.	41
Cuadro N° 2.6.- Costo anual de producción de hormigón con nitrógeno líquido.	41
Cuadro N° 2.7.- Costo de instalación, operación y mantenimiento del equipo chiller.	42
Tabla N° 5.2.1.- Ingresos y Egresos Anuales de la Planta GEO 1	95
Tabla N° 5.2.2.- Flujo de Caja Anual de la Planta GEO 1	95
Tabla N° 5.3.1.- Flujo de Caja Actualizado	96
Tabla N° 5.4.1.- Tasa de descuento 20% con valor actual neto positivo	98
Tabla N° 5.4.2.- Tasa de descuento 57.055% con Valor actual neto negativo	99
Tabla N° 5.5.1.- Flujo Anual de tasa de descuento	100
Tabla N° 5.5.2.- Análisis Beneficio – Costo	101

Resumen

“Cálculo y selección de un enfriador (Chiller) en la planta de hormigón Geo 1 de la constructora Ripconciv de la ciudad de Guayaquil, para reducir la temperatura del agua de mezcla del hormigón.”

El hormigón, por sus características pétreas; soporta bien esfuerzos de compresión, pero se fisura con otro tipo de esfuerzos, como flexión, tracción y torsión.

El mortero formado por cemento y agua es la que confiere al hormigón su fraguado y endurecimiento, mientras que el agregado es un material inerte sin participación en el fraguado o endurecimiento.

La función de la planta de hormigón es aportar el cemento, el agua y los varios tamaños de agregados en las proporciones adecuadas.

Las temperaturas extremas afectan al comportamiento del hormigón, ya sea en estado fresco como endurecido.

Es posible modificar la temperatura del hormigón recién preparado; ya sea mediante los agregados, o mediante el agua de mezcla. Su completa transformación en estado líquido o el enfriamiento mediante equipos industriales como un Chiller (enfriador).

La constructora Ripconciv Cia. Ltda., de la Ciudad de Guayaquil; es una compañía con un alto índice de desarrollo en el país. Esta condición de crecimiento, exige el cumplimiento de normas y estándares internacionales en todos sus productos y servicios.

La Planta de Hormigón Geo 1 de ésta compañía, no cuenta con un Sistema eficiente para enfriar el agua de mezcla que mejore la calidad del hormigón que produce.

Hay varios métodos para bajar la temperatura del hormigón, que van desde el enfriamiento de los agregados con nitrógeno líquido, hasta enfriar el agua de mezcla que se

utiliza para su elaboración. En este estudio se analiza cuál de estos métodos es el más eficiente.

La investigación está dirigida al campo de la ingeniería en el área de la refrigeración, con el propósito de realizar el cálculo para la selección de un enfriador de agua para mejorar la calidad del hormigón que produce la planta Geo 1 de la constructora Ripconciv, utilizándose para el efecto el método de investigación descriptivo y la técnica de investigación documental informática junto a la investigación de campo como herramientas para el desarrollo de este trabajo.

Abstract

"Calculation and selection of a chiller in the concrete plant Geo 1 of the Ripconciv constructor from Guayaquil city, to reduce the concrete mix water temperature."

Concrete, by its stone characteristics; It withstands compression forces, but crack with other efforts, such as bending, tensile and torsion.

Mortar comprising cement and water which gives concrete its setting and hardening, while the aggregate is an inert material not participating in the setting or hardening.

The function of the plant is to provide concrete cement, water and aggregates of various sizes in the right proportions.

Extreme temperatures will affect the behavior of concrete, either fresh and hardened.

You can change the temperature of freshly prepared concrete; either by the aggregates, or by the mixing water. complete transformation in liquid or cooling by industrial equipment such as a chiller (cooling).

The construction Ripconciv Cia Ltda, City of Guayaquil..; It is a company with a high rate of development in the country. This condition of growth, requires compliance with international norms and standards on all its products and services.

Concrete Plant 1 Geo this company does not have an efficient system to cool the mixing water to improve the quality of concrete produced.

There are several methods to lower the temperature of the concrete, ranging from cooling aggregates with liquid nitrogen to cool the mixing water used for processing

The research is directed to the field of engineering in the cooling area, in order to perform the calculation for the selection of a water cooler to improve the quality of the concrete produced by the Geo 1 Ripconciv plant construction. In this study we analyze which of these methods is the most efficient.

Introducción

Contextualización del problema

“El sector de la construcción en el Ecuador durante los últimos años ha tenido claras señales de crecimiento, el mismo que se ha visto apoyado fuertemente por la relativa estabilidad económica que trajo consigo la dolarización, así como, la flexibilidad en cuanto a los requisitos exigidos por la Banca para poder otorgar créditos y desde luego al crecimiento de las remesas de los inmigrantes”.

Adicional a esto, el desarrollo que manifiesta la construcción en el país, es un marcador clave de la tendencia de su economía, por tal razón, cuando esta última experimenta momentos difíciles, el sector de la construcción se debilita por la falta de inversión y es por esto, que cuando la economía está en épocas de bonanza, el sector de la construcción es uno de los más beneficiados.

Cabe destacar que, el crecimiento que se demuestra dentro del sector de la construcción, se ve reflejado en gran parte por la inversión pública por medio del desarrollo de grandes proyectos como: centrales hidroeléctricas, aeropuertos, la Refinería del Pacífico, entre otros.

Por otro lado, el sector privado ha venido desarrollando durante los últimos años, proyectos ambiciosos de construcción, destacándose entre otros: construcción de Clínicas; Centros Comerciales, y Conjuntos Residenciales.

Por lo tanto, la expansión de este segmento exige a las compañías constructoras el cumplimiento de normas que rigen nacional (Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC) e internacionalmente (Organización Internacional de Estandarización ISO) para ser competitivos en éste mercado.

Para cumplir estas exigencias es necesario que se implementen equipos, insumos, materiales y tecnologías para la producción del hormigón, que es el elemento más representativo debido a su amplia e importante utilización en la construcción.

Entre los factores que inciden directamente en la resistencia del hormigón se encuentran: el viento, el agua, las altas temperaturas y la baja humedad presente al momento del vaciado. Por ello, es importante tomar en cuenta estos parámetros y darle la debida dosificación para obtener un mejor producto.

El crecimiento de la población de la ciudad de Guayaquil, hace que sea un mercado amplio y atractivo en cuanto a obras se refiere. Entonces, las constructoras deben mejorar y actualizar periódicamente sus procesos y sistemas de producción frente a la alta demanda existente.

La constructora Ripconciv Cía. Ltda., de la Ciudad de Guayaquil; es una compañía con un alto índice de desarrollo en el país. Esta condición de crecimiento, exige el cumplimiento de normas y estándares internacionales en todos sus productos y servicios; y así asegure su permanencia en este sector.

Dentro de sus instalaciones, la Planta de Hormigón Geo 1, se ha evidenciado que no cuenta con un Sistema eficiente para enfriar el agua de mezcla que mejore la calidad del hormigón que produce.

Bajo el contexto anterior, es que resulta importante el cálculo y diseño de un enfriador (Chiller) en la Planta de Hormigón Geo 1 de la Constructora Ripconciv de la ciudad de Guayaquil, para reducir la temperatura del agua de mezcla del hormigón.

Análisis Crítico

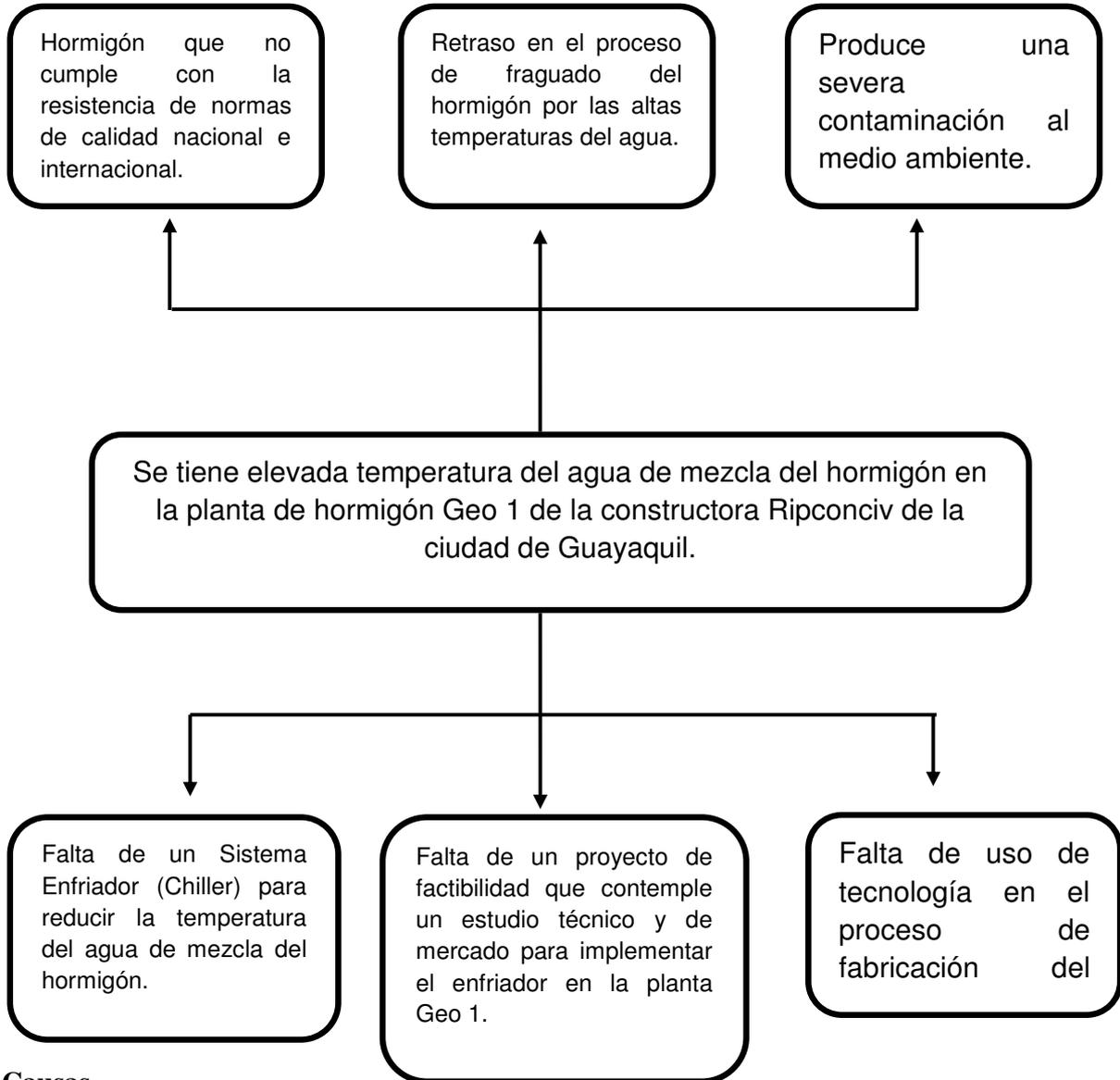
La elevación de la temperatura del hormigón en climas cálidos, y por factores como la humedad y el viento provocan que su resistencia en sus múltiples etapas de maduración, afecten la calidad del mismo.

Por lo tanto, se cree factible la adquisición de un sistema enfriador (Chiller) para reducir la temperatura del agua de mezcla del hormigón porque si no se considera, se obtendría un producto final que no cumpliría con las normas de calidad nacional e internacional vigente. Además, con un sistema empírico y de poca tecnología hace que la empresa sea poco competente frente a grandes constructoras que invierten parte de sus recursos económicos en la remodelación de sus plantas de hormigón.

La falta de un estudio técnico y de mercado para implementar el enfriador en la planta Geo 1, conlleva al paulatino retraso en el proceso de elaboración del hormigón, a la contaminación del medio ambiente y al déficit de las condiciones laborales.

Árbol del Problema

Efectos



Causas

Cuadro N° 1.- Árbol del Problema

Elaborado por: Castro Solórzano Carlos Daniel y Mendoza Daza Carlos Vinicio.

Formulación del Problema

¿Cuál es el requerimiento de enfriamiento de agua de mezcla de hormigón de la planta Geo1 de la constructora Ripconciv?

¿Qué método de enfriamiento aplicar al agua de mezcla para optimizar la temperatura del hormigón de la planta Geo 1 de la constructora Ripconciv?

Delimitación del Problema

Campo: Ingeniería Mecánica

Área: Refrigeración

Problema:

Se tiene alta temperatura del agua de mezcla para el hormigón simple en la planta de hormigón Geo 1 de la constructora Ripconciv de la ciudad de Guayaquil.

Espacial: Ciudad Guayaquil.

Temporal: Año 2013

Objetivos

Objetivo General

Calcular y seleccionar un enfriador (Chiller) eficiente que permita reducir la temperatura del agua en la preparación de hormigón simple.

Objetivos específicos

1. Establecer las características físicas y químicas del agua para la mezcla del hormigón.
2. Describir el estado y funcionamiento de la Planta Geo 1 de la Constructora Ripconci.
3. Determinar las alternativas o procesos más óptimos para el tratamiento del agua de mezcla del hormigón.
4. Precisar los parámetros y bases de cálculo y diseño del Enfriador Chiller para reducir la temperatura del agua.
5. Proporcionar la información necesaria a los responsables de la planta Geo 1 de Ripconci, sobre las ventajas del uso de un enfriador de agua y su incidencia en la mayor resistencia del hormigón en climas cálidos.
6. Determinar el monto de inversión necesario para la adquisición del enfriador Chiller.
7. Establecer acciones y sugerencias técnicas que permita cumplir un correcto desempeño del sistema propuesto.

Hipótesis

Con la intención de dar solución al problema formulado se plantea la siguiente hipótesis:

El Cálculo y selección de un Enfriador (Chiller) apropiado para la planta de hormigón Geo 1 de la constructora Ripconci de la ciudad de Guayaquil, reducirá la temperatura del agua

de mezcla del hormigón, garantizando un producto de excelente calidad y un ambiente sano en el sector.

Justificación

El presente trabajo tiene gran importancia porque, la alta temperatura del agua en climas cálidos constituye una amenaza, dentro de las etapas de maduración del hormigón para que este sea resistente y de calidad.

El diseño apropiado de un enfriador (Chiller) permitirá reducir la temperatura del agua de mezcla del hormigón, en base a los requerimientos legales y normas de calidad vigente a nivel nacional e internacional, evitara que el proceso de elaboración del hormigón se realice de manera empírica luego de un tratamiento insuficiente, Ripconciv Cía. Ltda., necesita demostrar objetivamente su responsabilidad con el ambiente, con la población aledaña a la constructora y con sus clientes tanto del sector público como privado.

La preocupación por la salud pública y el ambiente, desempeña un papel cada vez más importante en la elección y diseño de los sistemas de acondicionamiento de la temperatura del agua.

Además, el aumento de la temperatura del hormigón en especial en climas cálidos por factores como la humedad relativa y el viento provocan la deshidratación prematura del mismo, produciéndose fenómenos físicos que afectan la resistencia del hormigón en sus múltiples etapas de “maduración”.

Por otra parte, el desarrollo de resistencias, desde tempranas a edades superiores, se ve afectado con las distintas temperaturas. En una situación de clima templado, la resistencia a temprana edad se ve disminuida y a edades superiores es mayor que si el hormigón esté sometido a un clima cálido.

En otras palabras, la “madurez” del hormigón es afectada por las distintas temperaturas.

En la actualidad, hay varios métodos que se usan para bajar la temperatura del hormigón, que van desde el enfriamiento de los agregados con nitrógeno líquido, hasta enfriar el agua de mezcla que se utiliza para su elaboración.

El método de enfriamiento de agregados mediante nitrógeno líquido, necesita una tecnificación de primer orden lo que significa una gran inversión y por lo tanto es poco factible dentro de las condiciones de la empresa.

Mientras, que el método de enfriamiento del agua de mezcla es mucho más conocido, está probada su eficiencia, y es relativamente económico, lo que permite su implementación.

En conformidad a todo lo expuesto con anterioridad y conociendo la importancia que tiene bajar la temperatura del hormigón en climas cálidos, se presenta este trabajo de investigación que permitirá exponer las ventajas de implementar un sistema de enfriamiento del agua de mezcla para la elaboración de hormigón en la planta Geo1 de la constructora Ripconciv de la ciudad de Guayaquil.

Con la ejecución del proyecto se beneficiará directamente a la constructora Ripconciv Cía. Ltda., con el cumplimiento de sus obligaciones ambientales, sanitarias, tecnológicas y de calidad al producir hormigón de alta resistencia. Simultáneamente, el hecho de destinar recursos económicos para la adquisición de este sistema asegura la permanencia de la empresa en el mercado y la fidelidad de sus clientes por la calidad de sus productos y servicios.

El desarrollo de este trabajo de investigación se realiza con el objetivo de obtener el título de ingenieros en Mecánica Naval, aportando así con esfuerzo y dedicación al desarrollo investigativo y científico en esta área específica.

Capítulo 1

1. Generalidades del proyecto

1.1. Localización geográfica y político- administrativa

Los proyectos de Infraestructura son de vital importancia para el desarrollo socio-económico del país ya que estos sientan las bases para el crecimiento y progreso de las ciudades donde se encuentran estos proyectos.

Ripconci Construcciones Civiles Cía. Ltda., ha desarrollado desde sus inicios una gran diversidad de proyectos de infraestructura, haciendo de la empresa, parte importante del desarrollo público y privada, aportando con trabajo y experiencia en los más significativos proyectos civiles del país como son puertos, aeropuertos, hidroeléctricas, obras petroleras, etc.

En cuanto a la localización geográfica, Ripconci Construcciones Civiles Cía. Ltda., es una compañía cuyas oficinas principales se encuentran en la Ciudad de Quito, Oficina 501 del 5° piso del Edificio Millenium Plaza, ubicado en la Av. Eloy Alfaro N35-09 y Portugal.

Las Oficinas Centrales de la Región Costa se encuentran en la oficina 2 del 4° piso del Edificio Cofín, ubicado en la Av. Francisco de Orellana, Km. 1.5 y Juan Tanca Marengo.

1.1.1. Descripción general de la empresa y su actividad.

La industria de la Construcción es una actividad compleja en la que intervienen muchos factores críticos, es por ello que la planificación, los controles, las normas y procedimientos, marcan una importante diferencia en la consecución de grandes proyectos.

Para Ripconci Construcciones Civiles Cía. Ltda., estos aspectos resultan muy relevantes, razón por la cual se ha incorporado la certificación en las normas ISO 9001: 2008, el Sistema de

Aseguramiento de la Calidad, el robustecer la Seguridad Industrial y Salud Ocupacional, así como un importante compromiso con el cuidado del Medio Ambiente.

Después de 18 años de labores, Ripconciv Cia. Ltda. Se encuentra en el puesto 188 entre las 500 mejores empresas del año 2014, con una utilidad neta de \$4'034,673.00 USD.; y en el puesto N° 1 en el sector Inmobiliario de Construcción de Edificios y residencias.

Este desarrollo sostenido ha dado lugar a la consolidación de su presencia en el ámbito de la construcción en el País, con un excelente equipo humano y respaldado en una adecuada estructura administrativa, financiera y organizacional.

La misión, visión y los valores de Ripconciv han hecho posible que tenga una alta aceptación y fidelidad por parte de sus clientes tanto en el sector público y privado.

Misión

Construir con Calidad y Responsabilidad logrando el bienestar de la gente.

Visión

Mantener en el sector de la construcción como una empresa diferente, sólida, con crecimiento internacional y reconocido por contar con el mejor capital humano.

Valores

Lealtad

Honestidad

Puntualidad

Compromiso

Cumplimiento

Trabajo en equipo

Responsabilidad social

Política de calidad

Ripconci Construcciones Civiles es una empresa que desarrolla diversos proyectos de obra civil que son parte importante del sector público y privado del país, apoyada en un equipo humano talentoso y comprometido en satisfacer las necesidades del cliente y el mejoramiento continuo de sus procesos, respetando la reglamentación legal vigente.

Actualmente cuenta con dos plantas: Geo 1 y Geo 2. La presente investigación recaerá sobre la Planta Geo 1 con la finalidad de conseguir las mejoras adecuadas y continuar con la calidad y responsabilidad social que caracterizan a Ripconci.

1.1.2. Instalaciones físicas de la planta Geo 1

La planta Geo 1, se encuentra ubicada dentro del perímetro del campamento de la constructora, ubicado en el Km. 14.5 de la Vía a Daule, en el ingreso al sector conocido como Las Iguanas. Sus instalaciones ocupan una superficie aproximada de 2500 m².

1.2. Características y requerimientos de la planta Geo 1

La planta de Hormigón Geo 1, es una planta de origen americano, con dosificación manual, tiene una capacidad de producción de hormigón de 37.5 m³/hora. Cuenta con 3 silos de almacenaje de cemento. El silo principal de consumo tiene una capacidad de 35 toneladas y los de reserva cuentan con capacidades de 35 y 60 toneladas respectivamente. (Ver Fotografía N° 1.1)

La planta posee una tolva con tonelaje de 9m³ por lado (por agregado). Su dosificadora tiene un arqueado de 2 vertidos, cada uno de 3m³. Las medidas de la banda transportadora son 60 cm de ancho por 7.5 metros de largo, es movida por un motor eléctrico de 7.5 hp, que se conecta a un reductor que regula la velocidad de la banda.

El sistema cuenta con una balanza de cemento con una capacidad de 1300 kg. Cada 2 vertidos.



Fotografía N° 1.1.- Silos de almacenaje

1.3. Descripción de las actividades de la planta Geo 1

La planta Geo 1 se encarga de cubrir los requerimientos de hormigón en las diversas obras ejecutadas por la Constructora Ripconciv dentro y fuera de la provincia del Guayas. Cabe mencionar que la constructora ha tenido a cargo Proyectos de infraestructura como: Proyectos de Puertos, Aeropuertos, Obras Hidráulicas, Viales, Hidroeléctricas, Petroleras y Regeneración. En la actualidad la oferta del hormigón como bloques, adoquines, etc. tiene un crecimiento significativo, pues la demanda de dichos productos va cada día en aumento, debido al crecimiento poblacional y al desarrollo arquitectónico de la urbe.

1.4.Situación actual del sistema de proceso de hormigón de la empresa.

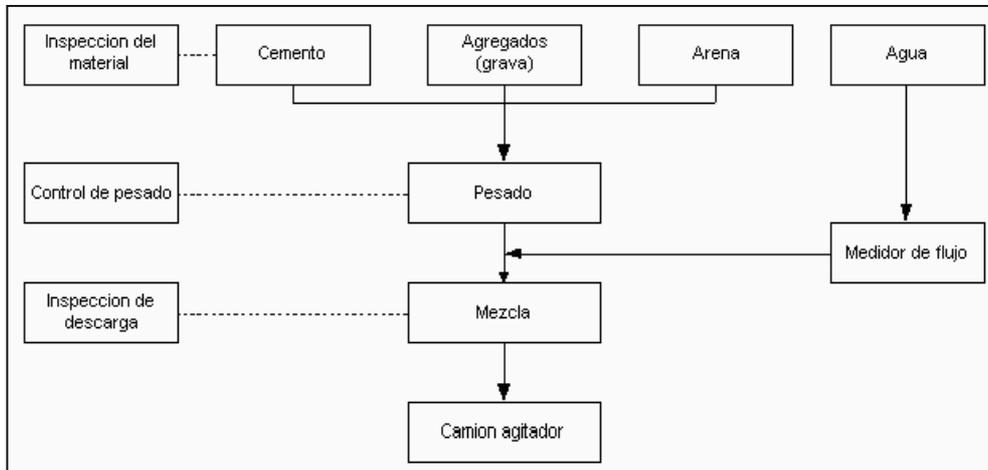


Imagen N° 1.2.- Proceso de Hormigón

Actualmente, la planta de hormigón Geo 1, realiza el siguiente proceso para la preparación de hormigón:

1. Revisión de Calidad de Agregados.
2. Cálculo de peso según corresponda a cada diseño
3. Chequeo de Calidad en conteo de agua
4. Dosificación de acuerdo al diseño
5. Carga

1.4.1. Revisión de Calidad de agregados.-

La revisión de calidad de agregados, es la primera acción que se toma para la preparación del hormigón, debido a que si se ignora o se lo hace de manera subjetiva, el hormigón no obtendría la resistencia esperada de diseño (Ver Imagen 1.3.)



Imagen N° 1.3.- Muestra de agregados

1.4.2. Cálculo de peso según corresponda a cada diseño.

A los agregados se les realiza el ensayo de granulometría con el fin de poder hacer la combinación adecuada de los mismos.

El tamaño máximo nominal del agregado se limita a un quinto de la menor dimensión lineal entre los lados de los encofrados, un tercio del espesor de una losa, y tres cuartos de la separación libre mínima entre las barras de armadura o entre los tendones o vainas de pretensado.

Estos límites impuestos al tamaño máximo nominal del agregado se pueden obviar si la operatividad y los métodos de compactación del hormigón permiten colocar el hormigón sin que se formen oquedades o vacíos. El ingeniero deberá decidir si puede obviar o no estas limitaciones.

1.4.3. Chequeo de Calidad en conteo de agua.

Luego de obtenida la cantidad de agua óptima para la mezcla se realiza la preparación de la mezcla para luego hacer los especímenes y realizar las pruebas de resistencia.

El agua usada para preparar hormigón armado (pretensado o no pretensado), hormigón en el cual se han de empotrar elementos de aluminio y hormigón que se han de colocar en encofrados perdidos de metal galvanizado no deben contener cantidades perjudiciales de cloruros. El principal problema que se presenta cuando el agua de mezclado tiene un elevado contenido de cloruros es su posible efecto sobre la corrosión de la armadura o los tendones de pretensado.

En general, el agua que contiene menos de 2000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos totales se considera satisfactoria para la elaboración de hormigón. El agua que contiene más de 2000 ppm de sólidos disueltos se debe someter a ensayos para determinar su efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado del hormigón que con ella se elabora. El agua de mar no es adecuada para elaborar hormigones armados con elementos de acero, ya que aumenta el riesgo de corrosión de las armaduras.

Esta corrosión se acelera si el elemento está ubicado en un ambiente cálido y húmedo.

1.4.4. Dosificación de acuerdo al diseño

En el proceso de carga se pesa el cemento para posterior vaciado en el mixer, conforme se cargan los agregados.

Una vez cargado el cemento y agregados se procede a vaciar aditivos de acuerdo al diseño.

Una vez hecho esto se procede a dosificar la mezcla de acuerdo a su requerimiento.

Durante la dosificación se agrega un 70% de agua, mediante una bomba conectada a un contador (Fotografía N° 1.4), y el 30% restante una vez que ya está cargado el mixer.

Se toma muestra de la mezcla para comprobar su resistencia.



Fotografía N° 1.4.- Bomba con contador

Capítulo II

2. Elaboración de hormigón

Las proporciones necesarias para combinar los agregados para formar el concreto se denominan diseño de una mezcla, el mismo que debe efectuarse en laboratorios mediante procesos establecidos para este fin; y las mencionadas proporciones pueden considerarse entre los rangos establecidos en la Imagen N° 2.1..

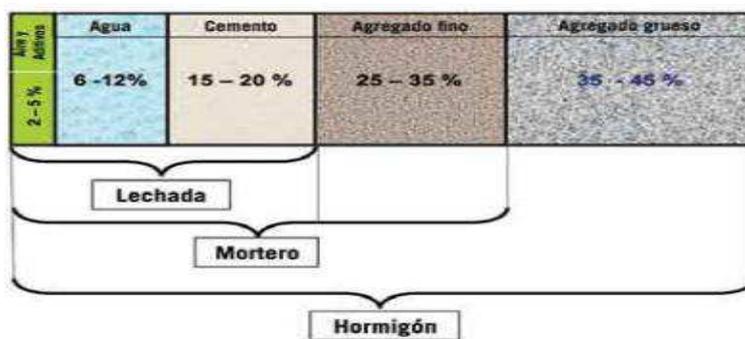


Imagen n°2.1.- Proporciones de materiales

2.1. Componentes del hormigón.

Los componentes del hormigón son los que a continuación se detallan:

2.1.1. Aire

No es posible eliminar en su totalidad el aire contenido en el hormigón, pero es necesario reducir su nivel a un valor determinado entre el 1,5 y el 2%. Esto se logra mediante la compactación minuciosa de la mezcla.

2.1.2. Los aditivos

Son sustancias químicas, creadas para que al mezclarse con el hormigón, mejoren sus propiedades y por tanto, su calidad. Estos aditivos deben ser siempre agregados al hormigón en base a las recomendaciones de cada fabricante o proveedor. Su uso es siempre beneficioso. La dosis incorrecta de estos aditivos en una determinada mezcla puede concluir en resultados diferentes a los buscados en primera instancia.

2.1.3. El agua

El agua utilizada para la mezcla, debe ser limpia y libre de cualquier materia orgánica y de cualquier otro agente, para reaccionar químicamente con el cemento y obtener hormigones de calidad. El agua adecuada para este proceso es el agua potable, pero también se puede usar agua corriente o aguas duras, siempre y cuando no sean contenedoras de materia orgánica, sustancias nocivas, o tengan altos niveles de cloruros, sulfatos o ácidos, en cuyo caso, es conveniente realizar análisis químicos en un laboratorio (Ver Cuadro N° 2.1). El mayor enemigo del cemento es la materia orgánica, por lo cual no debe utilizarse aguas negras en el proceso de fabricación de hormigones de calidad.

Cuadro N° 2.1.- Sustancias Nocivas al hormigón

Sustancias nocivas en el agua	
Agua	Afectación
Aguas de desperdicios industriales	Reduce la resistencia
Impurezas Orgánicas	Hace más lento el fraguado y disminuye la resistencia.
Aceite	Reduce la resistencia
Agua de mar	Acelera la corrosión de las armaduras y produce eflorescencia.
Algas	Reduce la resistencia y afecta la adherencia
Azúcar	Retarda el fraguado y reduce la resistencia.

Elaborado por Autores de la tesis.

Fuente: Lafarge

2.1.4. Cemento

El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua.

Se pueden establecer dos tipos básicos de cementos:

- De origen arcilloso: obtenidos a partir de arcilla y piedra caliza en proporción 1 a 4 aproximadamente;

- De origen puzolánico: la puzolana del cemento puede ser de origen orgánico o volcánico.

Existen diversos tipos de cemento, diferentes por su composición, por sus propiedades de resistencia y durabilidad, destinos y usos.

2.1.5. Agregados

Son generalmente materiales pétreos. Sus medidas se obtienen mediante el proceso de trituración y posterior tamizado y se usa la granulometría según diseño de mezcla. Pueden clasificarse en agregados gruesos y agregados finos.

En el grupo de agregado grueso se encuentra el ripio, el cual es obtenido de rocas sanas, duras, y debe estar consolidado por partículas prismáticas, con tendencia a formas cúbicas (Ver Imagen N° 2.2). El ripio debe ser lavado luego de su trituración debido a que suele estar cubierto con polvo resultante de la trituración.



Imagen N° 2.2.- Ripio

En el caso de la grava, o canto rodado, al igual que el ripio debe estar limpio, libre de presencia de limo, arcilla, partículas livianas (pómez) o terrones (Ver Imagen N° 2.3). Para la selección de este material, no son convenientes las partículas demasiado lisas ni las planas porque son muy livianas o muy poco resistentes.



Imagen N° 2.3.- Grava

Como agregado fino se tiene arena natural, obtenida de minas de lechos de ríos antiguos o de ríos de cauce actual (Ver Imagen N° 2.4). Esta debe estar libre de agentes contaminantes como materia orgánica, arcilla o limo. En caso de que no se pueda obtener totalmente limpia, es necesario lavarla minuciosamente para erradicar las impurezas contenidas.

En cuanto a las especificaciones de la arena para mezcla, esta debe estar libre de partículas livianas y no puede ser muy fina para que la mezcla tenga la consistencia necesaria. La arena de Cantera puede ser un buen reemplazo de la arena; con la diferencia de que la arena de cantera necesita cuidado minucioso, principalmente por la granulometría del material ya que hay que cuidar que no tenga exceso de partículas finas o exceso de partículas muy gruesas.



Imagen N° 2.4.- Arena

2.2. Otras precauciones a adoptar.

Es siempre recomendable tratar de conseguir material seleccionado, ya que este influye directamente en la obtención de resistencias altas. Si bien es cierto, un agregado grueso de calidad es muy accesible de conseguir, pero, en su composición puede existir presencia de partículas indeseadas.

En la Imagen N°2.5, se muestran las dimensiones máximas que puede tener el agregado según el ACI [7], y de acuerdo a cada resistencia a la compresión que se espera obtener. Dicha grafica se trata de la relación entre el máximo tamaño nominal del agregado y, el rendimiento de la mezcla que se manifiesta en kPa, o el cemento en kg/m³ de hormigón producido como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Resistencia Hormigón MPa}}{\text{Factor Cemento-kg/m}^3\text{hormigón}} \quad (2.1)$$

La consistencia de las mezclas debe tener un asentamiento máximo comprendido entre 10 y 15 cm; y los ensayos cilíndricos se curan a 28 días como es común y a una temperatura de 23°C.

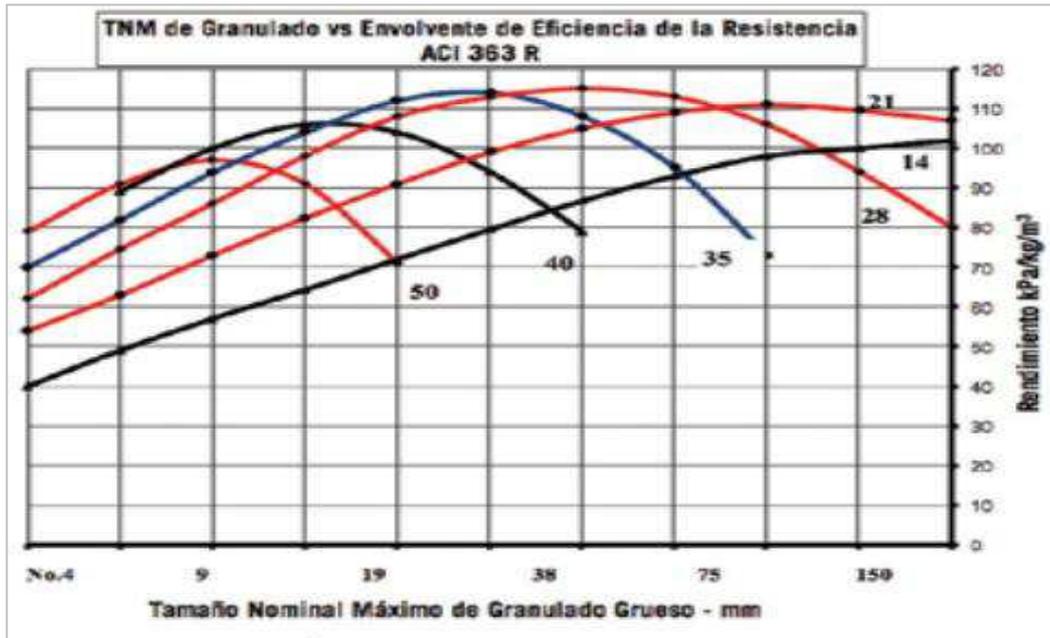


Imagen N° 2.5.- Tamaño de Agregados

Elaborado por ACI 363 R

Fuente: Lafarge

Para observar la influencia que tiene la granulometría del material en el uso de los materiales para la mezcla relacionada con el cemento, se muestra el cuadro N° 2.2., en el cual se observa el tamaño nominal del ripio, el rendimiento, y la cantidad de cemento en relación a la resistencia.

Tabla N° 2.2.- Influencia del tamaño del agregado (ripio) en la resistencia del hormigón

Resistencia a la compresión (f'c) MPa	Tamaño Nominal del ripio (T.N.M) m m	Rendimiento (10 ³)kPa/m ³	Factor Cemento Kg/(m ³ de hormigón)
28	150	80	420
	75	106	317
	38	115	300
35	75	72	535
	38	108	356
	25	114	350
50	19	71	704
	14	91	550
	9	97	516

Elaborado por Autores de la tesis.

Fuente: Lafarge

Se puede observar que por cada indicador de resistencia, se requiere cierto tamaño de ripio ideal para obtenerla. Es importante mencionar que entre más pequeño es el agregado del ripio, es menor la cantidad de cemento necesaria para obtener la resistencia indicada.

Incluso, en la tabla 2.2 se puede observar que para obtener resistencias de 50 MPa, no se deben incluir medidas mayores a 19 mm en el ripio; y para 40 MPa, no se admiten tamaños mayores a 38 mm.

Es muy importante considerar la forma precisa de los agregados para obtener altas resistencias; y si estos no cumplen ciertas normas, es necesario corregirlos; sin embargo, para resistencias medianas y bajas (consideradas menores a 30 MPa), ligeras desviaciones en las curvas máximas permitidas, no restringen el uso de dicha materia prima.

2.3. Diseño de las mezclas

Es de vital importancia hacer los diseños de mezclas de hormigón en un laboratorio hecho para este fin, y si estos diseños no se aplican a la ejecución de la obra, esta no tiene validez. Los hormigones de resistencias bajas para obras pequeñas se pueden trabajar a partir de principios básicos para este fin, sin necesidad de diseñar la mezcla en un laboratorio.

El principal problema de los diseños de mezcla de hormigón, es la cantidad de humedad contenida en los agregados, lo cual hace necesario su frecuente medición a fin de eliminar el exceso de agua y así hacer prevalecer la relación de agua-cemento indicada para cada diseño.

Para la ejecución de una obra en particular, las cantidades de agregados se expresan de manera proporcional, usando como punto de partida la cantidad de cemento; es así que para hormigones de resistencias medias o bajas, los elementos pueden ser medidos volumétricamente; como por ejemplo, por cada kg de cemento, se debe utilizar 0,6 litros de agua; 0,002 m³ de arena y 0,003 m³ de ripio.

En obra, se debe ser cauteloso al momento de realizar la mezcla para el hormigón con respecto a las proporciones de los elementos indicados en el diseño; y, se debe tener mayor cuidado con la cantidad de agua indicada en función del cemento añadido.

Las cantidades ideales de los agregados para la mezcla de un saco de cemento son:

-30 litros de agua

-100 dm³ de arena

-150 dm³ de ripio

Es importante destacar que el cemento no debe ser medido volumétricamente (m³), sino en función de su masa (kg).

2.3.1. Procedimiento constructivo

El vertido de la mezcla de hormigón en el encofrado de cada elemento estructural debe hacerse según las recomendaciones establecidas en la metodología constructiva:

- Moldes o encofrados sellados herméticamente de manera tal que no de paso a la fuga de mortero o lechada.
- El transporte desde el sitio de mezcla al sitio de vertido de hormigón en la obra debe realizarse de manera tal que se evite la pérdida de las cantidades de los componentes en especial el agua.
- El método utilizado para eliminar el aire contenido al momento de verter la mezcla, debe realizarse con mucha cautela para evitar la falta o el exceso de vibrado, ya que esto influye directamente en la uniformidad y consistencia del hormigón dentro del encofrado.

2.4. Curado del hormigón

El incremento de la resistencia del hormigón y la duración del mismo, son producidas a causa de la reacción química agua-cemento, por lo cual es necesario proteger al hormigón de las condiciones de humedad y temperatura durante su maduración para que pueda alcanzar la resistencia de diseño (Imagen N°2.6).

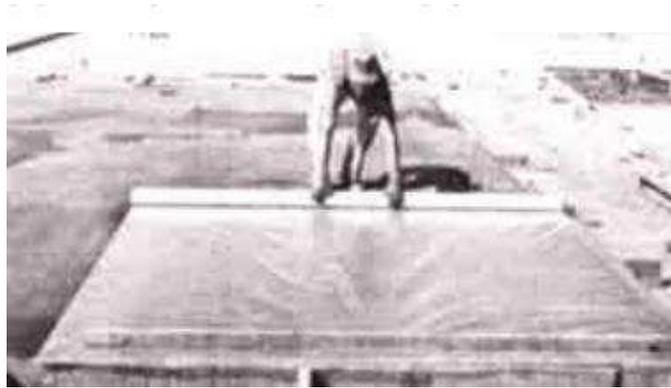


Imagen N° 2.6.- Curado de Hormigón

2.4.1. Humedad

La resistencia del hormigón se obtiene de la reacción química agua-cemento, por lo cual para que pueda desarrollarse todo el potencial de resistencia, es necesario mantener al hormigón saturado de agua durante su curado o maduración, ya que solo de esta manera se evitará la disminución de la humedad por efectos de la evaporación en la superficie del mismo.

2.4.2. Temperatura

La temperatura juega un papel muy importante en el desarrollo de resistencias del hormigón, por tanto, es necesario mantenerla en un rango comprendido entre 10 y 20°C.

Si la temperatura del hormigón excede estos rangos, esto provocará la pérdida de humedad por efectos de evaporación.

2.4.3. Deficiencias del Curado

Existen deficiencias en la maduración del hormigón, debido a que el tiempo disponible de curado disminuye, así como posteriormente resulta difícil mantener la humedad óptima sobre las superficies expuestas.

2.4.4. Condiciones básicas de un curado adecuado

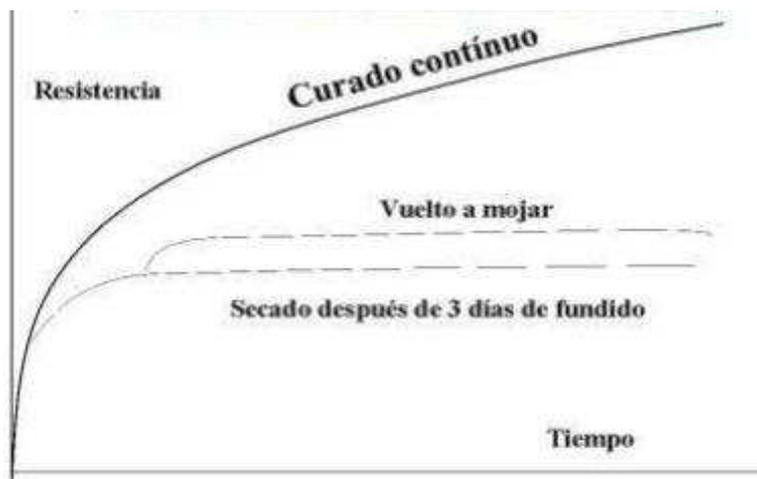
Los hormigones deben estar suficientemente húmedos para garantizar la hidratación del cemento, para esto es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

- Mantener una óptima temperatura en el hormigón durante su curado, favorecerá su buena hidratación.
- El proceso de curado debe iniciarse tan pronto el hormigón reabsorbe el agua resultante de la exudación al momento del secado.

2.4.5. Relación entre el curado y desarrollo de resistencias

La reacción química del agua con el cemento desarrolla resistencia, en los primeros 7 días de edad prácticamente desarrollará cerca del 80% de la resistencia especificada para los 28 días; esto se cumplirá si se dio un curado adecuado.

Por eso, mientras más se tarde en iniciar el curado, menor potencial de resistencia del hormigón se dispondrá.



Gráfica N° 2.7.- Tiempo - Resistencia

Fuente: Lafarge

La gráfica 2.7; muestra la relación resistencia - tiempo, el curado continuo del hormigón (hidratación) favorece al máximo desarrollo potencial de su resistencia. En otras palabras, no se puede permitir que el hormigón se seque, ya que en ese caso, deja de desarrollarse la reacción química agua-cemento y en consecuencia también deja de desarrollarse la resistencia. No sirve de nada hidratar el hormigón una vez que se haya secado, ya que esto solo permitirá rescatar una pequeña parte de su resistencia y ningún aditivo ayudará a recuperarla.

2.5. Criterios de calidad del agua para uso del hormigón

Para la realización de la mezcla y el curado del hormigón, es necesario utilizar agua que cumpla con determinadas normas de calidad, las mismas que varían según el país y según el tipo de cemento que se utilice.

El agua utilizada debe ser, en lo posible, fresca y limpia, libre de residuos oleaginosos, ácidos, sulfatos de magnesio, sodio y calcio, sales, limo, materias orgánicas entre otras sustancias contaminantes.

En el cuadro 2.3, se definen los máximos límites permisibles de las sustancias mencionadas anteriormente.

Tabla N° 2.3.- Límites Máximos de sustancias en el agua

Sustancias y Ph	Límite Máximo (ppm)
Cloruros	300
Sulfatos	200
Sales de magnesio	125
Sales solubles	300
Sólidos en suspensión	10
Materia orgánica expresada en oxígeno consumido	0.001
Ph	6 < ph < 8

Elaborados por Autores de la tesis.

Fuente: Lafarge

Es por esto que generalmente en las consideraciones para la elaboración del hormigón, se dan características específicas que debe tener el agua de mezcla; y, éstas mismas características o similares, debe tener el agua de curado.

2.5.1. Requisitos de calidad

Las características del agua de mezcla para la elaboración del hormigón no obedecen obligadamente a aspectos bacteriológicos, ya que lo que hay que tener en cuenta son sus características físico-químicas y la incidencia de su composición en el comportamiento y formación del concreto.

Al referirse a las características físico-químicas del agua, se debe tomar en cuenta que generalmente esta presenta partículas de sustancias orgánicas e inorgánicas que, como se indicó anteriormente; deben ser eliminadas o al menos, disminuida la cantidad de partículas contenidas en el agua.

Es considerada una buena práctica constructiva, constatar o verificar la calidad del agua que va a ser utilizada para la formación de la mezcla antes de empezar obras vitales como la construcción de centrales eléctricas e hidroeléctricas (Ver Imagen N° 2.10).

El uso de agua de mar para la mezcla de hormigón está limitado debido a su característica altamente corrosiva para el acero estructural o de refuerzo.



Imagen N° 2.8.- Calidad del Concreto

2.6. Medición de los materiales en volumen en obra

La adhesión de arena y ripio para la mezcla de hormigón debe ser medida volumétricamente en recipientes cubicados provistos de agarraderas para poderlos levantar en el caso de las mezclas en concreteras, y se los conoce como parihuelas (Imagen 2.11).

Puede utilizarse cualquier otro método de medición siempre y cuando esté basado en el diseño de la dosificación, así por ejemplo, una dosificación 1: 2,5: 3,0. Indica que por cada saco de cemento (50 kg) se utilizarán dos y medio cajones de arena y 3 de ripio.

Es recomendable marcar en las parihuelas medidas de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$; para poder dosificar correctamente cuando no se necesita mucha mezcla para terminar la fundición de un determinado elemento.

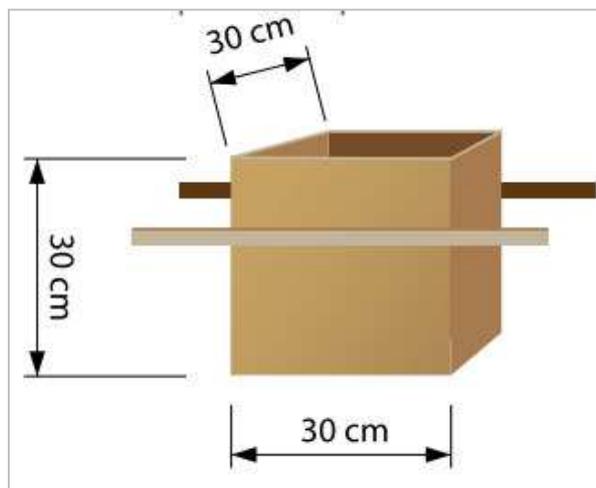


Imagen N° 2.9.- Parihuela

2.7. Mezclado, transporte y colocación

La legislación y las normas constructivas del Ecuador, no permiten el mezclado manual del hormigón, este debe hacerse con máquinas mezcladoras (concreteras, mixers).

Su transporte y vaciado debe hacerse de manera tal que no se pierda la dosificación indicada, tanto de agregados, como de humedad del hormigón.

2.8. Dosificación

Es importante tener diseños de mezclas alternativos para los trabajos de concreto en climas cálidos.

2.8.1. Aditivos retardadores de fragua

Es siempre favorable el uso de aditivos retardadores de fraguado, ya que estos ayudan a que el hormigón obtenga su consistencia adecuada y evitan la formación de fisuras.

2.8.2. Aditivos reductores de fragua

Los aditivos reductores de fragua, se utilizan para darle un mejor acabado a la superficie del hormigón resultante sin afectar su resistencia. El uso de cantidades mayores de cemento a las descritas no es conveniente, ya que este al hidratarse empieza a generar calor, es decir a aumentar la temperatura de mezcla y esto resultaría en pérdidas de resistencias finales.

2.9. Almacenamiento de los materiales

Al momento de almacenar los materiales para la mezcla, es necesario tomar en cuenta que, para evitar que los agregados aumenten su temperatura se los debe tener en lo posible protegidos de los rayos solares; así como también mantener los lugares de almacenamiento debidamente hidratados para preservar su humedad.

También hay que considerar no utilizar cemento recién salido de la fábrica ya que es necesario recordar que este mantiene temperaturas superiores a las permitidas.

En el caso del agua debe mantenerse a una determinada temperatura, para lo cual, el método de disminución de temperatura de la misma, será analizado en capítulos posteriores.

2.10. Preparación de la mezcla

Según el ACI (American Concrete Institute) [2], se recomienda determinadas temperaturas de vertido del hormigón, para lo cual será necesario regular la temperatura del agua, ya que no es recomendable hacerlo con la temperatura del cemento o los aditivos.

Para esto, se deben tomar en cuenta 2 métodos de enfriamiento en relación de su ingreso a la tolva de mezclado.

- Si se regula la temperatura del agua, el orden de ingreso a la tolva de mezcla será primero el agregado grueso junto con la mitad del agua, y luego los otros componentes junto con el resto de agua.
- Cuando se regula la temperatura de los agregados junto con el agua, primero ingresa el ripio, cemento y arena y luego el agua de mezcla.

El cemento no debe estar en contacto con el agua o agregados a más de 60°C. Generalmente es conveniente reducir la temperatura del agua ya que su calor específico es 4 o 5 veces mayor que el de los agregados.

2.11. Planteamiento de alternativas de enfriamiento del hormigón

Cabe resaltar que la elevación de la temperatura del hormigón en especial en climas cálidos, y factores como la humedad relativa y el viento, provocan la deshidratación prematura

del mismo, produciéndose fenómenos físicos que afectan la resistencia del hormigón en sus múltiples etapas de “maduración”.

El desarrollo de resistencias, desde temprana a edades superiores, se ve afectado con las distintas temperaturas. En una situación de clima templado; la resistencia a temprana edad se ve disminuida, y a edades superiores es mayor que cuando el hormigón está sometido a un clima cálido.

Ello se debe al hecho de que la rapidez con la cual se forman los cristales provenientes de las reacciones químicas del cemento a temperaturas altas, es superior; con menor resistencia, mientras que a temperaturas menores, se obtienen mayores resistencias en los hormigones.

En otras palabras, la “madurez” del hormigón es afectada por las distintas temperaturas. Por lo tanto, las bajas temperaturas van en beneficio de mayores resistencias a edades sobre los 28 días, pero a edades tempranas, la resistencia es baja.

2.11.1. Métodos de enfriamiento del hormigón

“Enfriamiento del hormigón” es un término que comúnmente se utiliza para describir el enfoque de mantener el hormigón que se vierte a una temperatura baja. Esto es importante porque en el hormigón curado puede elevarse la temperatura, como resultado de la reacción entre el hormigón y el agua. Esto provoca un aumento en el interior del volumen del hormigón.

El hormigón comienza a enfriarse después del curado, se comienzan a formar grietas. El enfriamiento se aplica para bajar la temperatura inicial del hormigón, asegurando que la temperatura no sea muy elevada.

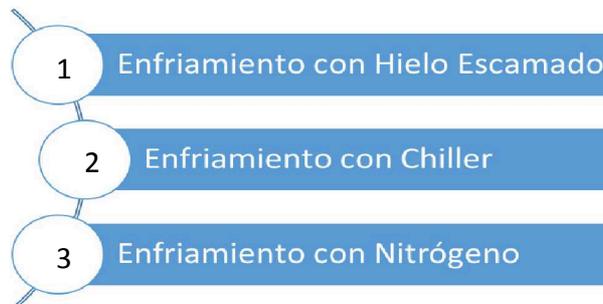
No obstante, cuando la temperatura se mantiene a un nivel reducido, no se producen grietas debido a que el cambio de temperaturas se reducirá.

Cabe mencionar, que el primer cracking, como grietas que se producen cuando el hormigón se calienta y luego se enfría, puede resultar en una pérdida de robustez y longevidad.

Es importante valorar que la ciencia, la tecnología y la industria han hecho posible que hoy en día existan varios métodos para bajar la temperatura del agua o sus agregados, con la finalidad de que se pueda verter el hormigón en ciudades calurosas como Guayaquil, Portoviejo, Manta, entre otras.; en cualquier hora, lo que antes era algo imposible porque si se realizaba la mezcla en horas del mediodía, el hormigón no podía fraguar, dando como resultado después del curado ciertas grietas o fisuras.

Existen por lo menos 3 métodos de enfriamiento de hormigón que son de uso común, detallados en el Cuadro N° 2.4.

Cuadro N° 2.4.- Métodos de Enfriamiento de Hormigón



Elaborado por Autores de la tesis

Fuente: Investigación de campo

Todos los tres métodos tienen ventajas, dependiendo del tamaño y las necesidades del proyecto.

2.11.1.1. Enfriamiento de hormigón con hielo escamado

El primer método es llamado comúnmente enfriamiento con hielo. En este método, el hielo sustituye hasta aproximadamente el 80% del agua en el camión de mezcla de concreto o pre- mezclador. Los resultados del hielo en un punto de partida a menor temperatura, en comparación con agua fría y se obtiene enfriamiento adicional durante el cambio de fase del agua (Ver Imagen N° 2.10).

La utilización del hielo escamado, presenta ventajas como:

- El hielo troceado tiene la temperatura ideal de $-0,5^{\circ}\text{C}$ para el hielo
- **El hielo troceado no se apelmaza**, por lo que tiene unas propiedades de almacenamiento excelentes. Se mezcla rápidamente y la refrigeración se mantiene constante en la mezcladora, no se forman grumos.
- **Refrigeración homogénea** sin sal ni otros aditivos en el hielo.
- **Disolución rápida en el proceso de mezcla** con una temperatura constante.
- Inversiones mínimas
- **Disponibilidad de soluciones automáticas completas** para dosificar el hielo dentro del proceso.



Imagen N° 2.10.- Adición de Hielo Escamado como parte del Agua de Mezclado

2.11.1.2. Enfriamiento Chiller

En este enfoque se trata de un sistema de refrigeración con el uso de agua enfriada para reducir la temperatura de la mezcla de hormigón.

Un mecanismo utilizado regularmente en la industria para producir agua fría en procesos industriales es el Chiller (Enfriador de agua); cuyo principio de funcionamiento es el de extraer el calor del agua utilizada en un determinado proceso con la finalidad de reducir su temperatura para reducir también la temperatura del producto a obtener. En otros procesos el agua retorna al chiller para ser enfriada nuevamente ya que ésta no se encuentra en contacto directo con el producto. En el caso del hormigón, el agua se utiliza para la mezcla y es parte contenida en el producto final.

El chiller es básicamente un intercambiador de calor, compuesto por un compresor, condensador, evaporador, válvula de expansión y refrigerante, así como también de una bomba

para la impulsión de agua desde su contenedor hacia el chiller por medio de tuberías. También cuenta generalmente con un tablero de control electrónico automatizado.

Distintos procesos requieren alimentarse con distintos caudales, presiones y temperaturas de agua. El agua se puede enfriar a temperaturas finales que alcanzan los 20°C o inclusive temperaturas negativas con la adición de anticongelantes, como por ejemplo -20°C (20°C bajo cero).

Los tamaños y formas de los chiller varían según su fabricante, capacidad de refrigeración (expresada en toneladas de refrigeración TR) y tipos de elementos utilizados (Imagen N° 2.11).



Imagen N° 2.11.- Enfriador Chiller

2.11.1.3. Enfriamiento con nitrógeno

La última técnica de refrigeración es nitrógeno líquido. En esta estrategia, el nitrógeno líquido, que tiene una temperatura muy baja, se introduce en el camión o en mezcla con el agua antes del método de mezclado.

El nitrógeno, como líquido criogénico, tiene una enorme capacidad de refrigeración. Su utilización en aplicaciones de frío industrial va ligada sobre todo a la capacidad de absorber una gran cantidad de calor en un corto espacio de tiempo.

La utilización del nitrógeno, presenta las siguientes ventajas:

- Al ser un gas inerte, no produce ninguna alteración en la composición del hormigón, ni en su densidad, por lo que no modifica sus propiedades.
- Fácil control de la temperatura que se quiere alcanzar.
- Alta potencia frigorífica respecto al hielo o el agua con el consiguiente ahorro en tiempo.

La inyección de Nitrógeno se puede realizar en los camiones hormigoneras o en las mezcladoras.



Imagen N° 2.12.- Enfriador con Nitrógeno Líquido

2.11.2. Costos de alternativa óptima

La necesidad de no sobrepasar ciertos límites de temperatura en la fabricación de hormigón principalmente durante los meses más calurosos del año, provoca el interés de controlar esta temperatura durante estos períodos, mediante un sistema de enfriamiento que sea

eficiente y de bajo presupuesto, por lo que se procede a comparar costos. Para **Hielo en Escamas**, La proporción de agua en el hormigón representa de un 6 al 12% y según las normas ACI [2] solo se puede sustituir en un 80% la cantidad de agua de amizado por hielo en escama, por tanto es necesario 0,096 m³ de hielo en escama por cada m³ de hormigón producido. El costo del m³ de hielo en escama es de \$60,00, lo que representaría \$5,76 por cada m³ de hormigón producido.

Tabla N° 2.5.- Costo anual de producción de hormigón con hielo escamado.

Costo m ³ de hormigón producido (\$).	Volumen de producción anual (m ³).	Costo anual (\$).
5,76	45000	259.200,00

Elaborado Por: Autores de la Tesis

En el caso de **Nitrógeno Líquido**.- El tiempo de mezclado es de 10 minutos en camiones de 7,5 m³ con un consumo de 75 kg de Nitrógeno Líquido para descender la temperatura del Camión Mezclador en 1°C.

La dosis de nitrógeno líquido óptima es de 10 kg por m³ de concreto por cada 1°C a bajar en el concreto. El nitrógeno líquido en AGA tiene un precio estimado de \$0,50 por Kilogramo lo que representaría un costo de \$5,00 por cada m³ de hormigón producido.

Tabla N° 2.6.- Costo anual de producción de hormigón con nitrógeno líquido.

Costo m ³ de hormigón producido (\$).	Volumen de producción anual (m ³).	Costo anual (\$).
5,00	45000	225000,00

Elaborado Por Autores de la tesis

Para el **Enfriador Chiller**.- El costo del Equipo Chiller es de \$32.000,00 y el costo anual del mantenimiento es de \$3.000,00. Para una producción estimada de 45000 m³ al año, el consumo de agua es de 5400 m³ al año, lo que representaría un costo aproximado de \$9.990,00 siendo este el consumo dentro del proceso; y un consumo de energía eléctrica 1688.16 kw (INSE S.A.) a razón de \$0,14 Kwh, lo que daría un total de \$236,35 USD. Al año.

Cuadro N° 2.7.- Costo de instalación, operación y mantenimiento del equipo chiller.

Costo de instalación (\$).	Costo de mantenimiento (\$).	Costo de operación (\$)	Costo total (\$).	Vida útil (Años).
3.200,00	3.000,00	9.990,00		
		236,35	45.226,35	10

Elaborado por Autores de la Tesis

2.12. Selección de alternativa

La temperatura del agua es más fácil de controlar que la de otros componentes, el agua fría reducirá la temperatura de colocación de concreto en 4,5°C.

La temperatura del concreto de las dosificaciones usuales se pueden reducir en 0,5°C si se reduce la temperatura de los materiales en cualquiera de las siguientes proporciones.

- Reducción de 4°C en Temperatura del Cemento
- Reducción de 2°C en Temperatura del agua
- Reducción de 1°C en Temperatura de los agregados.

En base a ello, se selecciona como alternativa óptima el cálculo y selección de un enfriador Chiller porque es un sistema fácil de adecuar a determinadas plantas.

Además, que su implementación genera ventajas competitivas desde el punto de vista de la tecnificación del proceso; así como también incrementa los activos fijos de la compañía pudiéndose renovar cuando la compañía así lo considere, contrario a los otros métodos expuestos anteriormente.

Capítulo III

3. Enfriador Chiller

3.1. Definición del enfriador chiller

Un Chiller es un refrigerador de líquido, que como en un sistema de expansión directa, mediante el intercambio térmico o bien calienta o enfría” (Imagen N° 3.1).



Imagen N° 3.1.- Sistema Chiller

El chiller como característica principal tiene:

- Mantener el líquido refrigerado cuando funciona en función frío.
- Mantener el líquido calentado en función bomba de calor.

La idea consiste en extraer el calor generado en un proceso por contacto con agua a una temperatura menor a la que el proceso finalmente debe quedar. Así, el proceso cede calor bajando su temperatura y el agua, durante el paso por el proceso, la eleva.

El agua ahora "caliente" retorna al chiller, donde nuevamente se reduce su temperatura para ser enviada nuevamente al proceso.

3.2. Características de los chiller

La presentación de los enfriadores de agua, varían en sus dimensiones y formas, dependiendo de factores como capacidad de refrigeración y fabricante de los mismos.

Dentro de la composición de los chiller se usan varios tipos de compresores según su función.

Para el caso de los evaporadores, pueden ser de casco y tubos o de placas según sea su aplicación.

Generalmente, los condensadores componentes de un chiller son enfriados por aire.

Los chillers son equipos mecánicos que basan su funcionamiento en la transferencia de calor de una sustancia a través de un refrigerante con el fin de disminuir la temperatura de salida del fluido.

3.3. Componentes del chiller

Los chiller son equipos básicos de refrigeración por lo que sus componentes son los siguientes detallados en la Imagen N° 3.2:



Imagen N° 3.2.- Componentes de un Chiller

- 1) Compresor (es) de refrigeración
- 2) Intercambiador de calor del tipo casco y tubo
- 3) Condensador
- 4) Circuito de control
- 5) Líneas y accesorio de refrigeración
- 6) Gabinete
- 7) Refrigerante R-22 o ecológico.

3.3.1. Compresor

“El “corazón” de muchos procesos y el que más problemas puede ocasionar es el compresor. Cuando se selecciona un compresor, es indispensable contar con todas las condiciones del proceso para su examen. Se debe estar informado de esas condiciones; de no hacerlo, ha de ocasionar infinidad de problemas.

“Son máquinas que aspiran aire ambiente a la presión y temperatura atmosférica y lo comprime hasta conferirle una presión superior”. Son las máquinas generadoras de aire comprimido”. (Julio, 2000) [4]

El compresor es el principal componente del equipo chiller, debido a que su función es la impulsión o circulación del refrigerante por todo el sistema; extrae el refrigerante en estado gaseoso a baja presión y temperatura, lo hace posible de condensar por medio del aumento de presión y temperatura.

Por las tuberías de descarga hacia el condensador, circula el refrigerante a alta presión y temperatura.

Cuerpo de un compresor

Todos los compresores modernos utilizados en la industria frigorífica son poli cilíndricos y de cárter cerrado, con excepción de otros.

En estas condiciones, los cilindros y el cárter forman un todo que es el cuerpo del compresor. De acuerdo con las dimensiones del aparato, el cárter y el bloque de cilindros pueden fundirse de una sola pieza (**Figura N° 3.2.1**), siendo éste el caso general de los compresores llamados “comerciales”. $\Phi_o = \leq 12\ 000\ W$.

Para los compresores de potencia superior, el cárter y el bloque de cilindros pueden estar divididos en dos partes unidas por pernos, con la interposición de una junta de estanqueidad. (**Figura N° 3.2.2**)

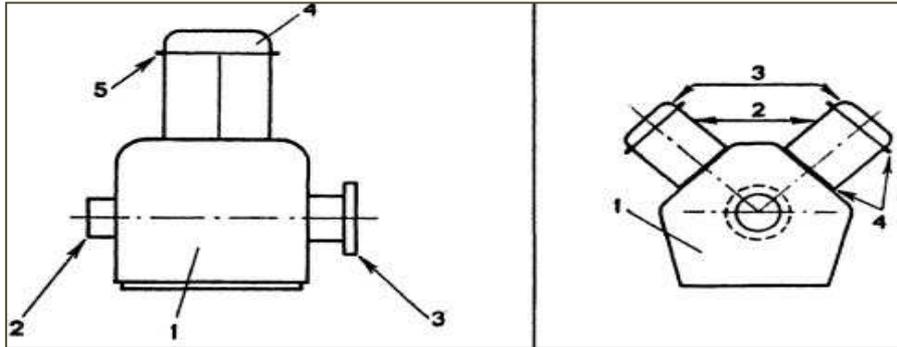


Figura n° 3.2.1.- 1. Cuerpo, 2. Cojinete trasero, 3. Cojinete delantero, 4 culata, 5. Junta.

Figura n° 3.2.2.- 1. Cuerpo, 2. Cilindros, 3. Culatas, 4. Juntas.

En los compresores industriales de gran potencia, el cuerpo del compresor se funde en una sola pieza o en realización mecosoldada, pero los cilindros no están mecanizados en la masa del bloque de cilindros, sino que se trata de camisas como en el caso de los motores de automóvil. (Imagen N° 3.3)

Independientemente de la solución adoptada, el cuerpo del compresor está sobrepasado siempre por la cabeza de la culata fijada sobre dicho cuerpo por medio de pernos o tornillos. Esta culata desmontable permite el acceso a las válvulas. El cuerpo del compresor incorpora igualmente tapas de inspección, que permiten llegar a los órganos componentes del sistema biela- eje, para su colocación o eventual desmontaje. (Jacquard, 2000) [9]

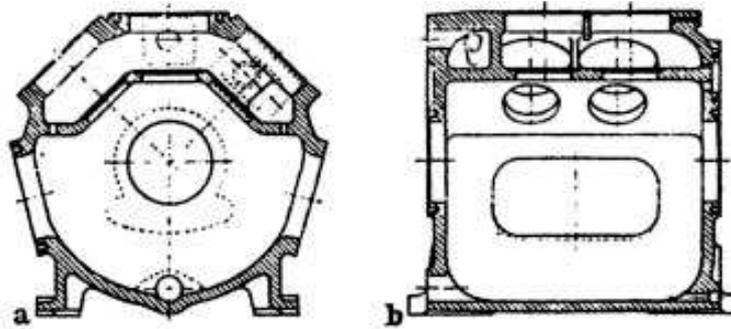


Imagen N° 3.3.- Cuerpo de Compresor de 6 Cilindros en W

a) Corte transversal, b) corte longitudinal

(No están montadas las camisas de los cilindros).

Tipos de compresores

A los compresores se los puede clasificar en base a las necesidades y características del sistema; como se presenta a continuación:

Compresores Alternativos

Los compresores son máquinas que tienen por finalidad aportar una energía a los fluidos compresibles (gases y vapores) sobre los que operan, para hacerlos fluir aumentando al mismo tiempo su presión. El compresor admite fluido o gas a una presión inicial determinada y mediante un motor eléctrico se abastece de la energía suficiente para que dicho fluido sea descargado a una presión final superior a la inicial.

A) Compresores a pistón.-

Estos compresores son los más comunes, en ellos la compresión se logra accionando un mecanismo biela – manivela por medio de un movimiento giratorio alternativo.

En cuanto va descendiendo el pistón, la válvula de admisión se abre e ingresa aire o gas al cilindro para poder comprimirlo luego al momento de ascender el pistón; y posteriormente salir por la válvula de descarga.

Mediante un proceso de compresión tan simple como el que se acaba de explicar no es posible conseguir presiones tan altas como las deseadas; para este fin es necesario agregar 2 ciclos de compresión, y el ciclo completo sería que el aire comprimido a baja presión al momento de salir del primer cilindro, ingresa a un segundo cilindro que lo convertirá en aire comprimido a alta presión, y así se llegará a la presión necesaria para el sistema. Debido a que el proceso de compresión provoca un aumento en la temperatura, es necesario enfriar el aire que va de un cilindro a otro para poder tener una temperatura final de aire comprimido más baja.

Para aumentar la compresión de un cilindro a otro, el cilindro de baja será de diámetro mayor que el de alta, ya que este último recibe el aire ya comprimido del primer cilindro y ocupará volumen. Si se desean obtener mayores presiones, es necesario aumentar a más cilindros o etapas de compresión.

Los rangos de compresión que se obtienen del compresor según sus cilindros o etapas son los siguientes:

Hasta 3- 4 bar; 1 etapa

Hasta 8- 10 bar, 2 etapas

Más de 10 bar, 3 etapas o más.

Cuando el sistema necesite aire sin partículas de aceite, será necesario utilizar pistones secos, los mismos que están hechos de un material resistente a la fricción. Los compresores de pistón, según la necesidad de trabajo en el cual se utilice, pueden ser fijos (Imagen n° 3.3.1.), o móviles (Imagen n° 3.3.2.)

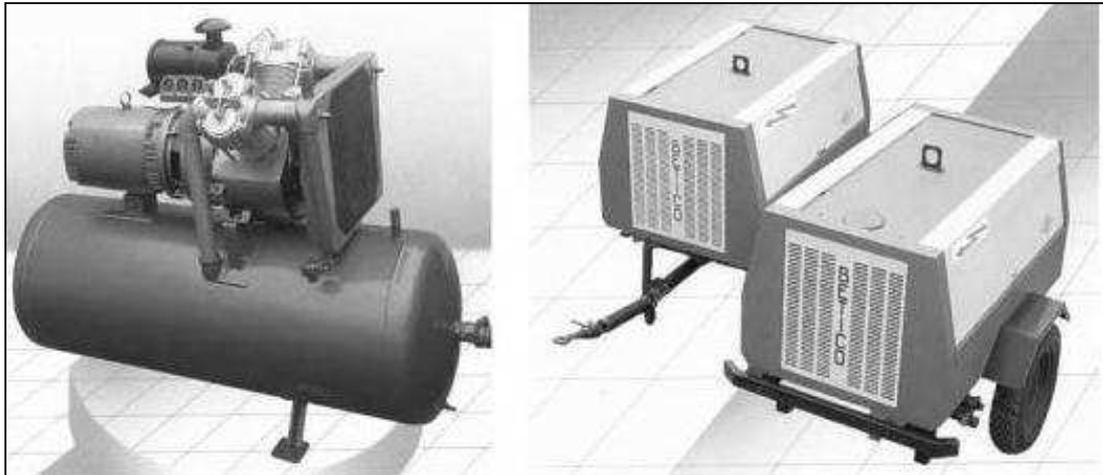


Imagen n° 3.3.1.- compresor de pistones fijo
Fuente: Betico, Victoria, España

Imagen n° 3.3.2.- compresor de pistones móvil
Fuente: Betico, victoria, españa

Características del compresor alternativo.-

Los compresores alternativos presentan características que se detallan a continuación:

- a) Son los tipos de compresores que mayor rendimiento han presentado en sus aplicaciones. Se les puede adaptar un control de carga con el objetivo que presente un rendimiento sostenido.
- b) Puede ser utilizado prácticamente con todos los refrigerantes existentes en el mercado debido a que no presenta inconvenientes de corrosión.
- c) Los cilindros se presentan comúnmente con un rayado de lubricación, y dependiendo de su necesidad se puede optar por cilindros y pistones secos.
- d) Cuando el sistema necesita obtener mayores presiones; esta se logra mediante la adhesión de etapas o cilindros, y de esta manera poder reducir la temperatura final del fluido comprimido.
- e) Presentan reducción de vibraciones en la máquina debido a que son equipados con volantes de inercia que contrarrestan estos efectos.

f) Es siempre recomendable utilizar filtros antes que el fluido a comprimir ingrese al compresor.

g) No se debe trabajar con gases que no estén completamente evaporados para evitar que haya condensación en el cilindro, ya que esto puede concluir en daños directos al cigüeñal al no alcanzar la compresión máxima de la cámara.

h) Para la eliminación de gotas en el gas que ingresa al compresor se deben adaptar filtros separadores de agua.

Los compresores alternativos debido al movimiento rotatorio de su cigüeñal que hace trabajar el pistón, dotan al sistema de un flujo pulsante de refrigerante o gas; esto se puede solucionar mediante la adaptación a la salida del compresor de un depósito anti-pulsante con la finalidad de disminuir este efecto (Fig. 3.4).

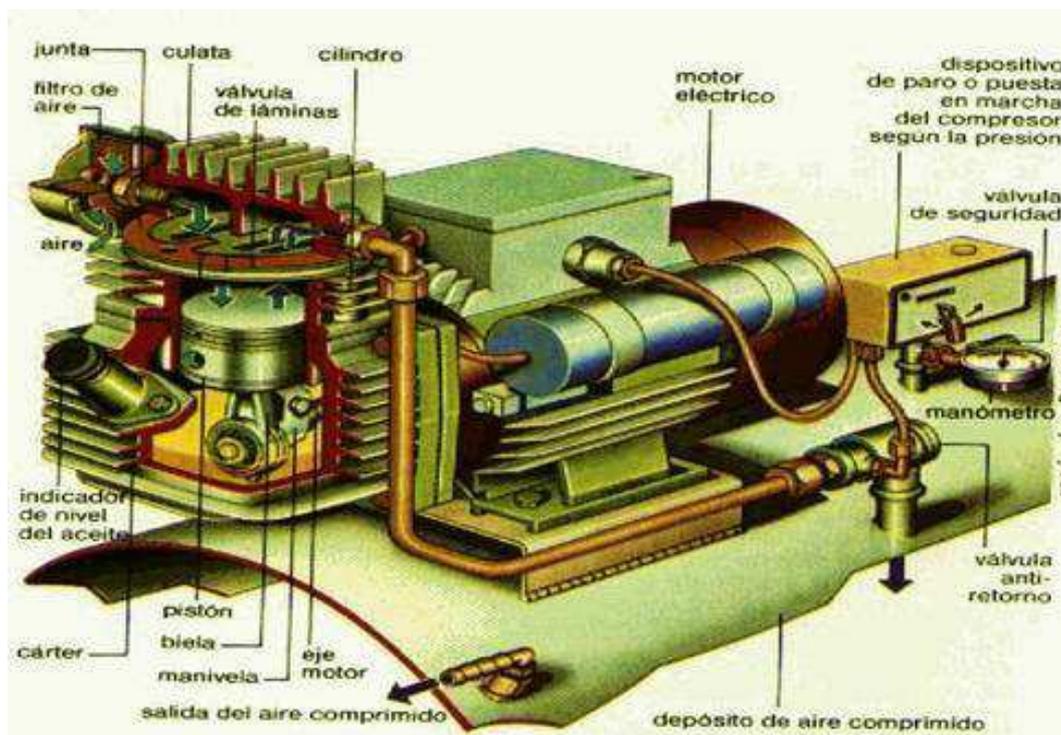


Fig. 3.4.- Características del Compresor a Pistón

B) Compresores a membrana.-

Su composición es muy sencilla; su funcionamiento se realiza a través del accionamiento de una membrana mediante una biela colocada sobre un eje excéntrico motriz, de esta manera se desarrolla un movimiento de vaivén de la membrana que a su vez experimenta una diferencia de volumen en la cámara de compresión donde se encuentran instaladas las válvulas automáticas de carga y descarga del gas.

El gas resultante en la salida del compresor se encuentra libre completamente de aceite debido a que en el proceso de compresión, éste no entra en contacto directo con el aceite.

La cámara de compresión es separada del pistón mediante una membrana, por lo que el aire no hace contacto con las piezas móviles. (Fig. 3.5).

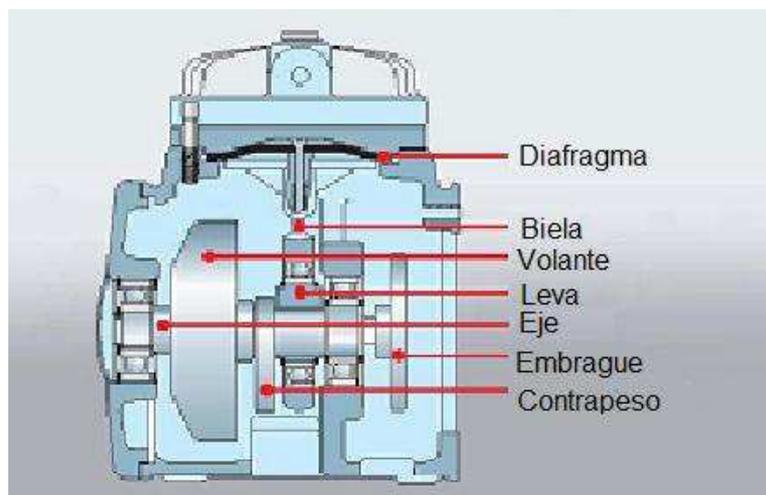


Fig. 3.5.- Características de Compresor a Membrana

Compresores Rotativos

En este tipo de compresores, se encuentran las siguientes variedades:

A) Compresores a Paletas.-

Se trata de un tipo de compresor compuesto de una carcasa cilíndrica, que contiene en su interior un rotor ubicado excéntricamente, es decir junto a una pared de la carcasa. Dicho rotor contiene alojado un sinnúmero de paletas deslizantes que se encuentran ubicadas dentro de una cámara de compresión. Bajo el rotor está ubicada la abertura de descarga y atrás del rotor el ingreso del aire.

Cuando el rotor gira, las paletas se mueven de tal manera que empiezan a aspirar el aire hacia su cámara, donde es comprimido para luego ser expulsado por la abertura de descarga de aire sin necesidad de una válvula automática. Estos compresores pueden llegar a producir hasta 8 bar en una sola etapa y hasta 30 bar en dos etapas.

Al igual que en los compresores rotativos, en el caso de que el sistema necesite aire libre de aceite, el material de composición de las aletas deberá ser antifricción. La ventaja de estos compresores es que al no ser de movimiento de vaivén, no produce gas pulsante, sino flujo constante (Fig. 3.6).

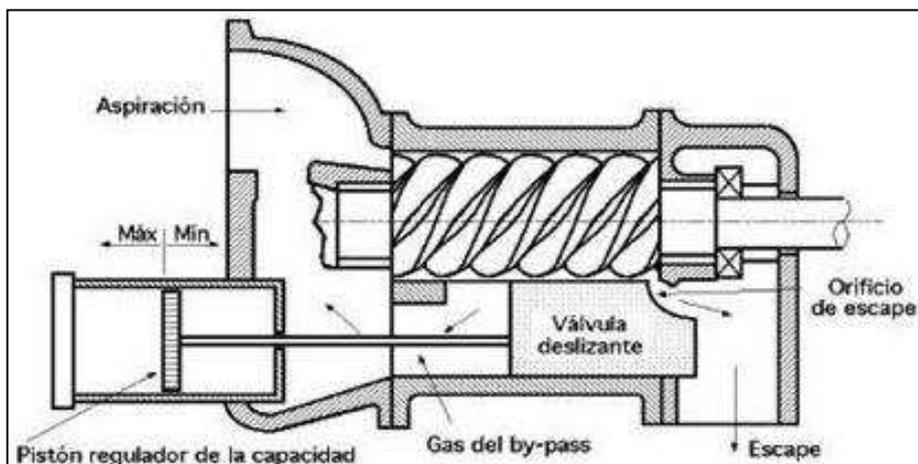


Fig. 3.6.- Descripción del Compresor a Paletas

B) Compresores a Tornillo.-

En este caso se trata de un compresor formado por una carcasa que contiene dos rotores en forma de tornillo que se acoplan entre sí mientras giran; uno de ellos hace las veces de pistón mientras el otro de cámara de compresión.

Mientras rotan, el gas es desplazado de manera axial, reduciendo su volumen y por tanto incrementando su presión.

Los tornillos no están en fricción entre ellos, por lo que hay poca posibilidad de desgaste y no es necesaria mucha lubricación; lo cual es gracias al movimiento sincrónico de unos engranajes que hacen constante el giro de los tornillos. El flujo de estos compresores es prácticamente constante, y de ellos se obtienen presiones hasta de 25 bar.

“Muchos compresores industriales de aire son los compresores rotativos de tornillo, porque pueden correr durante largos períodos de tiempo, y son muy fáciles de mantener. Además, la salida del aire de un compresor de aire de tornillo rotativo es lisa y libre de los impulsos que se pueden encontrar en otros modelos de compresor de aire.

Éstos modelos son pequeños, compactas máquinas que aún están en condiciones de salida de un gran volumen de aire a un fuerte poder. En los alternativos en cambio; cuando su poder aumenta, también lo hacen todos sus componentes tanto el motor como su cuerpo. El compresor de tornillo tiene una vida muy larga y no se suele desgastar rápidamente.” (Nicolás, 2010) [1].

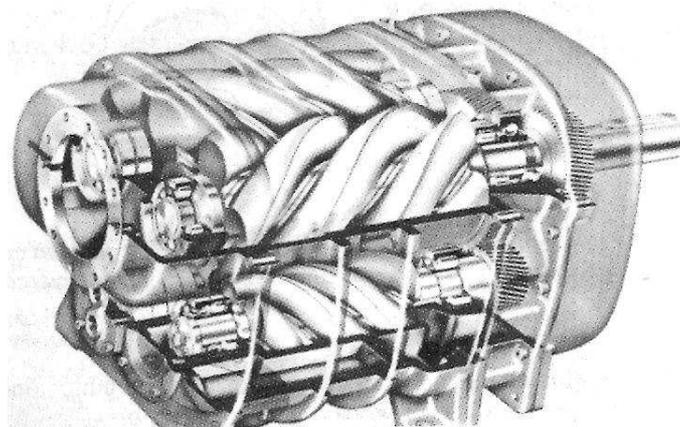


Fig. 3.7.- Compresor de Tornillo de dos etapas

C) Compresores Roots.-

Su uso es muy común en motores convencionales y en algunos casos se combinan con los turbocompresores.

Su funcionamiento se limita en el transporte de aire desde el lado de la aspiración al de la compresión, sin comprimirlo en el recorrido. Lo que hace es acumular el aire en la entrada de la válvula de aspiración antes de su apertura, de tal manera que pueda alcanzar una mayor presión del mismo antes de entrar a la cámara donde es comprimido y expulsado.

Los juegos de engranajes que accionan los rotores de estos compresores deben tener una sincronización de manera que éstos no rocen entre ellos al momento de girar. Estos compresores alcanzan presiones máximas cercanas a 1,5 bar por lo que su uso es limitado a aplicaciones convencionales (Fig. 3.8.).

Presentan desventajas tales como quitarle potencia al motor debido al uso obligatorio de la correa de distribución del mismo, así como también el ruido, delicadeza y complejidad del mando.

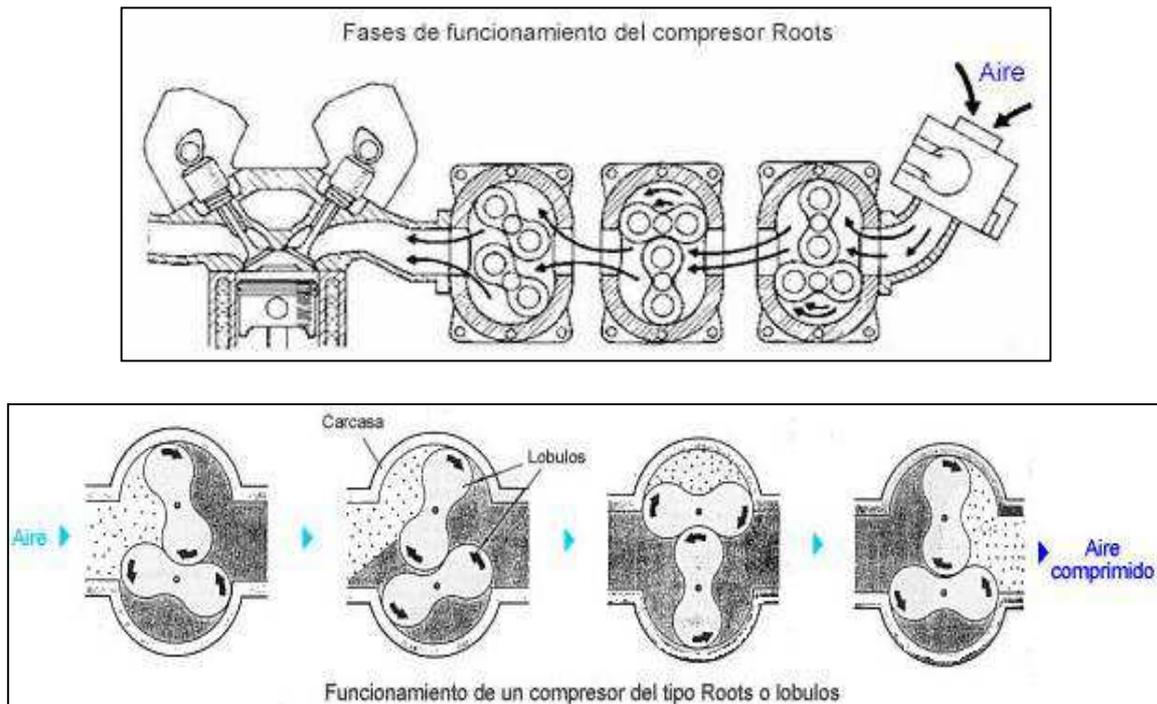


Fig. 3.8.- Funcionamiento de Compresor Roots

Están compuestos por dos rotores, cada uno de ellos hace girar una pieza de dos lóbulos en forma de 8; giran a igual velocidad pero en diferentes sentidos. Los rotores generalmente son rectos pero para obtener una distribución de aire más uniforme, suelen ser elaborados con forma helicoidal y con 3 lóbulos (Fig. 3.9.).

La ventaja de los rotores de tres lóbulos es que para su funcionamiento solo se necesita restarle al motor 8 caballos de potencia para lograr 0,6 bar de presión.

El compresor root necesita aún menos potencia del motor cuando éste no se encuentra bajo un gran esfuerzo.

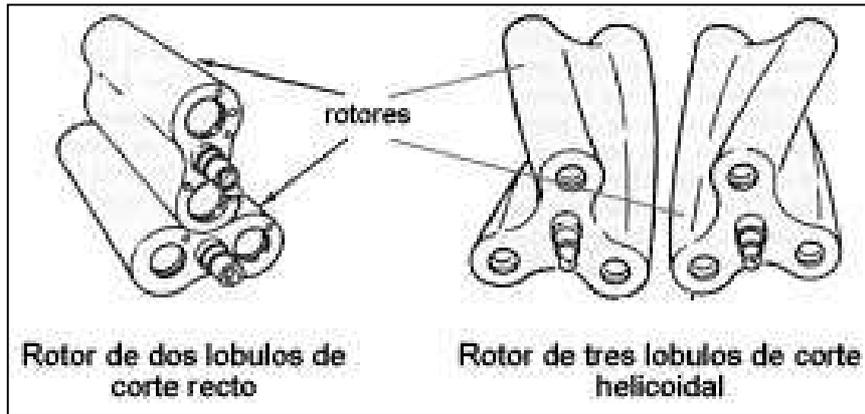


Fig. 3.9.- Tipos de Rotor de Compresor Roots

Bajo grandes esfuerzos, el compresor resta mayor potencia al motor; y, para solucionar este inconveniente, marcas como Mazda utilizan compresores con poleas de accionamiento de diámetro variable, es decir un sistema similar al de los aires acondicionados, que mediante un botón se pone en funcionamiento a voluntad del conductor (Fig. 3.10).

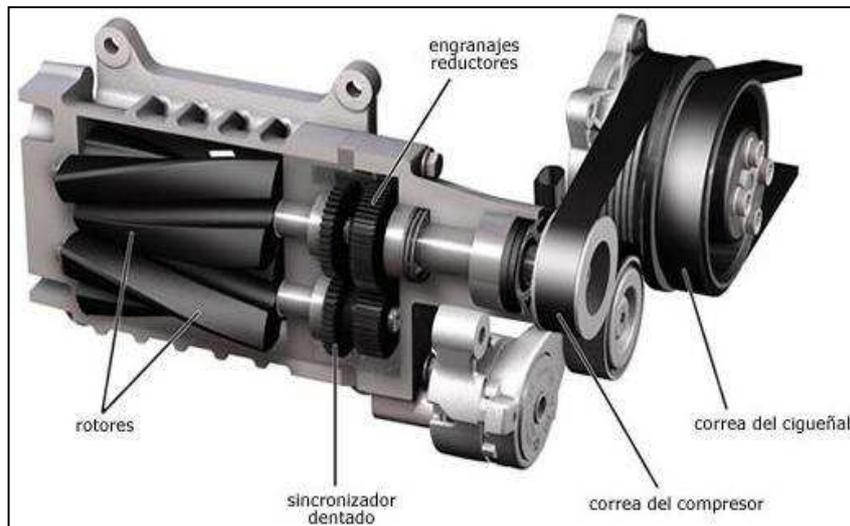


Fig. 3.10.- Elementos del Compresor Roots

Una característica de estos compresores es la capacidad de mantener su flujo constante pese a las variaciones de rotación del motor.

La conexión y desconexión de la transmisión de movimiento al compresor está gestionada por la Unidad Electrónica de Control (ECU).

Este tipo de compresores no trabaja directamente como un compresor, lo que hace es desplazar el aire a la entrada de la cámara detrás de la válvula, y a medida que hala aire, lo va comprimiendo por efecto de resistencia en ese lugar y una vez que abre la válvula ingresa con la presión necesaria a la cámara.

Turbocompresores

Estos basan su funcionamiento en la mecánica de fluidos, en la cual el aumento de presión es gracias a propiedades dinámicas del aire y no a la reducción de volumen.

A) Compresores radiales.-

“Los compresores radiales, también llamados compresores centrífugos, son un tipo especial de turbo maquinaria que incluye bombas, ventiladores, o compresores”. (PASTOR, 2002) [8]

Los modelos más primitivos de este tipo de máquina eran bombas y ventiladores. Lo que diferencia a estos de los compresores es que el fluido de trabajo puede ser considerado incompresible, permitiendo así un análisis preciso a través de la **ecuación de Bernoulli**.¹

“Se basan en el principio de la compresión de aire por fuerza centrífuga y constan de un rotor centrífugo que gira dentro de una cámara espiral, tomando aire en sentido axial y arrojándolo a gran velocidad en sentido radial. La fuerza centrífuga que actúa sobre el aire lo comprime contra la cámara de compresión. Pueden ser de una o varias etapas de compresión consecutivas, alcanzándose presiones de 8 bar y caudales entre 10.000 y 20.000 m³ /h.

¹ El **principio de Bernoulli**, también denominado **ecuación de Bernoulli** o **Trinomio de Bernoulli**, describe el comportamiento de un flujo ideal moviéndose a lo largo de una corriente de agua.

Son máquinas de alta velocidad, siendo esta un factor fundamental en el funcionamiento ya que está basado en principios dinámicos, siendo la velocidad de rotación del orden de las 15.000 a 20.000 r.p.m., y aún más”. (MOTT, 2006) [6]

B) Compresores Axiales.-

Su funcionamiento se basa en la compresión axial por medio de rodetes con álabes que comprimen el fluido, un elemento similar al árbol de levas. Tienen varias etapas de compresión, pueden construirse hasta de 20 etapas.

Estos compresores pueden alcanzar presiones de salida hasta de 5 bar.

“El margen de operación con alta eficiencia, en los compresores axiales, es estrecho, lo que ha limitado su aplicación. En aviación, donde se requiere mover grandes volúmenes de aire y no importa la longitud del compresor, dado su gran número de pasos, han encontrado una de sus aplicaciones más importantes, pues la mayoría de los transportes aéreos hipersónicos, y los aviones transónicos y supersónicos emplean motores turboreactores que comprenden un compresor axial en cada caso (Fig. 3.11).

También se utilizan compresores axiales en las turbinas de gas de aplicación industrial muy variada.

Lo esencial en los compresores axiales son los pasos de compresión de que constan, cada uno de ellos, de un rotor que le imparte energía al gas y un estator que oriente flujo axialmente”. (KUDRA, 2004) [5]

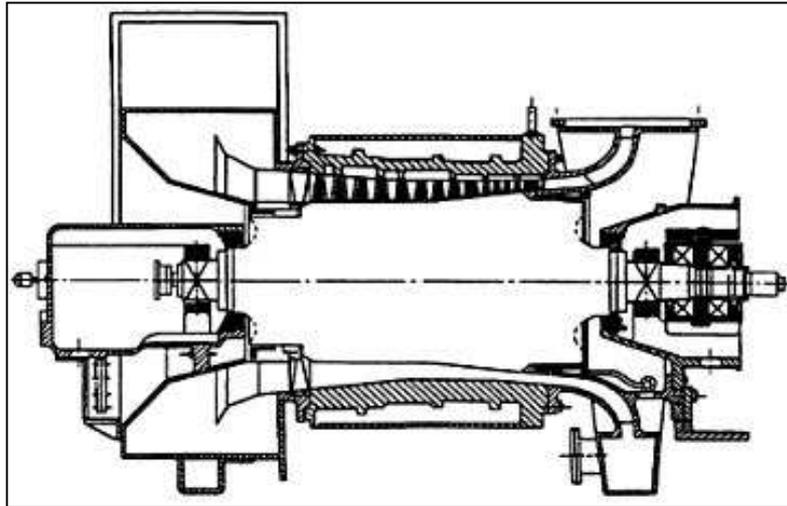


Fig. 3.11.- Compresor Axial de Múltiples Pasos

3.3.2. Condensador

“El condensador es el componente del sistema que extrae el calor del refrigerante y lo transfiere al aire o al agua. Esta pérdida de calor provoca que el refrigerante se condense.

Su función es proporcionar una superficie de transferencia de calor, a través de la cual pasa el calor del gas refrigerante caliente al medio condensante. Mediante la línea de líquido fluye el refrigerante en estado líquido a alta presión a la válvula termostática de expansión”.
(RUFES, 2000) [10]

El condensador es un dispositivo de intercambio de calor muy parecido al evaporador, que se encarga de expulsar el calor del sistema que ha sido absorbido por el evaporador.

El condensador funciona a presiones y temperaturas más elevadas que el evaporador y suele estar situado en el exterior. No obstante, los materiales de los que está hecho el condensador y el medio que se utiliza para la transferencia de calor, hacen que el rendimiento del

intercambiador de calor disminuya debido a las condiciones externas de trabajo, tales como el agua en condensadores refrigerados por agua o elementos abrasivos como polvo en condensadores refrigerados por aire.

3.3.2.1. Clasificación de los condensadores

En la actualidad, se cuenta con una gran variedad de condensadores que se detallan a continuación:

A) Condensadores enfriados por agua.-

Los primeros condensadores de refrigeración comerciales que aparecieron se enfriaban con agua. Estos condensadores eran bastante rudos si se lo compara con los mecanismos enfriados con agua más modernos. (Fig.3.12)

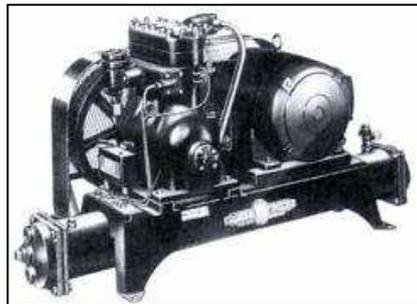


Fig. 3.12.- Unidad de Condensación Enfriada por Agua Antigua

Los condensadores enfriados por agua tienen muy buen rendimiento comparados con los condensadores enfriados por aire y funcionan a temperaturas de condensación mucho más bajas. Mientras, que los condensadores de tubo dentro de tubo, los de coraza y serpentín, y, los de coraza y tubo; son los más habituales.

B) Condensadores de tubo dentro de tubo.

Hay dos tipos de condensadores de *tubo dentro de tubo*; el de serpentín y el de extremos embridados, que se puede limpiar; véase la figura 3.13.

Los condensadores de tubo dentro de tubo de tipo serpentín se fabrican deslizando un tubo en el interior de otro y sellando luego sus extremos, de tal manera que el tubo exterior sea un recipiente y el tubo interior sea otro, tal y como muestra la figura 3.14.

A continuación, los dos tubos se arrollan en forma de serpentín para ahorrar espacio. El intercambio de calor tiene lugar entre el fluido que hay en el interior del tubo externo y el fluido que se encuentra en el interior del tubo interno, tal como se muestra en la figura 3.15.



Fig. 3.13.- Condensador de Tubo dentro de tubo tipo serpentín

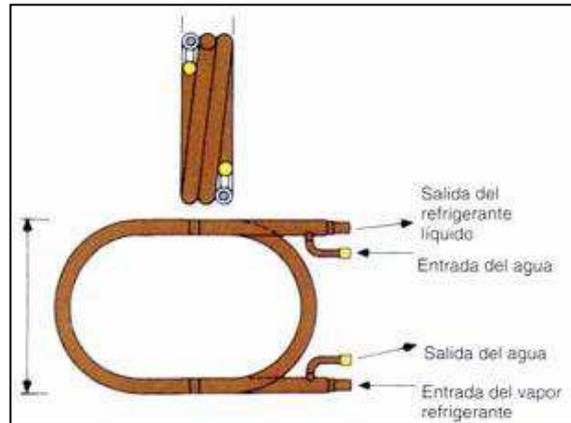


Fig. 3.14.- Condensador de Tubo dentro de tubo que se ha construido deslizando un tubo en otro

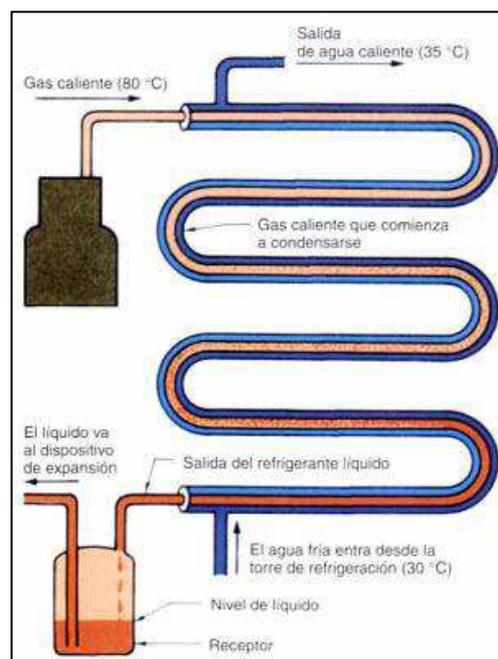


Fig. 3.15.- El flujo de un fluido en el condensador

El condensador de tubo dentro de tubo de tipo serpentin no se puede limpiar mecánicamente con cepillos. Este tipo de condensador se tiene que limpiar con ciertos productos químicos diseñados especialmente para no dañar el metal de condensador.

Cuando haya que limpiar el condensador con productos químicos, se recomienda solicitar la ayuda profesional de una empresa de productos químicos que esté especializada en el tratamiento de agua.

Los condensadores de este tipo están fabricados normalmente con cobre o acero y algunos otros tipos de condensadores especiales están hechos de acero inoxidable o cobre y níquel.

C) Condensadores de coraza y serpentín.

El condensador de coraza y serpentín es muy parecido al serpentín de tubo dentro de tubo. Se trata de un serpentín de tubos empaquetado en una coraza que, posteriormente, se cierra y se suelda. Normalmente, el gas refrigerante se descarga en esta coraza y el agua circula por el tubo que hay en ella.

La coraza del condensador hace las veces de tanque de almacenamiento que recibe el excedente de refrigerante del sistema. Este condensador no se puede limpiar por medios mecánicos, porque el serpentín no es recto, tal y como se muestra la figura 3.16, por lo que hay que utilizar productos químicos.

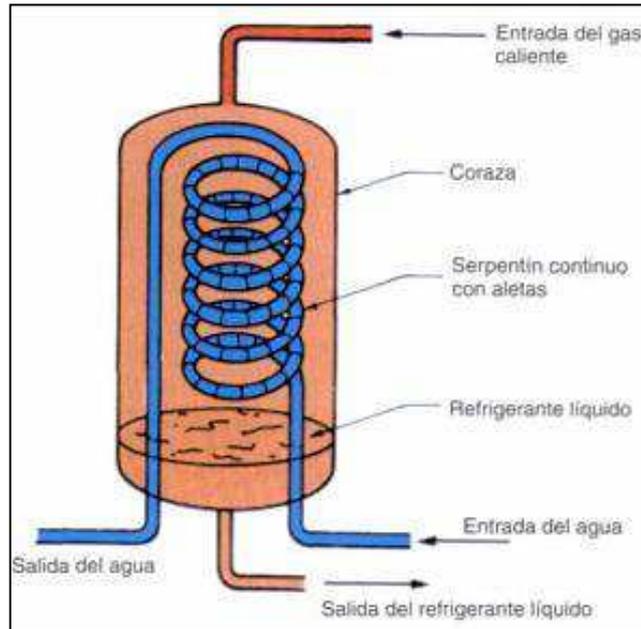


Fig. 3.16.- Condensador de Coraza y Serpentín

D) Condensadores de coraza y tubo.

Los condensadores de coraza y tubo son mucho más caros que los condensadores de coraza y serpentín, pero se pueden limpiar mecánicamente con cepillos. Se construyen asegurando los tubos a una lámina terminal de la coraza.

El refrigerante se descarga a la coraza y el agua circula por los tubos. Los extremos de la coraza son como tapas terminales (denominadas cajas para agua) y el agua circula por ellos, tal y como se muestra en la figura 3.17. Estas tapas terminales se pueden desmontar, por lo que, si es preciso, es posible limpiar y examinar los tubos.

La coraza actúa como un tanque de almacenamiento que recibe el refrigerante excedente. Este condensador es, como ya antes mencionado, el más caro y se suele utilizar generalmente en aplicaciones de gran tamaño.

El condensador enfriado por agua se utiliza para eliminar el calor del refrigerante. Una vez eliminados, el calor estará en el agua y, llegado a este punto, se pueden hacer dos cosas: (1) desechar el agua, o (2) bombear el agua a un lugar remoto, eliminar el calor y volver a utilizarla.

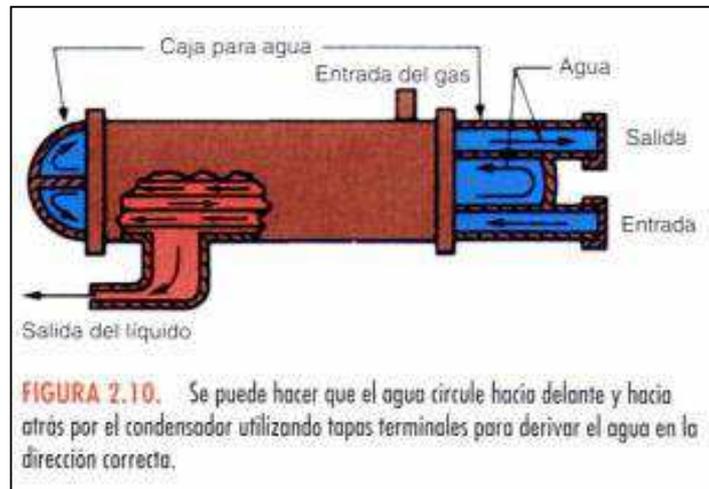


Fig. 3.17.- Circulación del agua en condensador

E) Condensadores por Evaporación

Los condensadores por evaporación son un tipo totalmente diferente de condensador, porque el condensador del refrigerante se encuentra realmente en el interior de la torre. Este tipo de condensadores se suelen confundir a menudo con las torres de refrigeración. (Véase la figura 3.18). En las torres de agua, el condensador que contiene el refrigerante estaba alejado de la torre y el agua se bombeaba a través del condensador hasta la torre.

Los condensadores por evaporación utilizan siempre la misma agua, empleando para ello una bomba colocada en la torre. A medida que el agua se evapora, se va reemplazando mediante un sistema de reposición con un flotador, al igual que en los otros sistemas. En los climas fríos, los condensadores por evaporación necesitan una protección contra el hielo en invierno.

A medida que el agua se va evaporando de cualquier sistema de torre de refrigeración, los minerales del agua se van concentrando cada vez más en el agua que queda. Si se permite que estos minerales se concentren demasiado, comenzarán a depositarse en la superficie del condensador, creando problemas de presión de descarga. Para evitar que esto ocurra, hay que permitir que el agua salga del sistema continuamente. Esta agua que sale se denomina agua de “vaciado”.

Se trata de agua que se permite que salga por el drenaje y se repone con agua fresca y el sistema de flotador. Es muy frecuente que la gente que desconoce el propósito del “vaciado” cierre el conducto de drenaje para no dejar pasar lo que creen que el agua limpia que se está desechando, lo que puede ser fuente de problemas.

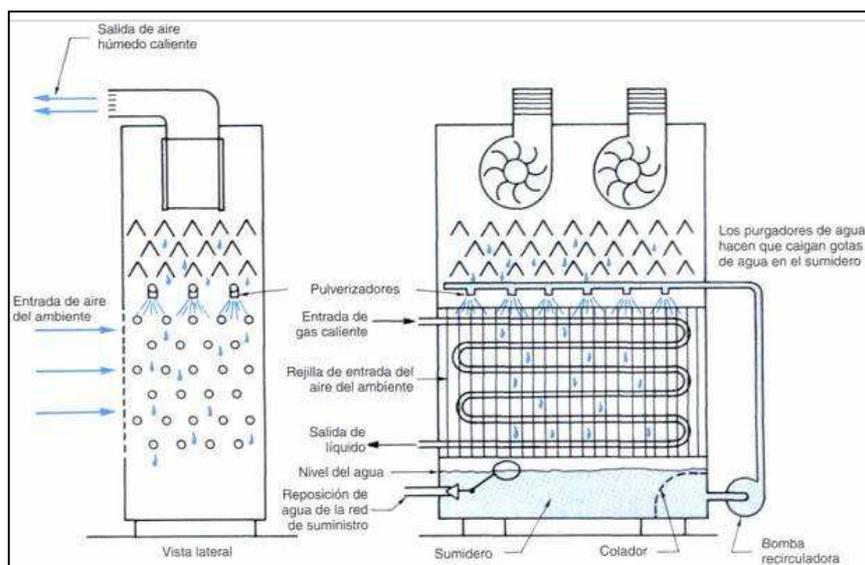


Fig. 3.18.- Recirculación de agua en el condensador por evaporación

F) Condensadores enfriados por aire

Los condensadores enfriados por aire emplean aire como medio hacia el que rechaza el calor. Este sistema puede suponer una gran ventaja en aquellos casos en los que sea muy difícil

utilizar agua. Los primeros condensadores enfriados por aire eran de tubería simple, en los que el ventilador del compresor soplaban aire sobre el condensador.

En un principio, los compresores eran abiertos. Con el fin de mejorar el rendimiento del condensador y hacerlo más pequeño, se amplió el área de la superficie con aletas. Los condensadores solían ser de acero y tenían aletas que también eran de este metal (Fig. 3.19). Estos condensadores se asemejaban a radiadores y, con frecuencia, se los llamaba así.

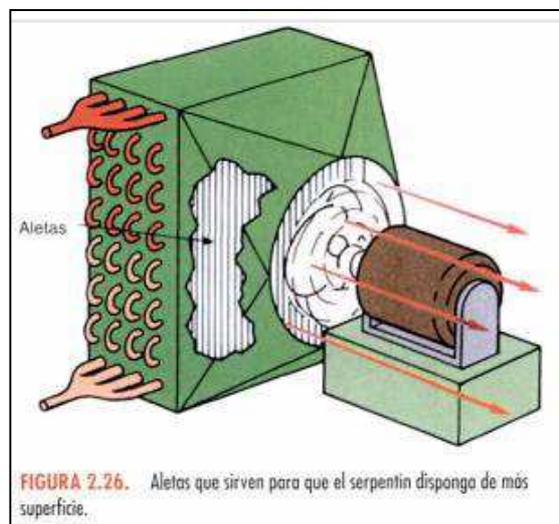


Fig. 3.19.- Aletas para serpentín

3.3.3. Válvula termostática de expansión (TXV)

La válvula de expansión termostática (TXV) se encarga de dosificar el refrigerante que va al evaporador, utilizando para ese fin, un sensor térmico que controla el sobrecalentamiento.

Esta válvula se abre o se cierra en respuesta a un elemento térmico. No es recomendable que haya un exceso de sobrecalentamiento, pero con esta válvula es necesario que haya una pequeña cantidad, para garantizar que no salga nada de refrigerante líquido del evaporador.

El objetivo de esta válvula es regular el flujo de refrigerante líquido al evaporador y disminuir la presión del mismo para que ingrese al evaporador a la temperatura idónea.

3.3.3.1. Componentes de la Válvula de expansión termostática

La TXV consta de los siguientes componentes detallados en la Fig. 3.20.

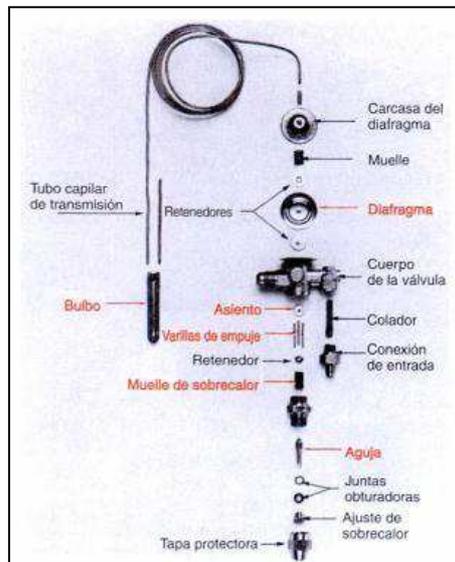


Fig. 3.20.- Componentes de una TXV

A) Cuerpo de la válvula:

En los sistemas de refrigeración normales, el cuerpo de la válvula es una pieza mecanizada con extremada precisión, hecha de bronce sólido o acero inoxidable, y que es la que contiene el resto de los componentes y fija la válvula al circuito de tuberías de refrigeración.

Algunas constan de una sola pieza, por lo que no es posible desmontarlas y, en cambio, otras están hechas de tal forma que sí que se pueden desmontar.

Estas válvulas pueden estar sujetas al sistema mediante tres métodos: conexión abocinada, por soldadura o mediante una brida. Algunas poseen una tercera conexión,

denominada **ecualizador externo**. Esta conexión es, normalmente, un abocinado de ¼” o una soldadura de ¼” y se encuentra en el lateral de la válvula, cerca del diafragma (fig. 3.21)



Fig. 3.21.- Tercera Conexión de válvula de expansión o ecualizado externo

B) Diafragma:

Está situado en el interior del cuerpo de la válvula y se encarga de hacer entrar y salir la aguja del asiento en respuesta a los cambios de carga del sistema.

El diafragma está hecho de un material muy fino y se encuentra en la parte superior de la válvula que tiene forma de cúpula. (Fig. 3.22)

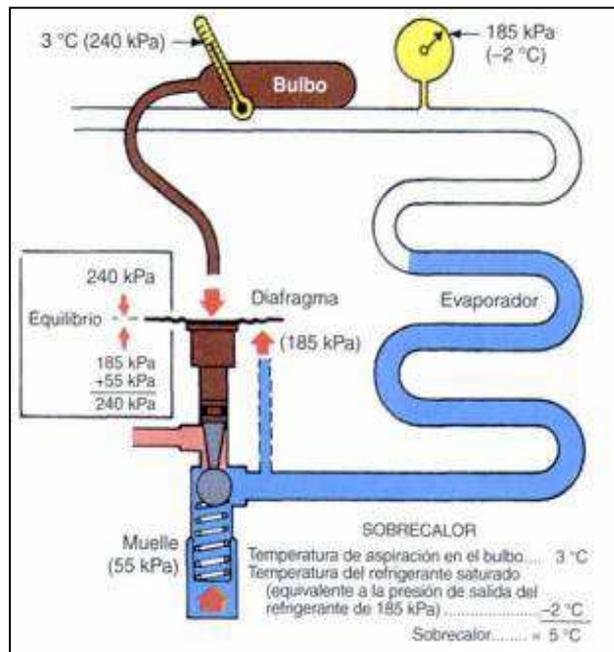


Fig. 3.22.- Diafragma de la válvula de expansión

C) Aguja y asiento:

La aguja y el asiento regulan el flujo de refrigerante que pasa por la válvula. Suelen estar hechos de algún tipo de metal muy resistente, como el acero inoxidable, para evitar que el refrigerante que pasa por él lo corra. La aguja y asiento se utilizan en los dosificadores para poder regular con precisión el refrigerante (Ver figura 3.23).

El tamaño de la aguja y el asiento es el que va a determinar la cantidad de refrigerante que va a pasar por la válvula para una caída de presión específica. Por ejemplo, cuando la presión sea de 1.200 kPa en un lado de la válvula y de 15 kPa en el otro lado, por ella pasará una cantidad calculada y predecible de refrigerante líquido.

A la hora de seleccionar una válvula, es importante tener en cuenta las condiciones bajo las cuales va a trabajar. Para tomar esta decisión, es recomendable consultar siempre los manuales. (WILLIAMS, 2002) [12].

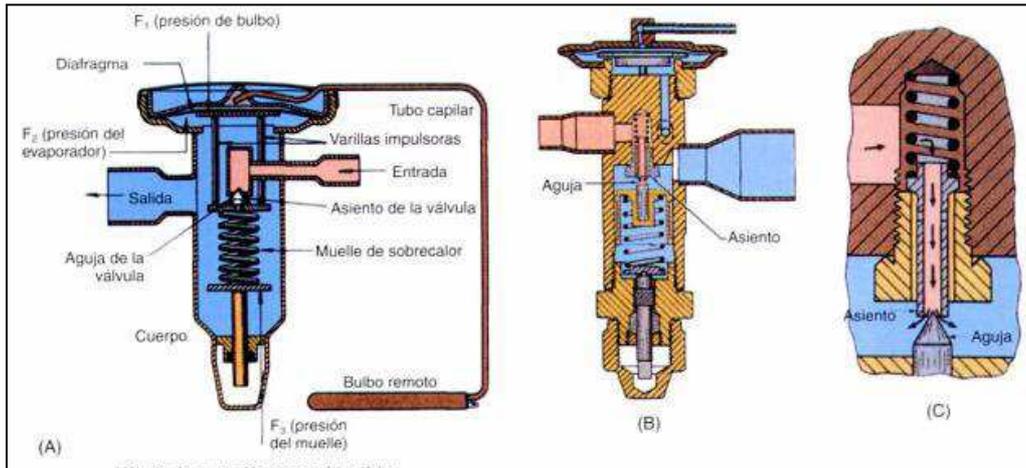


Fig. 3.23.- Dispositivos de aguja y asiento

3.3.4. Evaporador

Se trata de un intercambiador de calor de casco y tubo, cuya función se basa en la transferencia de calor del líquido a refrigerar hacia el refrigerante. En el evaporador, el refrigerante cambia de estado líquido a gaseoso y dirige este gas a baja presión hacia el compresor para volver a inicial el ciclo del sistema.

Los principales componentes del evaporador son la cámara de calefacción y la de evaporación.

Estas cámaras son separadas por la circunferencia sólida contenida en los tubos, por los cuales se realiza el intercambio de calor.

Según la disposición de los tubos tiene lugar la clasificación de los evaporadores.

3.3.4.1. Clasificación de los evaporadores.

A) Evaporadores de tubos horizontales:

En este tipo de evaporador, los tubos se encuentran dispuestos horizontalmente, por lo que la cámara de calefacción también está ubicada en este sentido y soportado por dos placas. El vapor proveniente del sistema ingresa por los tubos y se condensa porque cede su calor al refrigerante. Muchas veces queda vapor que no se puede condensar pero es posible eliminar con la implementación de un dispositivo depurador.

Por otro lado, la cámara de evaporación está compuesta por una carcasa cilíndrica dispuesta verticalmente y sellada por las bases, con una salida para la disolución concentrada en la parte baja y otra para el disolvente evaporado en la parte superior como se muestra en la figura 3.24.

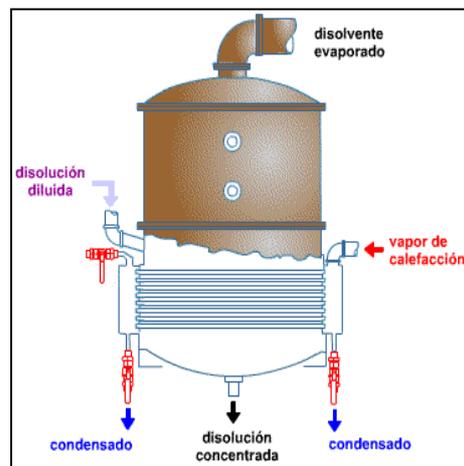


Fig. 3.24.- Cuerpo Cilíndrico Vertical

Así mismo, en el evaporador que se muestra a continuación, el vapor proveniente del sistema ingresa por los tubos y cede su calor al refrigerante contenido en la carcasa; por lo cual el vapor empieza a condensarse.

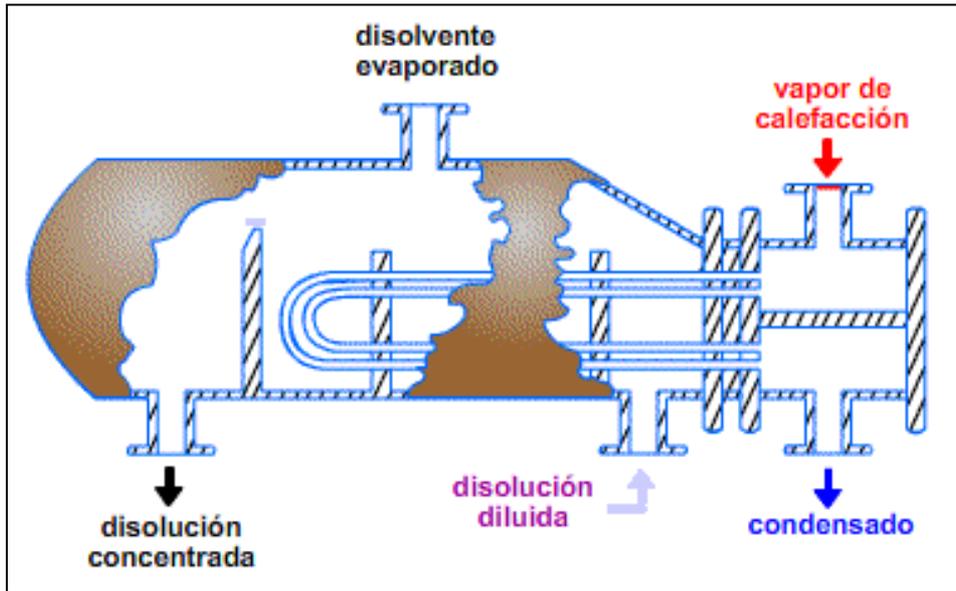


Fig. 3.25.- Vapor entra por dentro de los Tubos

B) Evaporadores de tubos verticales:

Se los llama así debido a que la ramificación de tubos se encuentra dispuesto de manera vertical en la carcasa.

El evaporador mostrado en la figura 3.26 es el llamado Evaporador Standard que es el más común en el ámbito de la refrigeración industrial.

En este caso la evaporación se realiza dentro de los tubos, saliendo por la parte inferior la disolución concentrada y por la parte superior el disolvente evaporado.

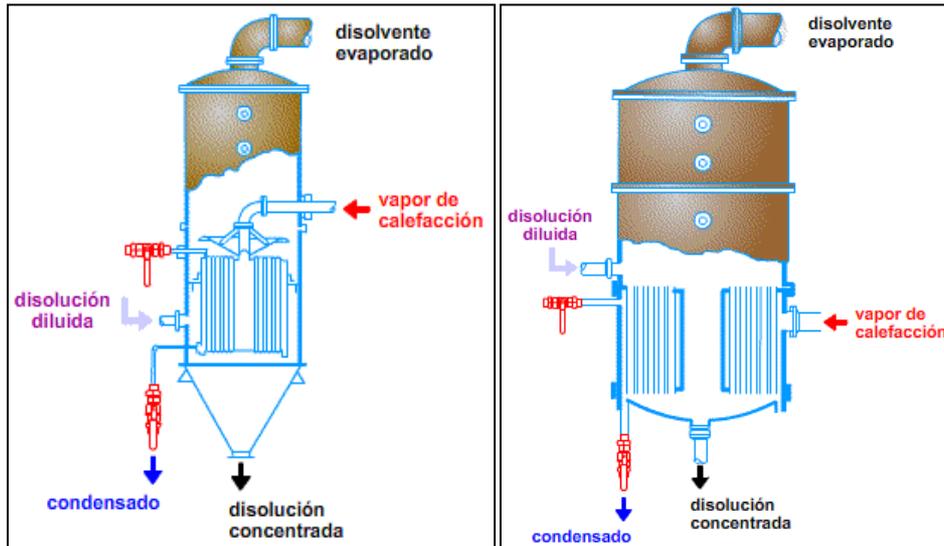


Fig. 3.26.- Evaporador Standard

C) Evaporador de Cesta:

En esta clase de evaporadores, la carcasa es de forma cónica y la disposición de los tubos es verticalmente. Estos evaporadores se usan cuando se pretende evaporar el disolvente en su totalidad, lo cual va a resultar en la formación de cristales que luego serán extraídos por la parte inferior. En este caso, la cámara de calefacción es desmontable para su limpieza.

D) Evaporador múltiple efecto

Se trata de un conjunto de evaporadores que para el caso se les denomina efecto a cada uno; y, de esta manera, el vapor resultante del primer evaporador se utilizará como calefactor para el segundo y así sucesivamente.

Para los evaporadores de múltiple efecto, existen métodos de alimentación, tales como:

- **Alimentación directa.** El vapor de alimento sigue sentido paralelo al vapor de circulación, resultando el producto en el último evaporador. El refrigerante que va cambiando de

estado circula automáticamente en el sentido de presiones bajas por lo que no se necesita de ningún mecanismo externo para que este pase de un evaporador al otro. Solo se necesita una bomba para hacer ingresar el refrigerante en el primer evaporador y otra adicional para succionar el producto del último como se muestra en la figura 3.27.

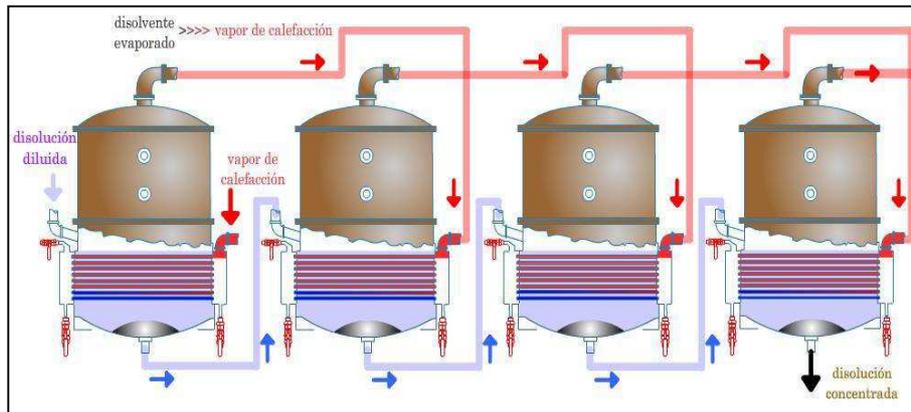


Fig. 3.27.- Alimentación Directo

- **Alimentación a contracorriente.** Para este caso, el refrigerante ingresa en estado líquido al último evaporador y el producto sale por el primero. Esta vez el vapor de calefacción circula en sentido contrario al del líquido a concentrar.

Para este tipo de alimentación si es necesario un mecanismo externo (bomba) para hacer circular el líquido, ya que este circula en sentido contrario al de las presiones bajas, por lo que éste tipo de alimentación es más complejo y en el caso de no existir mayor razón, se recomienda utilizar la alimentación directa.

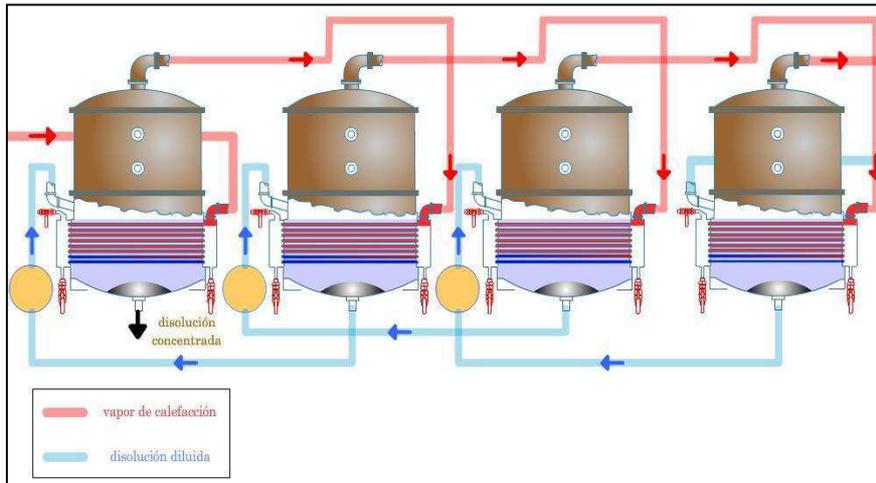


Fig. 3.28.- Alimentación a Contracorriente

- **Alimentación mixta.** Esto se da cuando por un lado se tiene alimentación directa y por otro se tiene a contracorriente y se utiliza cuando la viscosidad de las disoluciones es muy alta. En este caso, la disolución diluida ingresa desde el segundo evaporador y sigue los pasos de la alimentación directa hasta llegar al último evaporador, donde se usa alimentación a contracorriente para completar el proceso, por lo tanto el fluido resultante sale del primer evaporador.

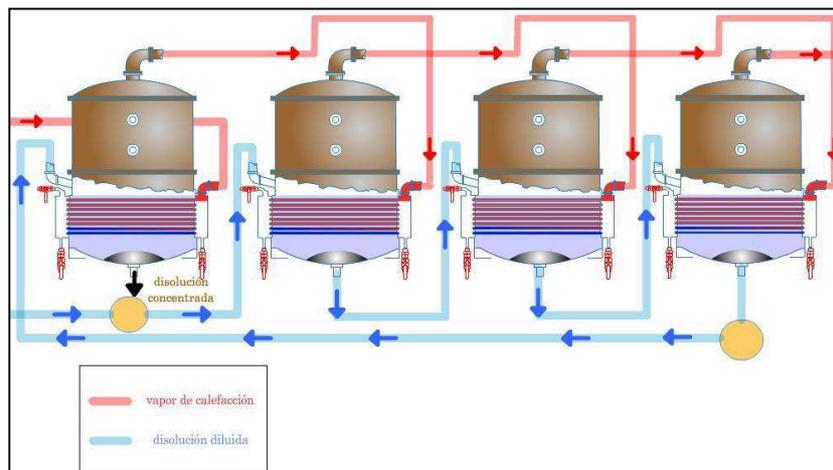


Fig. 3.29.- Alimentación Mixta

- **Alimentación en paralelo:** Esto se da cuando el vapor de alimentación ingresa al mismo tiempo y desde la misma línea al conjunto de evaporadores y el líquido resultante de cada uno se une en la misma corriente y sigue la misma línea. Este tipo de alimentación es comúnmente utilizado en la disolución de sales comunes donde la composición de los cristales depositados dificulta la alimentación directa.

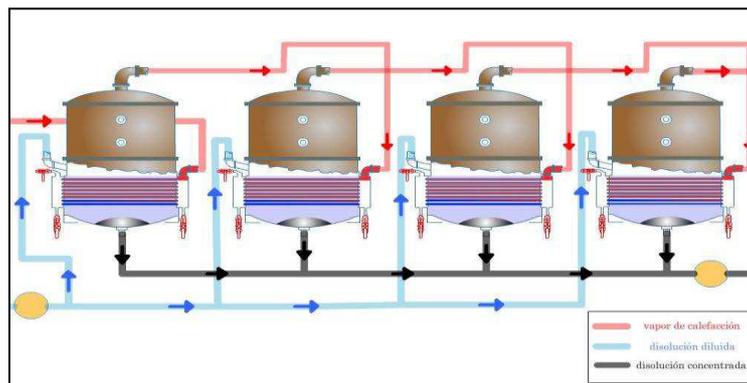


Fig. 3.30.- Alimentación en Paralelo

En conclusión, al momento de seleccionar el tipo de alimentación, se debe calcular el rendimiento de la evaporación del sistema a operar.

Cuando la temperatura de entrada de alimentación al primer evaporador es muy inferior a la de ebullición, se reducirá el rendimiento del proceso ya que el primer evaporador será utilizado para elevar la temperatura a grados ideales; para estos casos es recomendable la alimentación a contracorriente.

Mientras, por otro lado, cuando ocurre lo contrario y la temperatura de entrada de alimentación es muy alta se recomienda el uso de alimentación directa.

3.3.5. Dispositivos y controles

Para que un sistema Chiller trabaje de manera automática, hay que proveerlo de determinados dispositivos eléctricos. Estos controles son termostatos, presostatos y relés (protección eléctrica).

Los dispositivos y controles más importantes que componen un Chiller son los mencionados a continuación.

3.3.5.1. Termostato:

Estos dispositivos se los implementa con la finalidad de que den marcha o interrumpan un proceso cuando hay una variación de temperatura.

3.3.5.2. Presostatos:

El presostato de baja presión va instalado en la succión del compresor y actúa en el caso de que detectara bajas de presión en el sistema, sea esta ocasionada por temperatura baja en el fluido, falta de refrigerante o taponamiento en las líneas del sistema.

El presostato de alta presión se utiliza como elemento de seguridad, ya que actúa al haber aumentos de presión en niveles que sobrepasen los permitidos en el sistema. Este elemento se debe restablecer manualmente.

3.3.5.3. Calefactor de cárter:

El objetivo de éste elemento es calentar el aceite del compresor de manera tal que al momento de poner en marcha el sistema, el aceite pueda alcanzar una viscosidad idónea. Cuando

se apaga el equipo, el calefactor trabaja evaporando cualquier residuo de refrigerante resultante de la operación y se desenergiza de manera automática en la puesta en marcha.

3.3.5.4.Filtro deshidratador de succión:

Este elemento se implementa en la línea de succión del compresor y su objetivo es extraer la humedad que pueda contener el refrigerante o cualquier partícula no deseada en el sistema.

3.3.5.5.Filtro deshidratador de líquido:

Este elemento se implementa en la línea de líquido del sistema y su función es la misma del elemento anterior.

3.3.5.6.Indicador de líquido o cristal mirilla:

También se instala en la línea de líquido y sirve para medir la cantidad y el nivel de humedad del refrigerante.

3.3.5.7.Circuito de control:

Se trata de varios elementos eléctricos conectados a un tablero, y que realizan la puesta en marcha y parada del sistema, así como también las determinadas alarmas del mismo.

El **Gabinete** abarca los controles en general y sirve de respaldo a los componentes del sistema.

El **refrigerante** extrae el calor del fluido a enfriar y lo dispersa en un medio enfriante como agua o aire.

3.3.5.8. Bombas de agua

Las bombas de agua mueven líquidos como agua, glicol, aceites, lodos, entre otros.

Las Bombas de agua son muy utilizadas en muchas aplicaciones de Chiller portátil. El tipo más común para estas aplicaciones es la bomba centrífuga.

Las bombas centrífugas son clasificadas en tres categorías básicas:

- De flujo radial
- De flujo mixto
- De Flujo axial

La bomba Centrífuga, de presión de flujo radial, es desarrollada íntegramente por la fuerza centrífuga.

La presión de las Bombas de agua Centrífugas de flujo mixto es desarrollada en parte de la fuerza centrífuga y en parte por la elevación del impulsor. En bombas de líquido axial la presión de la bomba es desarrollada por el movimiento de retroceso o la acción de elevación de las alabes de la turbina y en el líquido el impulsor y la voluta son los componentes principales de una bomba centrífuga. El impulsor produce la velocidad en el líquido y la voluta esfuerza los líquidos para descargar la velocidad y presión que la bomba convierte. (ÁLVAREZ F, 2003) [13]

3.4. Principio de operación del chiller

La función del equipo Chiller es extraer el calor sensible del agua mediante el uso de un refrigerante sea este CFC ó HCFC, y es en base a las curvas de operación de éstos que realizan su operación.

Es así que el fluido que se pretende enfriar circula por un intercambiador de calor. La circulación de éste fluido cede su calor al fluido refrigerante, el cual se evapora al recibirlo a causa de la baja presión de evaporación.

3.4.1. Selección de Equipos y Sistemas de Enfriamiento

En la actualidad existen muchas industrias que requieren del empleo de equipos y sistemas de enfriamiento para sus líneas de proceso y sistemas auxiliares. Para el industrial de hoy el mercado ofrece una gran variedad de equipos y sistemas de enfriamiento que varían grandemente de acuerdo al rango de temperaturas requeridas, así como el grado de exactitud.

Los criterios fundamentales para la elección del mejor sistema son los siguientes:

- Standares de temperatura de operación máximo y minimo.
- Temperaturas de Bulbo Seco y Bulbo Húmedo
- Costos iniciales de inversión
- Costos de operación
- Costos de mantenimiento
- Complejidad de operación
- Nivel de Precisión
- Área disponible

- Corriente disponible
- Capacidad de cargas eléctricas disponibles
- Disponibilidad del agua
- Calidad del agua
- Ahorro de energía

El estudio a fondo de las necesidades de enfriamiento y el conocimiento de las capacidades del medio, determinarán la precisa elección del sistema más conveniente y puede concluir en eficiencia energética, simplicidad de operación, reducción de gastos innecesarios de mantenimiento, contratación de personal externo, etc.

Un método sencillo para la selección de equipos y sistemas de enfriamiento consta de los siguientes pasos:

3.4.2. Requerimientos.

Es necesario identificar en el diagrama de flujo del proceso los puntos que requieren de enfriamiento en forma directa así como la de los sistemas auxiliares.

3.4.3. Análisis termodinámico:

Es momento de determinar cuánto calor se genera durante el proceso, el cual es necesario remover a través de los sistemas de enfriamiento. Las fuentes más comunes generadores de calor son los motores, resistencias y vapor de agua generado por calderas. Para realizar el análisis termodinámico se debe unificar las unidades de las fuentes de calor aplicando las siguientes formulas:

- Motores hidráulicos: $Kw \times 0.432 = Kcal./h$

- Motores compresores: $Kw \times 0862 = Kcal./h$
- Resistencias $Kw \times 0.862 = Kcal./h$
- Vapor de agua: $1CV = 8316.5Kcal./h$ a 3 kg/cm^2

Cuando los productores son calentadores en otro punto del proceso se puede determinar su carga térmica mediante la siguiente formula:

- $W \times (T2-T1) \times Cp = Kcal./h$ (3.1)

Dónde:

W = Flujo de Masa kg/h

T2 = Temperatura final del producto $^{\circ}C$

T1 = Temperatura inicial del producto $^{\circ}C$

Cp = Calor específico del producto

Con estas fórmulas es posible determinar la cantidad de calor a remover y el gasto de agua requerido cuando no es proporcionado por el fabricante del equipo.

Capítulo IV

4. Cálculo y selección del equipo chiller

4.1. Cálculo para la selección del equipo generador de agua helada.

El proceso de selección es de mucha importancia por lo que se deben considerar muchas variables dentro de éste.

Se debe considerar la temperatura de trabajo, el aumento de la demanda de producción de agua helada para el proceso, las condiciones climáticas en el cual va a trabajar el equipo, la variabilidad de la potencia eléctrica en el lugar a instalar entre otras.

La selección de la unidad generadora de agua helada se debe basar principalmente, en el tipo de proceso para el que va a ser utilizado el equipo, la temperatura de trabajo, la capacidad térmica, y las características del agua.

4.1.1. La Aplicación.

La aplicación de nuestra planta será para la producción de agua de mezcla en el proceso de producción de hormigón.

4.1.2. Rangos de Temperatura y caudal.

Debido a su ubicación ecuatorial costanero la ciudad de Guayaquil tiene una temperatura cálida con una media anual de 25°C.

El rango de temperatura en este proceso está entre los 25°C, que en promedio se tiene como temperatura ambiente del agua en el lugar propuesto de instalación; hasta los 5°C, que es la temperatura óptima utilizada en el proceso.

La capacidad de carga máxima de cada camión mezclador que posee la empresa ripconci es de 7,5 m³.

La planta de hormigón tiene una capacidad máxima de producción de 37,5 m³/hora es decir 5 camiones por hora, según las normas ACI el porcentaje máximo de agua de amasado de hormigones es del 12% por tanto se tiene:

$$37,5 \text{ m}^3/\text{h} * 0,12 = 4,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$4,5 \text{ m}^3/\text{h} * \text{h}/60\text{min} * 1.000 \text{ l}/\text{m}^3 = 75 \text{ l}/\text{min}$$

$$75 \text{ l}/\text{min} * \text{gal}/3,75 \text{ l} = 20 \text{ gal}/\text{min}.$$

4.1.3. Características del Circuito

Se debe especificar las características de circuito del proceso para saber si se trata de un circuito abierto o cerrado.

En nuestro caso, el circuito en cuestión es abierto, por lo tanto se define como tal.

4.1.4. Selección del equipo según el requerimiento energético.

Se consideran dos tipos de equipos según su rango de consumo de energía.

Bajo.- que va desde los 100 a los 700 Watts.

Alto.- que va desde los 740 Watts a más.

4.2. Selección de la Unidad Generadora de agua helada para el proceso de producción de hormigón.

El dimensionamiento de la unidad generadora de agua helada se basa en la cantidad de calor que se debe retirar del agua de proceso para obtener la temperatura deseada, así como la energía adicional para sostener esta temperatura bajo un aumento de producción.

Normalmente, el fabricante del equipo especifica las variantes de BTU/hr o Watts necesarias junto al caudal y temperatura deseados tanto de entrada como de salida.

$$Q_{ABS} = Cp \cdot \dot{q} \cdot \Delta t \quad (4.1)$$

$$Q_{ABS} = Cp \cdot \dot{q} \cdot (t_1 - t_2)$$

$$\frac{BTU}{hr} = \left[\frac{BTU}{lb} \cdot ^\circ F \right] [gpm] [60min/hr] * \left[\frac{8,33lb}{gal} \right] [^\circ F]$$

t_1 = Temperatura de entrada en °F

t_2 = Temperatura de salida en °F

\dot{q} = Flujo de agua que circula (gpm)

Cp = Calor específico del agua a presión constante ($BTU/lb^\circ F$)

Q_{ABS} = Carga térmica del sistema (BTU/hrs)

4.2.1. Método de selección del equipo según sus condiciones ambientales

Si la temperatura ambiente se encuentra por encima de los 68°F se debe agregar un 1% a las BTU/hr calculadas por cada 0,9°F a partir de los 68°F.

Los condensadores enfriados por aire son vulnerables a flujos restringidos, además su rendimiento satisfactorio depende de la limpieza y temperatura del aire.

Una reducción en su capacidad en 1,8% por cada grado de incremento de temperatura (1% por °F), cuando la unidad debe operar en temperaturas ambiente por encima de los 95°F, por lo tanto la unidad debe instalarse del modo que el aire caliente no sea recirculado. (YORK, 2004) [13]

4.2.2. Condiciones de los factores de energía eléctrica en el lugar de instalación.

Si el voltaje de línea no es estable el cual es el caso del lugar de instalación debido a la inadecuado dimensionamiento de las unidades de transformadores instaladas y la sobrecarga constante del sistema que provoca inestabilidad en el voltaje se debe agregar un 10% a las BTU/hr calculadas como un factor de seguridad para el equipo.

4.2.3. Balance de Carga Térmica.

La selección de la unidad generadora de agua helada se la realiza según las capacidades calculadas con anterioridad.

Para determinar la carga térmica es necesario obtener la cantidad de calor absorbido en el proceso (CENGEL, 2006) [2], por tanto:

$$Q_{ABS} = Cp \cdot \dot{q} \cdot \Delta t$$

$$Q_{ABS} = Cp \cdot \dot{q} \cdot (t_1 - t_2)$$

En el caso de este proceso:

$$\dot{q} = 20 \text{ gpm}$$

$$t_1 = 25^\circ\text{C} = 77^\circ\text{F}$$

$$t_2 = 5^\circ\text{C} = 41^\circ\text{F}$$

$$Cp = 1 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F}$$

$$Q_{ABS} = 1 \left[\frac{BTU}{lb^{\circ}F} \right] [20 gpm] \left[\frac{60 min}{1 hr} \right] \left[8,33 \frac{lb}{gal} \right] [77^{\circ}F - 41^{\circ}F]$$

$$Q_{ABS} = 359856 \frac{BTU}{hr} * \frac{TR}{12000 \frac{BTU}{hr}}$$

$$Q_{ABS} = 29,988 TR$$

Para este proceso se agrega un 10% de factor de seguridad a la carga térmica.

$$Q_{ABS} = 29,988 TR * 10\% + 29,988 TR$$

$$Q_{ABS} = 32,9868 TR \approx 33 TR$$

La temperatura ambiente donde se va a operar se encuentra por encima de los 68°F, por lo tanto se debe agregar un 1% a los BTU/hr calculadas por cada 0,9°F por encima de los 68°F.

Entonces se tiene $\Delta t = 77^{\circ}F - 68^{\circ}F = 9^{\circ}F$, por tanto $\frac{9^{\circ}F}{0,9^{\circ}F} = 10$, entonces el factor de funcionamiento a una temperatura ambiente de 25°C o 77°F es de 10.

El 1% de $Q_{ABS} = 0,33 TR$

Por tanto: $0,33 TR * 10 = 3,3$

$$Q_{ABS} = 33 TR + 3,3 TR = 36,3 TR \approx 36 TR$$

Se puede observar que la carga térmica se encuentra dentro de los parámetros de la capacidad de una unidad generadora de agua que es de 40 TR, por tanto, se selecciona una planta de fabricación Nacional de la compañía INSE, que cumple con las características ya calculadas.

4.2.4. Selección de bombas.

Para este proceso es necesario tener una bomba que transporte el agua desde el tanque de almacenamiento térmicamente aislado hasta donde se va a producir el hormigón.

Durante la dosificación se agrega el 70% de agua instantáneamente, y el 30% restante una vez que ya esté cargado el mixer.

Entonces se tiene que el gasto requerido por el proceso de llenado del mixer es de:

Capacidad del mixer = 7,5 m³

Porcentaje máximo de agua en diseño de hormigón = 12%

Porcentaje máximo de agua en dosificación = 70%

Por tanto;

$$7,5 \text{ m}^3 * 12\% = 0,9 \text{ m}^3 \text{ de agua}$$

Se agrega el 70% de la totalidad de agua en un minuto, se tiene que el flujo requerido es:

$$Q = 0,9 \text{ m}^3 * 70\% = 0,63 \text{ m}^3/\text{min} * 1\text{min}/60 \text{ seg} = 0,0105 \text{ m}^3/\text{seg}$$

El Chiller posee una altura efectiva de 5 mts: La ecuación de la potencia hidráulica necesaria es:

$$N_H = \dot{q} \cdot \rho \cdot g \cdot H_B \quad (4.2)$$

$N_H = \text{Potencia Hidráulica}$

$\rho = \text{Densidad del agua}$

$g = \text{Aceleración de la gravedad}$

$H_B = \text{Altura del sistema}$

Se tiene entonces:

$$N_H = \left(0,0105 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}\right) \left(10^3 \frac{\text{kg}}{\text{seg}}\right) \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right) (5 \text{ mts})$$

$$N_H = 515,025 \text{ Watts} \approx 515 \text{ Watts}$$

Calculando la potencia de accionamiento del motor:

$$N_A = \frac{N_H}{\eta} \quad (4.3)$$

$$\eta = \text{Factor de Potencia} = 0,8$$

$$N_A = \frac{515 \text{ Watts}}{0,8} = 643,75 \text{ Watts}$$

$$N_A = 643,75 \text{ Watts} * \frac{1 \text{ hp}}{746 \text{ Watts}} = 0,863 \text{ hp}$$

Como se muestra, la capacidad de la bomba requerida para el proceso es baja, pero se deberá incluir bombas de 2 HP, por seguridad del proceso, que serán reguladas por válvulas de paso que dan el caudal requerido.

4.3. Sobrecalentamiento y Sub-enfriamiento.

El sub-enfriamiento debe revisarse antes de establecer el sobrecalentamiento.

La temperatura de sub-enfriamiento debe ser obtenida tomando la temperatura del líquido refrigerante a la salida del condensador y la presión de la válvula de servicio, convirtiéndola en temperatura por medio de una tabla presión/temperatura del refrigerante utilizado.

Así por ejemplo:

$$15,4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} (220 \text{ PSIG}) \rightarrow R - 22$$

Presión de válvulas de servicio = 108°F

Temperatura de línea de líquido = 93°F

Sub-enfriamiento = 15°F

Una vez establecido el sub-enfriamiento se procede al ajuste del sobrecalentamiento, el cual debe ser establecido después de que la operación del enfriador sea estable y de que el líquido haya bajado a la temperatura requerida.

El sobrecalentamiento es la diferencia entre la temperatura real del gas refrigerante del retorno, entrando al compresor y la temperatura correspondiente a la presión de succión.

Así por ejemplo:

Temperatura de Succión (44°F) → R – 22

$$4,2 \frac{kg}{cm^2} (60 \text{ PSIG})$$

En Válvula de succión = 34°F.

Sobrecalentamiento = 10°F.

La temperatura de succión debe tomarse a 0,15 mts antes de la válvula de succión del compresor y la presión se toma en la válvula de succión del compresor.

Un sobrecalentamiento de 4,4°C (40°F) indicaría una sobrecarga, mientras que uno mayor a 12°F, indicaría una insuficiencia de carga.

Capítulo V

5. Análisis Financiero

Para la adquisición de un equipo Chiller es necesario realizar un análisis económico primario para determinar su factibilidad.

5.1. Costos de implementación del chiller

El equipo enfriador Chiller, incluyendo la Mano de Obra, insumos, materiales y equipos necesarios para su instalación, tienen un valor de \$32000.00 USD. Cabe recalcar que para la instalación de este equipo es necesario contar con un transformador trifásico, del cual ya está equipada la planta de Hormigón Geo 1.

5.2. Mantenimiento del equipo chiller

Para obtener un buen rendimiento del equipo y de esta manera asegurar la calidad en la producción de hormigón de la planta GEO 1, es necesario mantener un cronograma de mantenimiento, el cual debe hacerse de manera semestral y tiene un costo de \$1500.00 USD., es decir \$3000,00 USD al año.

5.3. Flujo neto de caja

El flujo neto de caja (Tabla 5.2.2.), representa la diferencia entre la suma de todos los cobros generados por la venta de hormigón, y la suma de todos los pagos (Tabla 5.2.1.), efectuados durante la vida útil del proyecto de inversión.

Tabla N° 5.2.1.- Ingresos y Egresos Anuales de la Planta GEO 1

Años	Ingresos (\$)	Egresos (\$)
1	40.000,00	20.000,00
2	40.000,00	22.000,00
3	40.000,00	21.000,00
4	40.000,00	19.000,00
5	16.000,00	21.500,00
Valor del equipo con depreciación del 10% anual		

Tabla N° 5.2.2.- Flujo de Caja Anual de la Planta GEO 1

Años	0	1	2	3	4	5
Ingresos (\$)		40.000,00	40.000,00	40.000,00	40.000,00	56.000,00
Egresos (\$)		20.000,00	22.000,00	21.000,00	19.000,00	21.500,00
Flujos de Caja (\$)		20.000,00	18.000,00	19.000,00	21.000,00	34.500,00
		(32.000,00)				

5.4. VPN ó VAN = Valor presente neto (valor actual neto)

Es la diferencia entre el valor de mercado de una inversión y su costo; y el valor presente neto de la inversión. Se abrevia VPN. En otras palabras es una medida de cuánto valor se crea o agrega hoy al efectuar una inversión. (GAVA, 2008) [3]

Este método es uno de los más utilizados en la evaluación de un proyecto de inversión, para su cálculo considera el cambio del valor del dinero, en el tiempo, efecto conocido como inflación. Se puede decir que el VPN es el monto que un proyecto traerá como beneficio, luego de asumir el riesgo de inversión.

Tabla N° 5.3.1.- Flujo de Caja Actualizado

Año	1	2	3	4	5
Flujo de caja (\$)	20.000,00	18.000,00	19.000,00	21.000,00	34.500,00
Tasa de descuento (%)	1,2	1,44	1,728	2,0736	2,48832
Flujo actualizado (\$)	16.666,67	12.500,00	10.995,37	10.127,31	13.864,78

Para evaluar el valor presente de los flujos generados por un proyecto individual se lo hace por medio de la siguiente fórmula:

$$VPN = -S_0 + \frac{Ft_1}{(1+td)^1} + \frac{Ft_2}{(1+td)^2} + \dots + \frac{Ft_n}{(1+td)^n} = -S_0 + \sum_{n=1}^n \left[\frac{Ft}{1+(td)^n} \right] \quad (5.1)$$

S_0 = Inversión Inicial.

Ft = Flujo de efectivo neto del período t.

n = Período de vida del proyecto.

td = Tasa de Descuento.

El proyecto de inversión será viable siempre que el VPN determinado sea mayor a “0”, por el contrario si es menor que “0”, significa que el proyecto no arrojará ningún beneficio económico y por tanto no se deberá tomar; y, si el VPN es igual a “0”, Dado que el proyecto no agrega valor monetario por encima de la rentabilidad exigida (r), la decisión debería basarse en otros criterios, como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado u otros factores.

$$VPN = -32000 + \frac{20000}{(1 + 0,2)^1} + \frac{18000}{(1 + 0,2)^2} + \frac{19000}{(1 + 0,2)^3} + \frac{21000}{(1 + 0,2)^4} + \frac{34500}{(1 + 0,2)^5}$$

$$VPN = -32000 + 16666,67 + 12500 + 10995,37 + 10127,31 + 13864,78$$

$$VPN = -32000 + 64154,13$$

$$VPN = 32154,13$$

5.5. TIR = Tasa Interna de Retorno

La tasa interna de retorno (TIR) es el promedio anual de los rendimientos generados por una inversión en un número específico de años desde que se realiza la inversión.

Tabla N° 5.4.1.- Tasa de descuento 20% con valor actual neto positivo

20%			
Años	Flujo de caja (\$)	Tasa de Descuento (%)	Flujo actualizado (\$)
0	(-32.000,00)	1	(-32.000,00)
1	20.000,00	1,2	16.666,67
2	18.000,00	1,44	12.500,00
3	19.000,00	1,728	10.995,37
4	21.000,00	2,0736	10.127,31
5	34.500,00	2,48832	13.864,78
Van positivo			32.154,13

Tabla N° 5.4.2.- Tasa de descuento 57.055% con Valor actual neto negativo

57,055%			
Año	Flujo de caja (\$)	Tasa de Descuento (%)	Flujo actualizado (\$)
0	(-32.000,00)	1	(-32.000,00)
1	20.000,00	1,57055	12.734,39
2	18.000,00	2,466627303	7.297,41
3	19.000,00	3,87396151	4.904,54
4	21.000,00	6,084250249	3.451,53
5	34.500,00	9,555619229	3.610,44
VAN NEGATIVO			(-1,68)

Una vez que se han determinado las tasas de descuento máximas y mínimas, se utiliza la siguiente fórmula para hallar la tasa interna de rentabilidad (TIR)

$$TIR = T_{d POSITIVO} + \left[\frac{VAN POSITIVO}{VAN POSITIVO - VAN NEGATIVO} * (T_{d NEGATIVO} - T_{d POSITIVO}) \right] \quad (5.2)$$

$$TIR = 0,20 + \left[\frac{32154,13}{32154,13 - 1,68} * (0,57055 - 0,20) \right]$$

$$TIR = 0,57057$$

Esto quiere decir que la tasa de interés máxima del proyecto debe ser de 57,057%, para que el VAN sea igual a 0.

5.6. Análisis Costo - Beneficio

El análisis costo / beneficio, es una herramienta financiera que tiene como principal objetivo proporcionar a la empresa, en valores monetarios, la factibilidad o rentabilidad que pueda tener un proyecto de inversión.

Para esto se debe considerar los flujos de caja y las tasas de descuento que se presentan en la planilla 5.5.1.

Tabla N° 5.5.1.- Flujo Anual de tasa de descuento

Años	Flujo de caja (\$)	Tasa de Descuento (%)
0	(-32.000,00)	1
1	20.000,00	1,2
2	18.000,00	1,44
3	19.000,00	1,728
4	21.000,00	2,0736
5	34.500,00	2,48832

Una vez realizado esto, se procede a sacar los flujos de ingresos y egresos anuales respectivamente y luego se hace la sumatoria tanto de los ingresos como de los egresos anuales.

El valor resultante de la división de la sumatoria de flujos de egreso entre la sumatoria de flujos de ingreso, representa al valor Costo - Beneficio. (Tabla 5.5.2.)

Tabla N° 5.5.2.- Análisis Costo - Beneficio

Flujos ingresos (\$)	Flujos egresos (\$)
33333,33	16666,67
27777,78	15277,78
23148,15	12152,78
19290,12	9162,81
22505,14	8640,37
126054,53	61900,41
C/B	\$2,04

El resultado de la tabla descrita indica que por cada dólar invertido se obtiene una ganancia de \$2,04 dólares.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Al considerar todos los cálculos obtenidos y las necesidades en la planta de hormigón Geo 1 de la empresa Ripconciv, se concluye que:

Se establecieron las características físicas y químicas del agua para la producción de hormigones.

Se describió las características, el estado y el funcionamiento de la planta de hormigón Geo 1 de la Constructora Ripconciv.

- Se determinó que Para la producción de hormigón, la temperatura del agua es más fácil de controlar que la de los otros componentes por lo que este estudio se basa básicamente en los métodos conocidos para disminuir la temperatura del agua.
- Para la elección del sistema óptimo en el enfriamiento de agua de mezcla en la producción de hormigón se precisó con sumo cuidado factores externos tales como las condiciones ambientales del lugar donde se va a instalar y las condiciones de los factores de energía eléctrica del lugar; por lo que es necesario tener en cuenta los factores de seguridad de la carga térmica.
- Al momento de comparar las diversas alternativas de enfriamiento de agua de mezcla, no solo se debe considerar la inversión inicial, sino también los costos de instalación, mantenimiento y operación; y se seleccionará la alternativa más factible para el proyecto, determinándose así el monto de inversión necesario para la instalación y operación del enfriador chiller.
- Se establecieron sugerencias técnicas como instalar un nuevo banco de transformadores que puedan abastecer la creciente necesidad energética de la planta y su posterior crecimiento e instalación de nuevos equipo.
- En este caso se llegó a concluir que es el enfriamiento por medio de un equipo chiller.

Recomendaciones

- Dentro de los cálculos de Bomba a utilizar en el sistema de enfriamiento, se recomienda que la potencia de esta sea mayor a la calculada por motivos de seguridad. Otro de los motivos es que la potencia calculada para el proceso es relativamente baja y se debe considerar la potencia de las bombas existentes en el mercado. También es necesario tener en cuenta que en el sistema se debe instalar dos bombas utilizándolas alternadamente ya que en caso de falla, daño o mantenimiento de una de ellas, la otra sustituirá los requerimientos del proceso sin ningún inconveniente y el sistema seguirá operando con normalidad.
- Para el óptimo funcionamiento del sistema de refrigeración chiller se debe monitorear continuamente las temperaturas de sobrecalentamiento y sub-enfriamiento del sistema para poder controlar adecuadamente la carga que se aplica al sistema.
- Para poder tener un buen rendimiento del equipo de refrigeración, es necesario proteger adecuadamente con aislamiento térmico en lo que sea posible las tuberías del sistema para mitigar la influencia de los agentes externos como la inclemencia del clima presente en el lugar de instalación.
- Para el buen funcionamiento del equipo chiller es necesario instalar un nuevo banco de transformadores que puedan abastecer la creciente necesidad energética de la planta y su posterior crecimiento e instalación de nuevos equipos.

Referencias Bibliográficas.

- 1 A. Serrano, Nicolás. (Ed. 1ª) (2010). *Neumática práctica*. Madrid: Editorial Paraninfo.
- 2 Cengel, Yunus A.; Boles, Michael A. (Ed. 6ª) (2006), *Termodinámica*. México: Editorial Mc Graw Hill
- 3 Gava, L.; E. Roperio; G. Serna y A. Ubierna (2008), *Dirección Financiera: Decisiones de Inversión*. Madrid: Editorial Delta.
- 4 Huemul, Julio (2000). *Generación y distribución de aire comprimido, apuntes de oleo hidráulica, neumática y autómatas programables*. Concepción, Chile.
- 5 Kudra, Antoni Luszczewski. (1ª Edición) (2004). *Redes industriales de tubería, bombas para agua, ventiladores y compresores*. Barcelona, España: Editorial Reverte
- 6 Mott, Robert L. (Ed. 6ª) (2006). *Mecánica de Fluidos*. México: Pearson Educacion
- 7 Normas ACI. *Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-05)*. Farmington Hills, Michigan: Comité ACI 318
- 8 Pastor Ruperez, Justo (2002). *Maquinas hidráulicas y de fluidos*.
- 9 Rapin, Pierre y Jacquard, Patrick (Ed. 2ª) (2004). *Instalaciones Frigoríficas (Tomo I Física Aplicada)*. Madrid, España: Editorial Marcombo
- 10 Rufes Martinez, Pedro (2000). *Condensadores*. Barcelona, España: CEAC
- 11 Viejo Zubicaray, Manuel y Alvares Fernandez, Javier (Ed. 3ª) (2003). *Bombas. Teoría, diseño y aplicaciones*. México: Noriega Editores
- 12 Whitman, W. C. y Johnson, W. M. (2002). *Tecnología de refrigeración y aire acondicionado*. España: Paraninfo Ediciones.
- 13 YORK (2004). *System Chiller Manual*. York International