



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**PROPUESTA DE MEJORA AL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE LAS MÁQUINAS
DE PRODUCCIÓN DE ENVASES PLÁSTICO, DE LA EMPRESA
METALGRÁFICA S.A.**

Autor
VALERIA GUZMÁN B.

Valencia, abril de 2008.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**PROPUESTA DE MEJORA AL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE LAS MÁQUINAS
DE PRODUCCIÓN DE ENVASES PLÁSTICO, DE LA EMPRESA
METALGRÁFICA S.A.**

**Autor
VALERIA GUZMÁN B.**

**Tutor Académico
Ing. Tony Espinosa**

**Tutor Industrial
Ing. Marcos Rodríguez**

Valencia, abril de 2008.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



**PROPUESTA DE MEJORA AL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE LAS MÁQUINAS
DE PRODUCCIÓN DE ENVASES PLÁSTICO, DE LA EMPRESA
METALGRÁFICA S.A.**

*TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OBTAR
AL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO*

**Autor
VALERIA GUZMÁN B.**

Valencia, abril de 2008.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



CONSTANCIA DE APROBACION

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado para evaluar el Trabajo Especial de Grado, Titulado: **"PROPUESTA DE MEJORA AL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE LAS MAQUINAS DE PRODUCCIÓN DE ENVASES PLÁSTICO, DE LA EMPRESA METALGRAFICA S.A"**. Realizada por la bachiller Valeria Guzmán Barrera. Cedula de Identidad 17.402.214, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo y que no nos hacemos responsables de su contenido, pero lo encontramos correcto en su forma y presentación.

Prof. Tony Espinosa
Presidente del jurado

Prof. Carlos Alvarado
Jurado

Prof. (a) Katusca Franceschi
Jurado

Valencia, abril de 2008.

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso, mil gracias!!! Por hacer de mi vida lo que hoy es y tener todo lo que tengo... Por esta grandísima oportunidad y por hacerme vivir esta excelente etapa de mi vida, que hoy me deja llena de satisfacción, experiencia y recuerdos... Gracias DIOS!!!.

A la Industria Metalgrafica S.A. por darme la oportunidad de desarrollar mi Trabajo Especial de grado, especialmente al Ing. Marcos Rodríguez, mi tutor, por haber depositado su confianza en mí para realizar esta investigación. Al señor Alejandro Sequera y el Sr. Pedro Sarmiento por su valiosa ayuda y colaboración.

A mi tutor Académico Tony Espinosa, por su apoyo incondicional ante todo, por ser un amigo más que un profesor, y por confiar y creer en mí para la elaboración de este trabajo.

A TRINA Y LEÍDA, de la escuela de química, que fueron de gran ayuda para lograr esto, por recordarme las fechas, por presionarme y darme soluciones ante todo.

A MI MAMÁ!!! Porque simplemente le debo todo lo que soy hoy, por acompañarme en todo momento, por estar ahí sin ningún esfuerzo, por enseñarme que nada es imposible en la vida, por ser el mayor de los apoyos en mi vida. Sin ella no sería nada, GRACIAS MAMÍ!. Esta etapa te la debo a ti y mis metas son tuyas mas que mías y me muevo en función de hacerte sentir orgullosa de mí... TE AMO.

A mi PAPÁ, por su valiosa ayuda en este trabajo, por creer en mí siempre, por valorarme, y ser uno de mis mejores amigos, por todo lo que se pueda agradecer.. Gracias PAPI!! Te amo.

A mis Hermanos Alfredo y Melisa, porque de una u otra forma me apoyaron en cada día, por valorarme y estar en mi vida. Los adoro!

A mi Mejor amiga Ana María, cuando creía imposible lograr esto, me apoyo de la mejor manera, su compañía y esfuerzo para lograr esto no tienen tamaño, al igual que lo mucho que se lo agradezco. 18 años de amistad jamás definirán el cariño que te tengo, gracias por llegar y seguir en mi vida todos los días. Te quiero muchísimo.

A mi amiga Carolina Vilacha, que no se imagina de lo mucho que le agradezco su compañía y amistad, por estar conmigo en el inicio de mi carrera y formarme para seguir adelante cada día y enfrentar cada una de mis materias. A ella le debo mis notas y mi promedio. Gracias Caro.

A la BEBA, que fue mi leal amiga y compañera en la escuela de Ing. Química, trabajar con ella fue un placer y agradezco su amistad eternamente.

A mi novio Eduardo Coll, porque ha hecho de mi vida un lugar mas bonito, porque también ha creído en mí en todo momento, y le agradezco muchísimo haber atravesado esta etapa conmigo.

A Juan Smith por permitirme continuar con esta investigación.....Al resto de mis compañeros de los que me duele despedirme, GRACIAS, por hacer de esta etapa una experiencia única.....

VALERIA GUZMÁN

DEDICATORIA

En primer lugar se lo dedico a Dios y a la Virgen, lograron darme las soluciones necesarias para conseguir esta gran meta.

A mi MAMA!! Le dedico mi éxito, solo quiero y espero ser como ella, haber logrado dentro de muchos años las cosas que ella logró. Le dedico todo lo que ella dedica por mi todo los días. Lograr esto es solo una retribución a su esfuerzo.

A mi papá y a mis hermanos.. Por su valiosa fe en mi..

A cada uno d mis compañeros que en cada segundo aportaban algo, ganas de seguir, apoyo, relajos, felicidades.. les dedico mi éxito sin ustedes no habría logrado muchas cosas. A la Beba, Chavela, Roberto, Richard, Mariu, Carlos, Jonás, Aura, Miguelon, Pedro, William, Domenico, Carmen y a muchos más... porque sus ratos llenos de alegría movieron mi mundo.

A Ana Maria mi incondicional amiga, le dedico este logro, por todo lo que ha hecho por mi, por su gran sinceridad, apoyo, locuras y mayores alegrías. Le deseo el mayor de los exitos y espero que pueda terminar esta etapa para yo poder ayudarla igual.

A mi novio, porque en este momento forma parte de lo más importante, por crecer juntos, por enfrentar lo que nos viene a partir de ahora como Ingenieros, le dedico mi trabajo y le deseo lo mejor del mundo.

Este éxito es de todos ustedes...



RESUMEN

El objetivo general del presente trabajo especial fue realizar una “Propuesta de mejora al Sistema de Enfriamiento de las máquinas de producción de envases plásticos, de la Industria Metalgráfica S.A.” con el fin de incrementar la eficiencia actual, estudiando cada uno de los equipos que pertenecen a él, es decir, tanto el circuito abierto, como el circuito cerrado del mismo. Para lograr la evaluación del sistema de enfriamiento, se siguió una metodología que permitió estimar las cargas térmicas generadas en el enfriamiento tanto del molde como del aceite y así mismo la capacidad de enfriamiento de cada uno de los equipos responsables de retirar esta carga térmica, para mantener un equilibrio dentro del sistema. Para lograr lo anterior, se tomaron datos de caudal y temperaturas a la entrada y salida de cada uno de los puntos de estudio (molde, enfriadores, etc.) y mediante la utilización de la ecuación de calor sensible y otros modelos matemáticos, se determinaron estos valores. Posteriormente se hallaron las variables más relevantes del proceso y cuáles afectaron de manera negativa, para así plantear mejoras a las mismas, sugiriendo cambios necesarios para las condiciones actuales. Entre los principales resultados obtenidos se pueden mencionar: La capacidad de enfriamiento obtenida para el sistema de los enfriadores 6 y 7 del sistema de máquinas Engel fue de 37.560,56 Kcal/h de la cual es aprovechada el 87% por el enfriamiento del molde. Los evaporadores de los enfriadores puntuales del sistema de máquinas Husky aprovechan alrededor de un 90% de la capacidad de enfriamiento de los condensadores, permitiendo que no sea posible retirar la carga térmica generada en el compresor, ocasionando el mal funcionamiento de los enfriadores. Finalmente se concluyó, entre otras cosas, que si se hace pasar por los condensadores de los enfriadores puntuales del sistema Husky, agua proveniente de una torre evaporativa, se logrará retirar el calor de los evaporadores y del compresor, logrando un mejor funcionamiento. Para mejorar la eficiencia de este sistema se recomendó realizar un seguimiento adecuado en cuanto a los caudales que circulan en él, instalando para ello medidores de flujo y válvulas que permitan establecer el caudal requerido por cada uno de los circuitos.

Palabras claves: sistema de enfriamiento, enfriadores y aprovechamiento

**ÍNDICE DE FIGURAS**

	Pág.
FIGURA 1.1. Esquema del proceso cerrado y abierto, del sistema de enfriamiento de las máquinas de inyección de plástico de la Industria Metalgráfica S.A	5
FIGURA 2.1. La unidad de inyección.	16
FIGURA 2.2 Modelo que explica la ecuación de continuidad o balance de masa	24
FIGURA 2.3 Sistema de flujo de Fluidos, que ilustra la ecuación de Bernoulli.	25
FIGURA 2.4. Partes de una bomba centrífuga.	28
FIGURA 2.5. Torres de enfriamiento de tiro forzado e inducido.	36
FIGURA 2.6. Funcionamiento de una torre evaporativa.	40
FIGURA 2.7. Imagen de un Chiller o Enfriador de agua helada.	40
FIGURA 3.1. Máquina de inyección	44
FIGURA 3.2. Esquema del sistema de enfriamiento del aceite hidráulico de las máquinas Engel y Husky	48
FIGURA 3.3. Esquema de la distribución del agua almacenada en la piscina abierta de las torres de enfriamiento convencionales, del sistema de enfriamiento abierto	49
FIGURA 3.4. Principio básico del funcionamiento de los enfriadores del sistema de enfriamiento de molde de las maquinas de inyección.	50
FIGURA 3.5. Esquema del circuito del sistema de enfriamiento de las máquinas Engel.	51
FIGURA 3.6. Esquema del circuito del sistema de enfriamiento de las máquinas Reed y KM	52
FIGURA 4.1. Funcionamiento de un intercambiador de calor	57
FIGURA 4.2. Balance en las torres evaporativas	63



	Pág.
FIGURA 4.3. Partes de un diagrama causa - efecto	66
FIGURA 5.1. Puntos de evaluación de Temperatura y caudales dentro del sistema Engel	79
FIGURA 5.2. Funcionamiento de un Enfriador y volumen de control para la evaluación	84
FIGURA 5.3. Sistema de enfriamiento de aceite de las máquinas Engel y Husky, balances de energía realizados.	89
FIGURA 5.4. Diagrama Causa-Efecto del sistema de enfriamiento de las máquinas de inyección	95
FIGURA 5.5. Diagrama de flujo del sistema propuesto para el enfriamiento de los condensadores de los enfriadores puntuales de las máquinas Husky.	101
FIGURA 5.6. Diagrama de flujo para el sistema de enfriamiento de los condensadores 4 y 5 y del aceite de las máquinas Reed y KM	106
FIGURA A.1. Balances de energía aplicados para los cálculos correspondientes para el sistema de máquinas Engel	129
FIGURA D.1. Curva de calibración del medidor de flujo ultrasónico para una tubería de 2". Para la transformación de velocidad de flujo (m/s) a caudal (m ³ /s)	181
FIGURA D.2. Carta psicrométrica de temperaturas intermedias a la presión barométrica de 29,95 pulg. de Hg.	183
FIGURA D.3. Carta psicrométrica de temperaturas elevadas a la presión barométrica de 29,95 pulg. de Hg	184
FIGURA 1. Tuberías con alto grado de corrosión externa en el enfriador 4. Imagen de una red de tuberías.	188
FIGURA 2. Equipos del sistema Engel	188
FIGURA 3. Enfriador puntual del sistema Husky	189
FIGURA 4. Torre convencionales del sistema de enfriamiento abierto	189



**ÍNDICE DE TABLAS**

	Pág.
TABLA 4.1. Relación de demanda energética con los equipo correspondientes al enfriamiento	64
TABLA 4.2. Matriz causa-efecto, para la selección de la variable más influyente. (MODELO)	68
TABLA 5.1. Caudal que circula por cada una de las máquinas Engel para el enfriamiento del molde	77
TABLA 5.2. Caudales de agua de enfriamiento que circula por los moldes de las máquinas.	78
TABLA 5.3. Relación entre la carga térmica generada y la capacidad de enfriamiento del sistema, para los moldes de las máquinas Engel.	81
TABLA 5.4. Relación entre la carga térmica generada y la capacidad de enfriamiento del sistema, para los moldes de las máquinas HUSKY.	82
TABLA 5.5. Relación entre la carga térmica generada y la capacidad de enfriamiento del sistema, para los moldes de las máquinas Reed y KM.	83
TABLA 5.6. Relación evaporador-condensador, dentro de los Enfriadores del sistema Engel (6 y 7), y para el sistema Reed y KM (4 y 5).	86
TABLA 5.7. Relación evaporador condensador dentro de los enfriadores puntuales del sistema de máquinas Husky.	87
TABLA 5.8. Cargar térmica generada durante el enfriamiento de aceite de las máquinas Engel y capacidad de enfriamiento de la torre evaporativa 2 a través de los tubos de la misma.	91
TABLA 5.9. Cargar térmica generada durante el enfriamiento de aceite de las máquinas Husky y capacidad de enfriamiento de la torre evaporativa 1 a través de los tubos de la misma.	91



	Pág.
TABLA 5.10. Cargas térmicas a ser despojadas por el sistema de las dos torres de enfriamiento	93
TABLA 5.11. Matriz de selección de la variable o posible causa más relevante sobre la eficiencia de los sistemas de enfriamiento	99
TABLA 5.12. Variación de los caudales de los condensadores de las máquinas Husky a fin aumentar la capacidad de enfriamiento de ellos para la PROPUESTA 1	102
TABLA 5.13. Capacidad de enfriamiento actual y luego de la implementación de la mejora.	104
TABLA 5.14. Capacidad de enfriamiento de los evaporadores de los enfriadores 4 y 5 en la actualidad y bajo las condiciones de mejora.	106
TABLA 5.15. Condiciones de operación de los condensadores 4 y 5, luego de la modificación propuesta.	107
TABLA 5.16. Condiciones de operación de los condensadores 4 y 5 en la actualidad	107
TABLA 5.17. Ventajas y desventajas de las propuestas	109
TABLA 5.18. Matriz de selección de la alternativa de mejora más adecuada para el sistema	110
TABLA 5.19. Valores mínimos de operación establecidos para la torre de enfriamiento 4, para la eficiencia de la propuesta	112
TABLA 5.20. Ingreso anual esperado, determinado en función del aumento de la producción esperado y el precio de cada envase	113
TABLA 5.21. Costo estimado de los nuevos equipos, para la implantación de la propuesta	114
TABLA 5.22. Costo de la materia prima en el año 1 de producción	115
TABLA 5.23. Costos anuales por materia prima, considerando el incremento de 15% anual	115
TABLA 5.24. Incremento anual en los sueldos y salarios	116
TABLA 5.25 Costo anual por servicios básicos, [\$].	116



	Pág.
TABLA 5.26 Indicadores financieros obtenidos en la evaluación económica para la implementación de la propuesta #1.	118
TABLA A.1. Datos para el cálculo de la Capacidad de Enfriamiento de los condensadores	135
TABLA A.2. Datos del enfriamiento de aceite para la determinación de la carga energética.	136
TABLA B.1. Temperaturas de entrada y salida del agua de enfriamiento de moldes de las máquinas de inyección Engel	143
TABLA B.2. Temperatura de entrada y salida del agua que circula por el evaporador y condensador de los enfriadores 6 y 7 para el sistema de máquinas Engel	144
TABLA B.3. Temperaturas de entrada y salida del agua de enfriamiento de aceite de las máquinas de inyección Engel	145
TABLA B.4. Temperatura en los tanques pertenecientes los sistemas de enfriamiento cerrados (horizontal) y abierto (compensación) de las máquinas Engel	146
TABLA B.5. Temperatura de entrada y salida del agua que pasa por los tubos de la torre evaporativa 2, proveniente del enfriamiento de aceite de las máquinas Engel	146
TABLA B.6. Variables necesarias para la determinación de la capacidad de enfriamiento y parámetros característicos de la torre evaporativa 2, para el sistema de máquinas Engel	147
TABLA B.7. Temperatura de entrada y salida del agua de enfriamiento de los moldes de las maquinas de inyección Husky	148
TABLA B.8. Temperatura de entrada y salida del agua los evaporadores y condensadores de los enfriadores puntuales de las máquinas Husky	149
TABLA B.9. Temperatura de entrada y salida del agua de enfriamiento de aceite puntuales de las máquinas Husky	150



	Pág.
TABLA B.10. Temperatura del agua que pasa por los tubos de la torre evaporativa 1, proveniente del enfriamiento de aceite de las máquinas Husky	150
TABLA B.11. Variables necesarias para la determinación de la capacidad de enfriamiento y parámetros característicos de la torre evaporativa 1, para el sistema de máquinas Husky	151
TABLA B.12. Temperatura de entrada y salida del agua de enfriamiento de moldes de dos máquinas del grupo Reed y KM	152
TABLA B.13. Temperatura de entrada y salida del agua de enfriamiento de aceite de dos máquinas del grupo Reed y KM	153
TABLA B.14. Temperatura de entrada y salida del agua, en los evaporadores y condensadores de los enfriadores 4 y 5	154
TABLA B.15. Temperatura del agua que pasa por los tubos de la torre evaporativa 3, proveniente del enfriamiento de los condensadores de los enfriadores 4 y 5	155
TABLA B.16. Variables necesarias para la determinación de la capacidad de enfriamiento y parámetros característicos de la torre evaporativa 3, para el sistema de máquinas Reed y KM	156
TABLA B.17. Variables determinadas, para la caracterización y cálculo de la capacidad de enfriamiento de las torres de enfriamiento convencionales (a y b).	157
TABLA B. 18. Tiempo de recolección de agua en envases de 5 galones, para la determinación del caudal de agua que pasa por los moldes para su enfriamiento	158
TABLA B.19. Velocidad de flujo dentro de las tuberías de enfriamiento de molde de las máquinas de inyección (suministrada por la empresa)	159
TABLA B.20. Velocidad de flujo de agua que circula por los evaporadores de los enfriadores de cada sistema del sistema (suministrada por la empresa)	160



	Pág.
TABLA B.21. Velocidad de flujo de agua que circula por los condensadores de los enfriadores de cada sistema del sistema (suministrada por la empresa)	160
TABLA B.22. Velocidad de flujo de agua dentro de las tuberías de enfriamiento de aceite de las máquinas de inyección (suministrada por la empresa)	161
TABLA C.1. Parámetros obtenidos para la obtención de la carga térmica generada en el enfriamiento de moldes de las máquinas Engel	163
TABLA C.2. Parámetros obtenidos para determinación de la capacidad del enfriamiento de los enfriadores 6 y 7, del sistema Engel	164
TABLA C.3. Parámetros obtenido para la determinación de la capacidad de enfriamiento de los condensadores de los enfriadores 6 y 7 del sistema Engel	165
TABLA C.4. Parámetros obtenidos para la determinación de la carga térmica generada durante el enfriamiento del aceite hidráulico de las máquinas Engel	165
TABLA C.5. Parámetros obtenidos para la determinación de la capacidad de enfriamiento que posee la torre evaporativa 2, a través de los tubos de la misma.	166
TABLA C.6. Parámetros de operación de la torre evaporativa 2, para la determinación de la capacidad de enfriamiento por el sistema de aspersores de la misma.	167
TABLA C.7. Parámetros obtenidos para la obtención de la carga térmica generada en el enfriamiento de moldes de las máquinas Husky	168
TABLA C.8. Parámetros obtenidos para determinación de la capacidad del enfriamiento de los enfriadores puntuales del sistema Husky	169
TABLA C.9. Parámetros obtenido para la determinación de la capacidad de enfriamiento de los condensadores de los enfriadores puntuales del sistema Husky	170



	Pág.
TABLA C.10. Parámetros obtenidos para la determinación de la carga térmica generada durante el enfriamiento del aceite hidráulico de las máquinas Husky	171
TABLA C.11. Parámetros obtenidos para la determinación de la capacidad de enfriamiento que posee la torre evaporativa 1, a través de los tubos de la misma.	171
TABLA C.12. Parámetros de operación de la torre evaporativa 1, para la determinación de la capacidad de enfriamiento por el sistema de aspersores de la misma	172
TABLA C.13. Parámetros obtenidos para la obtención de la carga térmica generada en el enfriamiento de moldes de las máquinas Reed y KM	173
TABLA C.14. Parámetros obtenidos para determinación de la capacidad del enfriamiento de los enfriadores 4 y 5, del sistema Reed y KM	173
TABLA C.15. Parámetros obtenido para la determinación de la capacidad de enfriamiento de los condensadores de los enfriadores 4 y 5 del sistema Reed y KM	174
TABLA c.16. Parámetros obtenidos para la determinación de la capacidad de enfriamiento que posee la torre evaporativa 3, a través de los tubos de la misma	174
TABLA C.17. Parámetros obtenidos para la determinación de la carga térmica generada durante el enfriamiento del aceite hidráulico de las máquinas Reed y KM	175
TABLA C.18. Parámetros de operación de la torre evaporativa 3, para la determinación de la capacidad de enfriamiento por el sistema de aspersores de la misma.	176
TABLA C.19. Parámetros de operación de las torres convencionales para la determinación de la capacidad de enfriamiento por el sistema de aspersores de la misma	177



	Pág.
TABLA C.20. Flujo másico mínimo para los condensadores de los enfriadores puntuales y capacidad de enfriamiento, para la propuesta #1.	178
TABLA C.21. Capacidad de enfriamiento de la torre 4 a través de sus tubos para la propuesta #1, a las condiciones de operación establecidas.	178
TABLA C.22. Condiciones de operación de los evapores y condensadores de los evaporadores 4 y 5 para la propuesta #2	179
TABLA D.1. Densidades del agua a diferentes temperaturas	182
TABLA D.2. Coeficientes para el cálculo de la capacidad calorífica de compuestos orgánicos e inorgánicos.	185
TABLA D.3. Propiedades del agua saturada.	186

**ÍNDICE GENERAL**

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	6
1.2.1. Situación actual.	7
1.2.2. Situación deseada.	7
1.3. OBJETIVOS.	7
1.3.1. Objetivos específicos.	8
1.4. JUSTIFICACIÓN.	8
1.5. LIMITACIONES.	9
CAPITULO II. MARCO REFERENCIAL.	
2.1. ANTECEDENTES.	10
2.2. EL PLÁSTICO.	14
2.3. MOLDEO POR INYECCIÓN.	15
2.3.1. La maquinaria.	16
2.3.2. Ciclo de moldeo.	19
2.4. CONCEPTOS BÁSICOS DE LOS FLUIDOS.	19
2.4.1. Definición básica del fluido.	19
2.4.2. Propiedades de los fluidos.	20
2.4.3. Régimen de un fluido.	22
2.4.4. Numero de Reynolds.	22
2.4.5. Caudal	23
2.5. DINÁMICA DE LOS FLUIDOS.	23
2.5.1. Balance de masa.	23



	Pág.
2.5.2. Balance de energía.	24
2.5.3. Perdidas de Energía.	26
2.6. PRINCIPIOS BÁSICOS DE BOMBAS.	27
2.6.1. Bombas centrifugas.	27
2.6.2. Funcionamiento de una bomba centrífuga.	29
2.6.3 Arreglo de bombas.	29
2.7. TRANSFERENCIA DE CALOR	29
2.7.1. Mecanismos de transferencia de calor	30
2.7.2. Tipos de calor.	33
2.8. EQUIPOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.	34
2.8.1. Clasificación de los intercambiadores de calor.	35
2.8.2 Torres de enfriamiento	36
2.8.3 Torres Evaporativas	39
2.8.4 Enfriadores o Chiller	40
2.8.5 Otros equipos de transferencia de calor	41
CAPITULO III. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	43
3.1. Proceso de moldeo por inyección	43
3.1.1. Alimentación de materia prima.	44
3.1.2. Unidad de inyección.	45
3.1.3 Unidad de moldeo o cierre	45
3.2. Sistemas de enfriamiento	46
3.2.1. Sistema de enfriamiento abierto.	46
3.2.2. Sistema de enfriamiento cerrado	50
CAPITULO IV. MARCO METODOLÓGICO	53
4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	53
4.2. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	53



	Pág.
4.2.1. Diagnostico de la situación actual de las condiciones de operación de los sistemas de enfriamiento, para determinar el recorrido del fluido, los equipos que pertenecen al sistema y las variables involucradas durante la operación de las máquinas de inyección de plástico.	54
4.2.2. Análisis de variables y su impacto en el sistema de producción con el fin de reconocer aquellas que posean un impacto negativo en el proceso.	65
4.2.3. Propuesta de alternativas de mejora con la finalidad de seleccionar la más adecuada para el aumento de la eficiencia del sistema actual.	68
4.2.4. Propuesta de rediseño al sistema de enfriamiento en el cual se involucre la alternativa seleccionada.	70
4.2.5. Determinación de la factibilidad económica de la propuesta, para obtener una evaluación económica de su aplicación para la empresa.	71
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	73
5.1. Diagnostico de la situación actual de las condiciones de operación de los sistemas de enfriamiento, para determinar el recorrido del fluido, los equipos que pertenecen al sistema y las variables involucradas durante la operación de las máquinas de inyección de plástico.	73
5.2. Análisis de variables y su impacto en el sistema de producción con el fin de reconocer aquellas que posean un impacto negativo en el proceso	94
5.3. Propuesta de alternativas de mejora con la finalidad de seleccionar la más adecuada para el aumento de la eficiencia del sistema actual.	100
5.4. Propuesta de rediseño al sistema de enfriamiento en el cual se involucre la alternativa seleccionada.	111
5.5. Determinación de la factibilidad económica de la propuesta, para obtener una evaluación económica de su aplicación para la empresa.	113



	Pág.
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
REFERENCIAS	123
APÉNDICE A. Cálculos típicos	128
APÉNDICE B. Tablas de datos	142
APÉNDICE C. Resultados experimentales	162
APÉNDICE D. Tablas y figuras Bibliográficas	180
ANEXOS	187



INTRODUCCIÓN

En la vida moderna el plástico ha constituido un fenómeno de indudable trascendencia. Hoy en día el hombre vive rodeado de objetos plásticos que en siglos anteriores no eran necesarios para la vida cotidiana. Los plásticos se han fabricado para satisfacer las demandas de una gran variedad de usos, dando lugar a una vasta industria donde la civilización debería llamarse la civilización del plástico, debido al papel determinante que ha desempeñado este material en su desarrollo, en el mejoramiento de las condiciones de la vida del hombre y el acelerado crecimiento de la ciencia y la tecnología

Los envases plásticos son uno de los productos de mayor producción a nivel mundial, por su gran versatilidad y fácil obtención. Hoy día en el mundo, el plástico se ha fabricado con la finalidad de satisfacer las necesidades del hombre en la vida cotidiana que en siglos anteriores no se podía realizar.

A través de distintos métodos de elaboración, se tienen los distintos tamaños, colores, formas y distintas utilidades de cada uno de ellos. En primer caso, el plástico es moldeado a través de un proceso térmico donde el material pasa por el estado líquido y finalmente se solidifica, estas dos fases, ocurren en distintos métodos de obtención de envases o productos plásticos, tales como: extrusión, inyección moldeo, entre otros métodos.

Una de las herramientas más comúnmente utilizadas, es el moldeo por inyección, éste es un proceso semicontínuo que consiste inicialmente en la alimentación de un polímero granulado, luego de un proceso térmico este pasa a estado líquido y es inyectado en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado compuerta. En ese molde el material se solidifica.

Para lograr la solidificación del plástico, que ha tomado la forma del molde, se utilizan diversas formas de enfriamiento, una de ellas es el enfriamiento con la utilización de agua, que consiste en hacer pasar agua fría por los moldes logrando un enfriamiento y una solidificación progresiva.



Para la obtención del agua fría, se tiene diversos equipos que retiran calor del agua para mantener a ésta en bajas temperatura, entre estos equipos se tienen, maquinas refrigeradoras o chiller, torres de enfriamiento, intercambiadores de calor convencionales, etc.

La fase de enfriamiento, es una de las más importantes dentro de la obtención de productos plásticos, ya que es la más controlable dentro del proceso, a diferencia de la fase de inyección que es un parámetro establecido por los fabricantes de las máquinas.

Por ello, los sistemas de enfriamiento establecidos para el enfriamiento de molde requieren de altos estudios y seguimientos, hasta hallar las condiciones de operación de éste en el cual se obtengan resultados óptimos en la producción.

Es por ello, que la Industria Metalgráfica S.A., encargada de la producción de envases plásticos tales como: gaveras, pailas y otros, cuenta con un sistema de enfriamiento amplio, construido conforme a las necesidades y requerimiento de la producción, que no ha sido evaluado para conocer sus condiciones más óptimas, por lo tanto, el siguiente trabajo de grado, presenta una “propuesta de mejora al sistema de enfriamiento de las máquinas de producción de envases plásticos de la Industria Metalgráfica S.A.”, para ello se realiza una evaluación de las condiciones actuales para proponer posibles mejoras.



A. CÁLCULOS TÍPICOS

A continuación, se presentan los cálculos realizados para la obtención de los resultados a los objetivos planteados. Se realizará una corrida de uno de ellos, y de esa misma manera, se mostrara la ruta de cálculo seguida en la investigación. Se realizarán los ejemplos referidos al sistema de máquinas Engel, pero las ecuaciones y la metodología será igual para los domas grupos de máquinas.

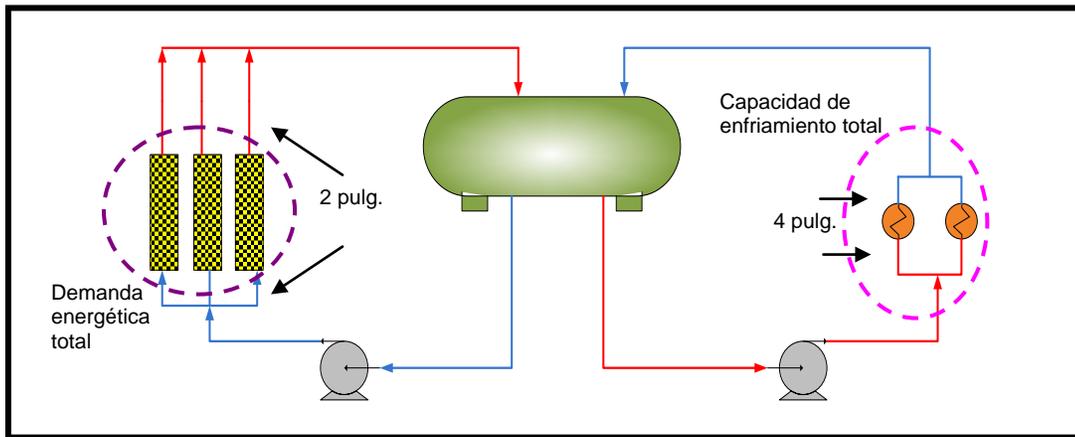


Figura A.1. Balances de energía aplicados para los cálculos correspondientes, para el sistema de máquinas Engel

A.1 DETERMINACIÓN DE LA CARGA ENERGÉTICA TOTAL ABSORBIDA POR EL AGUA, EN EL ENFRIAMIENTO DE LOS MOLDES DE LAS MÁQUINAS.

Primero que todo para realizar este cálculo se tienen datos de temperatura de entrada y salida del agua antes y después del enfriamiento del molde en la máquina (Tabla B.1).

A.1.1. Temperatura promedio del agua de enfriamiento (Engel 11)

$$T_{\text{promE(M-A)}_{E11}} = \frac{\sum_{n=1}^{n=1} T_{En}}{n} \quad (I)$$



Donde:

$T_{\text{promE(M-A)}_{E11}}$: Temperatura promedio de entrada del intercambio molde agua de la máquina 11, [°C].

T_e : Temperaturas de entradas tomadas experimentalmente, [°C]

$$T_{\text{promE(M-A)}_{E11}} = \frac{(17 + 17 + 17 + 16 + 16)^{\circ}\text{C}}{5}$$

$$T_{\text{promE(M-A)}_{E11}} = 16,6^{\circ}\text{C}$$

De igual forma se realiza para el promedio de las temperaturas de salida del agua, tomadas experimentalmente.

$$T_{\text{promS(M-A)}_{E11}} = 18,6^{\circ}\text{C}$$

Para realiza la transformación a grado Kelvin: **[K] = [°C]+ 273,5**; si se desean obtener temperaturas en grados Fahrenheit: **[°F] = 1,8*[°C]+32**.

A.1.2. Capacidad calorífica del agua a temperatura promedio entre entrada y salida, en grados Kelvin.

$$C_{pa} = (18.2964 + 0,4712 * T_{\text{prom}(e-s)} - 0,001338 * (T_{\text{prom}(e-s)})^2 + 0,000001314 * (T_{\text{prom}(e-s)})^3) * FC$$

(II) (Himmelblau, 1997)

Donde:

C_{pa} : capacidad calorífica del agua, [kcal/kg.*K].

FC: factor de conversión= 0,01327.

Se calcula la temperatura promedio entre la entrada y salida del agua, con la ecuación anterior (I), y luego se sustituye en la ecuación (II), tomando en cuenta que la temperatura a sustituir debe estar en grados Kelvin (290,75K)

$$C_{pa} = (18.2964 + 0,4712 * 290,75 - 0,001338 * (290,75)^2 + 0,000001314 * (290,75)^3) * 0,0132$$

$$C_{pa} = 0,989582 \text{ Kcal / kg K.}$$



A.1.3. Flujo másico que pasa por los tubos en el intercambio térmico.

Los técnicos de la empresa suministraron los valores de las distintas velocidades del flujo, que pasan a través de los intercambios de calor, mostrados en el Apéndice B. Para el caso del intercambio en los moldes, las tuberías son de 2 pulg, mostrada en la figura A.1 Para realizar la conversión de velocidad a flujo volumétrico, existe una curva de calibración para este diámetro de tubería en los apéndices D. Por lo tanto la Conversión sigue la siguiente ecuación. En el caso de que la tubería no sea de 2 pulg debe tomarse en cuenta el área transversal de la tubería, el cálculo típico de esto se mostrará posteriormente:

$$Q_{[m^3/s]} = 0,001 * V_{f [pie/s]} - 0,0004 \quad (III)$$

Donde:

$Q_{[m^3/s]}$: caudal o flujo volumétrico, $[m^3/s]$.

$V_{f[pie/s]}$: velocidad de flujo, medido con la pistola infrarroja, $[pie/s]$.

Sustituyendo el valor de velocidad, para el tramo de tubería del enfriamiento del molde de la máquina Engel 11, se tiene:

$$Q_{[m^3/s]} = 0,001 * 1,7pie/s - 0,0004 = 0,0013m^3 / s.$$

Para obtener el valor del flujo másico, debe multiplicarse el valor anterior por la densidad del fluido, en este caso del agua, a temperatura promedio entre la entrada y la salida del mismo. (17,6 °C). Este valor se halla de manera bibliográfica, mediante la tabla de densidades del agua, que se muestra en los apéndices D, en la tabla D.1.

Es entonces, para este caso, la densidad igual a: 998,668 Kg/m³. Utilizando este valor y el de caudal obtenido, siguiendo la ecuación 3.1 mostrada en el capítulo III, que se muestra a continuación, se obtiene el flujo másico deseado (Silva, 2001).

$$\dot{m}_{EM_{E11}} = Q_{[m^3/s]} * \rho_{agua[kg/m^3]} \quad (IV)$$

Donde:

$\dot{m}_{EM_{E11}}$: flujo másico del enfriamiento molde, $[kg/s]$.

ρ_{agua} : densidad del agua, $[Kg/m^3]$.

$$\dot{m}_{EM_{E11}} = 0,0013m^3 / s * 998,668kg/m^3 = 1,2982kg/s.$$



A.1.4 Demanda Energética del agua, generada en el enfriamiento de los moldes de las máquinas.

Para este cálculo se utilizan todos los valores calculados anteriormente, siguiendo la ecuación siguiente (V), perteneciente al calor sensible como se muestra en la sección 2, ecuación 2.11, (Incropera, 1998):

$$DE_{EM_{E11}} = \dot{m}_{EM_{E11}} * C_{p_{agua}} * (T_S - T_E) * FC2 \quad (V)$$

Donde:

$DE_{EM_{E11}}$: demanda energética generada en el enfriamiento de moldes de la máquina Engel 11, [kcal/h].

FC2: factor de conversión: 3600, [s/h].

Se tiene entonces, que el calor absorbido por el agua en el enfriamiento del molde de la máquina Engel 11, o Demanda Energética generada en este enfriamiento es:

$$DE_{EM_{E11}} = 1,2982 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 0,989582 \frac{\text{kcal}}{\text{kg.K}} * (18,6 - 16,6)^\circ\text{C} \frac{1\Delta\text{K}}{1\Delta^\circ\text{C}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 9250,150 \text{kcal/h}$$

De igual forma debe realizarse para el resto de las máquinas Engel de este sistema para calcular la demanda energética generada en el enfriamiento de cada uno de los moldes 12 y 15. Y se tiene:

$$DE_{EM_{E12}} = 8965,3706 \text{kcal/h}$$

$$DE_{EM_{E13}} = 14516,6314 \text{kcal/h}$$

Posteriormente, con la sumatoria de estos valores, se obtiene la demanda energética total, generada por el enfriamiento de todos los moldes del sistema Engel, la cual será comparada posteriormente con la Capacidad de Enfriamiento de su sistema correspondiente, (enfriadores 6 y 7).

Por tanto la carga energética total obtenida en el enfriamiento de este sistema Engel ($DE_{T_{Engel}}$), a ser removida, es la siguiente:

$$DE_{T_{Engel}} = DE_{EM_{E11}} + DE_{EM_{E12}} + DE_{EM_{E15}} \quad (VI) \quad (\text{Propia})$$

$$DE_{T_{Engel}} = (9250,150 + 8965,3706 + 14516,6314) \text{kcal/h} = 32732,1522 \text{kcal/h}$$



Como se ha mencionado en otras oportunidades, este valor obtenido, se refiere al calor generado o absorbido por el agua en el enfriamiento de los moldes, (la ruta de cálculo es igual, para el enfriamiento de aceite de las máquinas). Por lo tanto, este valor debe ser igual o inferior, a la capacidad de enfriamiento q posea el equipo o equipos que corresponden a la recuperación del agua de cada sistema. Para este caso como ya se dijo anteriormente, el agua de enfriamiento de los moldes, se recupera con los enfriadores 6 y 7. Por esto el siguiente cálculo corresponde a la determinación de la capacidad de enfriamiento total de los enfriadores anteriores.

A.2. CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO DE LOS EQUIPOS CORRESPONDIENTES A RETIRAR EL CALOR ABSORBIDO.

Para el sistema Engel, se tiene que el agua de los moldes, para su enfriamiento, pasa a través de los evaporadores de los enfriadores 6 y 7. El funcionamiento de estos evaporadores ya se ha explicado anteriormente, pero en resumen, es similar al enfriamiento del molde, un fluido caliente transfiere calor a un fluido frío y viceversa, se despreja el calor al ambiente, en vista de que experimentalmente no se nota una liberación extrema de éste. Por lo anterior, el cálculo para este, es igual a un intercambiador común. Pero en este caso, el calor obtenido no será un demanda energética sino una capacidad de enfriamiento en vista de que el calor en este caso se esta liberando.

A.2.1. Flujo másico a través de una tubería de 4 pulgadas.

Se calcula inicialmente el área transversal de la tubería por donde pasa el fluido.

$$A = \frac{\pi(De)^2}{4} \quad (\text{Vd.}) \quad (\text{Silva, 2001})$$

Donde:

A: área transversal de la tubería, [M²].

De: diámetro externo de la tubería, [m]



Para una tubería de 4 pulgadas de diámetro, se tiene que: 1 pulg. \cong 0,0254 m, por lo tanto el área será:

$$A = \frac{\pi(4 \text{ pulg} * 0,0254 \text{ m} / \text{ pulg})^2}{4} = 0,0081073 \text{ m}^2$$

Posteriormente a este cálculo, se calcula el caudal, con una relación entre el área y la velocidad de flujo (Apéndice B), como se muestra a continuación, para el intercambiador 6:

$$Q_{[\text{m}^3/\text{s}]} = V_{f[\text{pie}/\text{s}]} * FC3 * A_{[\text{m}^2]} \quad (\text{Vd.}) \quad (\text{Silva, 2001})$$

Donde:

FC.: factor de conversión: 0,3048, [m/pie].

$$Q_{[\text{m}^3/\text{s}]} = 1,5 \text{ pie} / \text{s} * 0,3048 \text{ m} / \text{pie} * 0,0081073 \text{ m}^2 = 0,0037066 \text{ m}^3 / \text{s}$$

De igual forma anterior, mediante la ecuación i.e., teniendo la densidad (998,577kg/m³) a temperatura promedio entre entrada y salida (18,11°C), se tiene:

$$\dot{m}_{\text{Ev}6} = 0,0037066 \text{ m}^3 / \text{s} * 998,577 \text{ kg} / \text{m}^3 = 3,7013 \text{ kg} / \text{s}$$

A.2.2 Capacidad de enfriamiento de los evaporadores de los enfriadores.

Con el valor de Cp para el agua a la temperatura promedio, calculado de igual forma al anterior con la ecuación II, y el valor de flujo másico anterior, se tiene mediante la ecuación V, a las temperaturas de entrada y salida de los evaporadores (Tabla B.2):

$$CE_{\text{Ev}6} = \dot{m}_{\text{Ev}6} * C_{p_{\text{agua}}} * (T_E - T_S) * FC2 \quad (\text{IX})$$

$$CE_{\text{Ev}6} = 3,7013 \text{ kg} / \text{s} * 0,989762 \text{ kcal} / \text{kgK} * (18,78 - 17,44)^\circ \text{C} * \frac{1 \text{ K}}{1^\circ \text{C}} * 3600 \text{ s} / \text{h} = 17672,7104 \text{ kcal} / \text{h}$$

Siguiendo la misma ruta de cálculo se obtiene la capacidad de enfriamiento de el evaporador del enfriador 7. Obteniéndose entonces:

$$CE_{\text{Ev}7} = 19887,8569 \text{ kcal} / \text{h}$$



Finalmente se suman estos dos valores para obtener la Capacidad de Enfriamiento total que tiene el sistema de enfriamiento del agua de los moldes de las máquinas Engel, comprendidas por los evaporadores de los enfriadores 6 y 7.

$$CE_{EvpT} = CE_{Evp6} + CE_{Evp7} \quad (X)$$

$$CE_{EvpT} = (17672,7104 + 19887,8569)Kcal/h = 37560,5673kcal/h$$

A.3. CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO DE LOS CONDENSADORES DE LOS ENFRIADORES PARA LIBERAR EL CALOR DEL REFRIGERANTE ABSORBIDO EN EL EVAPORADOR.

Para este cálculo, la capacidad de enfriamiento de los evaporadores, es a su vez una carga energética para el enfriador que el condensador debe remover. Por lo tanto se calcula a continuación el calor absorbido por el agua de los condensadores como una Capacidad de Enfriamiento de los mismos.

Para ella se sigue exactamente la misma ruta de cálculo que se realizó para los condensadores, teniendo para este cálculo los siguientes datos de temperatura de entrada y salida al condensador y velocidad flujo por los tubos, se sabe además que estos tubos son de 4 pulg.

Tabla A.1. Datos para el cálculo de la Capacidad de Enfriamiento de los condensadores

Condensador del enfriador N°	Temperatura promedio de entrada Tpe °C	Temperatura promedio de salida Tps °C	Velocidad de flujo pie/s
6	35,6	37,6	2,1
7	35,8	38	2,3

A partir de estos valores, se calculan las temperaturas promedios para obtener la capacidad calorífica (Cp) y densidad, siendo estos respectivamente para cada condensador 6 y 7: (0,995512 kcal/kg.K y 993,392 kg/m³) para el condensador 6 y (0,995595 kcal/kg.K y 993,278 kg/m³) para el condensador 7.



De igual forma a la ruta mostrada se obtienen los flujos máxicos por cada condensador, a partir de la velocidad de flujo, teniéndose entonces: 5,155504 Kg/s para el condensador 6 y 5,645350 kg/s para el condensador 7.

Con estos valores y la ecuación IX, tomando en cuenta q se realiza el cálculo del condensador, se tiene que la capacidad de enfriamiento individual de cada uno es condensadores es: **36949,7403 kcal/h y 44514,23141 kcal/h** los condensadores 6 y respectivamente.

A.4. CARGA ENERGÉTICA GENERADA EN EL AGUA, POR EL ENFRIAMIENTO DEL ACEITE DE LAS MÁQUINAS DE INYECCIÓN.

De igual forma, este cálculo se refiere al enfriamiento en las máquinas Engel. El procedimiento para determinar esta carga por cada máquina y la carga total generada a remover posteriormente, sigue la misma linealidad que la realizada para el enfriamiento de los moldes. Se tiene los siguientes datos para cada máquina.

Tabla A.2. Datos del enfriamiento de aceite para la determinación de la carga energética.

Máquina Nº	Te(promedio) °C	Ts(promedio) °C	Velocidad de flujo de agua en el enfriamiento de moldes (Vf + 0,1) pie/s
11	30,2	33,4	1,5
12	32	35,6	1,8
15	33,2	36,4	1,2

A partir de los datos mostrados en la Tabla A.2, se determinan de igual forma la capacidad calorífica y densidad del agua a las condiciones de entrada y salida de cada máquina. Así mismo se determina el flujo máxico con la ruta mostrada anteriormente bajo tuberías de 2 pulg.

Los resultados obtenidos de las cargas energéticas por cada máquina son los siguientes: 21653,0766 kcal/h, 28203,88353 kcal/h y 18231,8342 kcal/h para las



máquinas 11, 12 y 15 respectivamente. La carga energética total, generada por las tres máquinas es: **68088,794 kcal/h.**

A.5. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO DE LA TORRE EVAPORATIVA A TRAVÉS DE LOS TUBOS DE LA MISMA.

Para este caso, se realiza el mismo procedimiento anterior, ya que se considera que el calor por lo tubos de la torre, es un calor sensible ya que no existe cambio de fases dentro de ellos.

En este cálculo la diferencia esta en el flujo másico de entrada por los tubos, que no es un valor real que se tiene, si no que se realiza una estimación, de que este es la sumatoria de los flujos que salen de cada enfriador de aceite, ya que todos desembocan en el mismo tubo que va hasta la torre. Por lo tanto se tiene, que el flujo másico de entrada a los tubos esta dado por:

$$\dot{m}_{Teva} = \dot{m}_{Ea11} + \dot{m}_{Ea12} + \dot{m}_{Ea15} \quad (XI)$$

$$\dot{m}_{Teva} = (1,890 + 2,187 + 2,590) \text{kg/s} = 5,668 \text{kg/s}$$

Para el cálculo correspondiente a la capacidad calorífica del agua se realiza el mismo procedimiento anterior, ya que se cuenta con las temperaturas de entrada y salida de los tubos de la Torre Evaporativa 1, (36,2°C y 29,4°C). El valor obtenido para la capacidad calorífica es: 0,994438 kcal/kg K.

La capacidad de enfriamiento de la torre evaporativa a través de los tubos es la siguiente: **138005,2816 kcal/h.**

A.6. CALOR REMOVIDO O CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO A TRAVÉS DE LOS ASPERSORES DE LAS TORRES EVAPORATIVAS.

Para este cálculo se deben tener temperaturas de bulbo seco y húmedo del aire a la entrada y a la salida de las torres; la velocidad de salida del aire y el diámetro del ventilador. Esta metodología se muestra en la sección IV.



A.6.1. Presión parcial del agua. (P°_{agua})

Para este cálculo es necesario hallar la humedad relativa a la salida de la torre, este parámetro se halla con el uso de la Carta Psicrométrica, mostrada en el apéndice D, para este valor se entra a la figura con temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco a la salida de la torre. El valor obtenido es: 0,0207 kg H₂O/kg de as, se asume que la presión ambiente es 1atm. Entonces sustituyendo estos datos en la ecuación 3.2.

$$P^{\circ}_{\text{agua}} = \frac{1 * 0,0207}{1 + 0,0207} = 0,0202802\text{atm}$$

A.6.2. Presión parcial del aire. (P°_{aire})

Según la ecuación 3.3, se tiene que la presión parcial del aire se determina restandole la presión parcial del agua a la presión ambiente.

$$P^{\circ}_{\text{aire}} = 1 - 0,0202802 = 0,9797198\text{atm}$$

A.6.3. Peso molecular de la mezcla. (PM_M)

Este valor se obtiene a partir de la ecuación 3.4, mostrada en la parte metodológica de estudio, deben tenerse los pesos moleculares del agua y del aire, 18 y 29, respectivamente. Al relacionar estos valores con las presiones parciales se tiene:

$$PM_M = \frac{1}{1} * (0,0202802 * 18 + 0,9797198 * 29) = 28,7769$$

A.6.4. Densidad de la mezcla. (ρ_M)

Los valores obtenidos anteriormente, se calculan para determinar este próximo parámetro, que es la densidad de la mezcla, bajo una ecuación mostrada anteriormente (3.5). Para este cálculo se necesita la temperatura de bulbo seco a la salida (303,75K) y el valor de la constante de gases (0,08314)

$$\rho_M = \frac{1 * 28,7769}{0,08314 * 303,75} = 1,1546\text{kg/m}^3$$

**A.6.5. Flujo de aire húmedo. (G_H)**

Mediante un promedio de los valores obtenidos de velocidad del aire, el cálculo del área del ventilador, realizado de manera similar al cálculo del área de la tubería (ecuación VII), tomando en cuenta que el diámetro del ventilador es aproximadamente de 3 metros. (no se muestra el procedimiento de este cálculo, porque ya se mostró anteriormente). Con los valores obtenidos y la ecuación 3.6 del capítulo.

$$G_H = 8,6\text{m/s} * 7,06858\text{m}^2 * 1,1546\text{kg/m}^3 * 3600 = 252690,7561\text{kg/s}$$

A.6.6. Flujo de aire seco. (G_s)

Para determinar este valor, se utiliza la ecuación 3.7, con los valores de flujo de aire húmedo y humedad del aire a la salida.

$$G_s = \frac{252693,7561}{1 + 0,0207} * 3600 = 247566,1371\text{kg/h}$$

A.6.7. Calor por difusión. (q_d)

Se determina inicialmente la humedad a la entrada de la torre y la entalpía de vaporización del agua a la presión de operación de la torre que es 1 atm por que opera a presión ambiente. Estos valores se determinan por tablas bibliográficas (apéndices D).

$$q_d = 247566,137\text{kg/h} * (0,0207 - 0,0175) * 538,7 = 426769,4098\text{kcal/h}$$

A.6.8. Calor transferido por convección. (q_c)

Se determina la capacidad calorífica del agua, a temperatura promedio de bulbo seco entre la entrada y la salida (29,2 °C), esto se realiza de igual forma a los cálculos anteriores. Se Utiliza la ecuación 3.9 de la siguiente forma.

$$q_c = 247566,1371 * 239,5040 * (30,6 - 27,8) * \frac{1}{1000} = 166020,6845\text{kcal/h}$$



A.6.9. Capacidad de enfriamiento de una torre

La sumatoria de los dos calores obtenidos anteriormente, da como resultado la capacidad de enfriamiento de la torre.

$$q_{\text{Torre}} = (426769,4098 + 166020,6845)\text{kcal/h} = 592785,094\text{kcal/h}$$

Para el grupo de máquinas Husky, el procediendo es casi exactamente igual. Para el caso de la carga energética generada en el enfriamiento del molde de las máquinas, se aplica la metodología igualmente vista en el punto A.1. Pero estos se van a evaluar de manera individual.

Para el cálculo de la capacidad de enfriamiento de los evaporadores que enfrían el agua de los moldes, se evalúa cada evaporador por individual, asumiendo que el flujo que pasa por el molde es el mismo que pasa por el evaporador. Del resto, el cálculo es igual al mostrado para las Engel. Para el caso de los condensadores, se cuenta con los datos de velocidad de flujo que pasa por cada uno de los condensadores, en este caso, a diferencia del sistema Engel, las tuberías son de 2 pulg. Por lo tanto se realiza el cálculo con la corrección por calibración. Y se realiza el cálculo de igual manera a los condensadores de los enfriadores del sistema Engel.

En el sistema de las máquinas Reed y KM, el sistema y la relación en los cálculos varían un poco, pero su determinación sigue la misma metodología. Se determinó la carga energética de cada equipo de igual manera, en los moldes en los enfriadores (evaporador y condensador), intercambio con aceite y torres evaporativas.

Aparte de esto existe en el sistema dos torres convencionales, en estas la capacidad de enfriamiento se calcula de igual forma que se estudio la capacidad de enfriamiento de los aspersores de la torre evaporativa, ya que los parámetros o variables de evaluación son los mismos.



A.7. APROVECHAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO POR LAS CARGAS TÉRMICAS A LIBERAR.

Esto se refiere a la relación de la capacidad de enfriamiento de un equipo y la carga térmica que éste debe liberar.

$$\%Aprov = \frac{CE}{CT} * 100\% \quad (XIII) \quad (Propia)$$

Para el caso de las máquinas Engel, se tiene como ya se mostró, una capacidad de enfriamiento de 37560,5673 Kcal/h, a través de los enfriadores 6 y 7, y debe removerse una carga de 32732,1522 Kcal/h, procedente del enfriamiento de los moldes, al sustituir estos valores en la ecuación anterior se tiene que:

$$\%Aprov = \frac{37560,5673\text{kcal/h}}{32732,1522\text{kcal/h}} * 100\% = 87,14\%$$

**B. DATOS EXPERIMENTALES**

A continuación, se presentan los datos recopilados en la fase experimental del presente trabajo, indicando cada parámetro o variable a medir durante el proceso, con sus respectivas unidades y errores de medición.

TABLA B.1
TEMPERATURAS DE ENTRADA Y SALIDA DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO DE
MOLDES DE LAS MÁQUINAS DE INYECCIÓN ENGEL

Nº Máquina Engel	Temperatura de entrada ($T_e \pm 1$)°C	Temperatura de salida ($T_s \pm 1$)
11	17	19
	17	19
	17	19
	16	18
	16	18
12	16	18
	16	17
	18	20
	17	19
	16	18
15	17	19
	17	20
	17	19
	16	19
	17	19



TABLA B.2
TEMPERATURA DE ENTRADA Y SALIDA DEL AGUA QUE CIRCULA POR EL
EVAPORADOR Y CONDENSADOR DE LOS ENFRIADORES 6 Y 7
PARA EL SISTEMA DE MÁQUINAS ENGEL

Enfriador	Evaporador		Condensador	
	Temperatura de entrada ($T_{Ee} \pm 0,1$) °C	Temperatura de salida ($T_{Es} \pm 0,1$) °C	Temperatura de entrada ($T_{Ce} \pm 1$) °C	Temperatura de salida ($T_{Cs} \pm 1$) °C
6	18,7	17,4	35	38
	18,9	17,5	36	38
	18,7	17,4	35	37
	18,7	17,4	36	37
	18,9	17,5	36	38
7	18,8	17,0	36	37
	18,8	17,1	36	38
	18,9	17,2	36	39
	18,7	17,0	35	38
	18,8	17,0	36	38



TABLA B.3
TEMPERATURAS DE ENTRADA Y SALIDA DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO DE
ACEITE DE LAS MÁQUINAS DE INYECCIÓN ENGEL

Nº Máquina Engel	Temperatura de entrada ($T_e \pm 1$) °C	Temperatura de salida ($T_s \pm 1$) °C
11	30	32
	30	33
	30	34
	31	34
	30	34
12	32	35
	32	35
	32	36
	32	36
	32	36
15	32	35
	33	36
	34	37
	34	37
	33	37



TABLA B.4
TEMPERATURA EN LOS TANQUES PERTENECIENTES LOS SISTEMAS DE
ENFRIAMIENTO CERRADOS (HORIZONTAL) Y ABIERTO
(COMPENSACIÓN) DE LAS MÁQUINAS ENGEL

Temperatura del tanque (horizontal) de almacenamiento de agua para enfriamiento de moldes ENGEL ($T_{Tmolde} \pm 0,1$) °C	Temperatura del tanque (compensación) de almacenamiento de agua para enfriamiento de aceite de máquinas ENGEL ($T_{Taceite} \pm 1$) °C
17,2	30
17,1	29
17,4	30
17,2	29
17,1	29

TABLA B.5
TEMPERATURA DE ENTRADA Y SALIDA DEL AGUA QUE PASA POR LOS TUBOS
DE LA TORRE EVAPORATIVA 2, PROVENIENTE DEL ENFRIAMIENTO
DE ACEITE DE LAS MÁQUINAS ENGEL

Temperatura de entrada del agua a enfriar por lo tubos ($T_{EtTEV2} \pm 1$)°C	Temperatura de salida del agua a enfriar por los tubos ($T_{StTEV2} \pm 1$)°C
36	29
35	29
37	30
36	29
37	30

TABLA B.6
VARIABLES NECESARIAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO Y
PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA TORRE EVAPORATIVA 2, PARA EL SISTEMA DE MÁQUINAS
ENGEL

Aire				Agua de aspersores		Velocidad del turbo ventilador ($v_{TE1} \pm 0,1$)m/s
Temperaturas de Bulbo Seco		Temperaturas de Bulbo Húmedo		Temperatura de entrada	Temperatura de salida	
($T_{eBS} \pm 1$)°C	($T_{sBS} \pm 1$)°C	($T_{eBH} \pm 1$)°C	($T_{sBH} \pm 1$)°C	($T_{Eaa} \pm 1$) °C	($T_{Saa} \pm 1$) °C	
28	30	25	27	27	33	9,2
28	31	24	27	26	32	8,6
29	32	25	27	26	33	7,9
27	30	23	26	29	36	8,5
27	30	24	26	26	35	8,8



TABLA B.7
TEMPERATURA DE ENTRADA Y SALIDA DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO DE LOS
MOLDES DE LAS MÁQUINAS DE INYECCIÓN HUSKY

Temperatura	Máquinas						
	1	2	3	7	8	9	10
Entrada ($T_{eH} \pm 1$) °C	16	17	13	23	18	17	18
	16	17	14	22	19	17	18
	15	18	14	22	19	17	18
	14	17	14	21	19	16	19
	15	17	13	21	18	16	19
Salida ($T_{sH} \pm 1$) °C	19	23	17	23	22	24	21
	18	24	15	23	22	24	20
	17	23	16	23	22	26	20
	17	24	16	23	22	25	21
	16	24	15	23	22	25	20



TABLA B.8
TEMPERATURA DE ENTRADA Y SALIDA DEL AGUA LOS EVAPORADORES Y
CONDENSADORES DE LOS ENFRIADORES PUNTUALES DE
LAS MÁQUINAS HUSKY

Equipo	Temperatura	Máquinas						
		1	2	3	7	8	9	10
Evaporador	Entrada ($T_{eE} \pm 1$) °C	16	24	17	23	22	25	20
		17	23	18	23	22	25	22
		18	24	16	22	23	26	21
		18	25	16	23	22	25	20
		17	24	17	24	21	26	20
	Salida ($T_{sE} \pm 1$) °C	15	19	14	21	18	16	19
		16	18	15	20	18	16	19
		15	19	14	22	19	17	18
		15	17	13	21	19	17	17
		14	18	14	22	18	16	19
Condensad.	Entrada ($T_{eC} \pm 1$) °C	29	30	32	32	32	31	29
		32	30	27	32	32	31	30
		27	29	30	27	31	31	32
		32	29	32	27	28	31	30
		30	30	29	29	30	28	30
	Salida ($T_{sC} \pm 1$) °C	34	33	34	33	36	34	34
		34	33	36	34	36	34	34
		34	33	34	34	34	34	36
		36	35	35	33	36	36	36
		36	35	35	33	36	34	36



TABLA B.9
TEMPERATURA DE ENTRADA Y SALIDA DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO DE
ACEITE PUNTUALES DE LAS MÁQUINAS HUSKY

Temperatura	Máquinas						
	1	2	3	7	8	9	10
Entrada (T_{EH} ± 1) °C	26	26	25	26	26	27	27
	26	26	25	28	27	27	28
	27	26	26	29	27	26	27
	28	26	25	27	26	27	27
	28	25	26	27	27	27	26
Salida (T_{SH} ± 1) °C	32	31	27	31	37	32	31
	33	31	29	31	37	32	32
	30	29	28	31	37	33	31
	31	28	27	32	37	32	31
	31	28	26	31	37	33	31

TABLA B.10
TEMPERATURA DEL AGUA QUE PASA POR LO TUBOS DE LA TORRE
EVAPORATIVA 1, PROVENIENTE DEL ENFRIAMIENTO DE
ACEITE DE LAS MÁQUINAS HUSKY

Temperatura de entrada del agua a enfriar por lo tubos (T_{etubos} ± 1)°C	Temperatura de salida del agua a enfriar por los tubos (T_{stubos} ± 1)°C
32	26
33	28
32	27
34	29
33	26

TABLA B.11
VARIABLES NECESARIAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO Y
PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA TORRE EVAPORATIVA 1, PARA EL SISTEMA DE MÁQUINAS
HUSKY

Aire				Agua de aspersores		Velocidad del turbo ventilador ($v_{TE1} \pm 0,1$)m/s
Temperaturas de Bulbo Seco		Temperaturas de Bulbo Húmedo		Temperatura de entrada	Temperatura de salida	
($T_{eBS} \pm 1$)°C	($T_{sBS} \pm 1$)°C	($T_{eBH} \pm 1$)°C	($T_{sBH} \pm 1$)°C	($T_{Eaa} \pm 1$) °C	($T_{Saa} \pm 1$) °C	
29	31	26	27	27	35	8,7
28	32	24	28	26	35	8,6
28	32	26	27	27	38	8,2
27	31	23	26	26	36	8,6
28	31	24	27	26	37	8,7



TABLA B.12
TEMPERATURA DE ENTRADA Y SALIDA DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO DE
MOLDES DE DOS MÁQUINAS DEL GRUPO REED Y KM

Nº Máquina	Temperatura de entrada ($T_e \pm 1$) °C	Temperatura de salida ($T_s \pm 1$) °C
1	22	23
	21	22
	22	23
	23	25
	21	23
2	30	32
	29	30
	29	31
	28	31
	21	25



TABLA B.13
TEMPERATURA DE ENTADA Y SALIDA DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO DE
ACEITE DE DOS MÁQUINAS DEL GRUPO REED Y KM

Nº Máquina	Temperatura de entrada ($T_e \pm 1$) °C	Temperatura de salida ($T_s \pm 1$) °C
1	27	33
	27	31
	27	31
	27	33
	26	31
2	28	32
	27	33
	26	32
	27	32
	27	32



TABLA B.14
TEMPERATURA DE ENTRADA Y SALIDA DEL AGUA, EN LOS EVAPORADORES Y
CONDENSADORES DE LOS ENFRIADORES 4 Y 5

Enfriador	Evaporador		Condensador	
	Temperatura de entrada ($T_{Ee} \pm 0,1$) °C	Temperatura de salida ($T_{Es} \pm 0,1$) °C	Temperatura de entrada ($T_{Ce} \pm 1$) °C	Temperatura de salida ($T_{Cs} \pm 1$) °C
4	18	15	22	28
	18	14	22	28
	17	15	24	29
	18	16	22	29
	17	16	26	29
5	20	17	26	30
	20	17	28	30
	21	18	26	31
	18	17	25	30
	22	19	27	32



TABLA B.15
TEMPERATURA DEL AGUA QUE PASA POR LO TUBOS DE LA TORRE
EVAPORATIVA 3, PROVENIENTE DEL ENFRIAMIENTO DE LOS
CONDENSADORES DE LOS ENFRIADORES 4 Y 5

Temperatura de entrada del agua a enfriar por lo tubos ($T_{\text{etubos}} \pm 1$)°C	Temperatura de salida del agua a enfriar por los tubos ($T_{\text{stubos}} \pm 1$)°C
30	24
31	23
29	24
31	25
30	24

TABLA B.16
VARIABLES NECESARIAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO Y
PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA TORRE EVAPORATIVA 3, PARA EL SISTEMA DE MÁQUINAS
REED Y KM

Aire				Agua de aspersores		Velocidad del turbo ventilador ($v_{TE1} \pm 0,1$)m/s
Temperaturas de Bulbo Seco		Temperaturas de Bulbo Húmedo		Temperatura de entrada	Temperatura de salida	
($T_{eBS} \pm 1$)°C	($T_{sBS} \pm 1$)°C	($T_{eBH} \pm 1$)°C	($T_{sBH} \pm 1$)°C	($T_{Eaa} \pm 1$) °C	($T_{Saa} \pm 1$) °C	
29	31	26	29	27	36	8,8
26	32	25	28	26	38	9,2
28	32	26	27	27	38	9,8
27	30	24	27	27	37	9,6
27	30	23	26	28	37	9,1

TABLA B.17

VARIABLES DETERMINADAS, PARA LA CARACTERIZACIÓN Y CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO CONVENCIONALES (A Y B).

Torr	Temperaturas de Bulbo Seco entrada ($T_{eBS} \pm 1$)°C	Temperaturas de Bulbo Seco salida ($T_{eBS} \pm 1$)°C	Temperaturas de Bulbo Húmedo entrada ($T_{eBH} \pm 1$)°C	Temperaturas de Bulbo Húmedo salida ($T_{eBH} \pm 1$)°C	Temperatura de entrada de agua ($T_{Eaa} \pm 1$) °C	Temperatura de salida del agua ($T_{Saa} \pm 1$) °C	Velocidad del aire ($V \pm 0,1$) (m/s)
A	24	29	22	30	36	26	5,7
	25	30	23	29	36	26	7,6
	25	31	22	30	36	27	6,5
	24	30	24	30	37	26	5,5
	24	30	23	28	35	26	6,2
B	25	29	23	29	35	26	5,2
	25	31	22	30	36	25	7,1
	26	30	22	29	35	24	6,7
	24	29	23	29	34	22	5,8
	25	30	24	30	34	25	6,2



TABLA B. 18
TIEMPO DE RECOLECCIÓN DE AGUA EN ENVASES DE 5 GALONES, PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE AGUA QUE PASA POR LOS MOLDES PARA SU ENFRIAMIENTO

Maquina de estudio	Tiempo de recolección ($t_r \pm 0,1$) s
Engel	10,6
	10,3
Husky	17,8
	17,5
Reed y KM	13,5
	12,1



TABLA B.19
VELOCIDAD DE FLUJO DENTRO DE LAS TUBERÍAS DE ENFRIAMIENTO DE
MOLDE DE LAS MÁQUINAS DE INYECCIÓN

Máquina de Inyección	Máquina	Velocidad de flujo de agua en el enfriamiento de moldes ($V_f \pm 0,1$) pie/s
Engel	11	1,7
	12	1,8
	15	2,1
Husky	1	1,2
	2	1,3
	3	0,9
	7	1,2
	8	1,6
	9	0,8
	10	1,5
Reed y KM	1	2,2
	2	2,3

Para el cambio de pie/s a m³/s... $[m^3/s]=0,001[pie/s]-0,0004..$

(Curva de calibración, figura D.1).

Fuente: Manual operacional Industria Metalgrafica S.A; 2008



TABLA B.20

VELOCIDAD DE FLUJO DE AGUA QUE CIRCULA POR LOS **EVAPORADORES DE LOS ENFRIADORES** DE CADA SISTEMA DEL SISTEMA

Máquinas	Enfriador	Velocidad de flujo de agua, en los evaporadores ($v \pm 0,1$) pie/s
Engel	6	1,5
	7	1,3
Reed y KM	4	2,5
	5	2,2

TABLA B.21

VELOCIDAD DE FLUJO DE AGUA QUE CIRCULA POR LOS **CONDENSADORES DE LOS ENFRIADORES** DE CADA SISTEMA DEL SISTEMA

Máquinas	Enfriador	Velocidad de flujo de agua por el condensador ($V_c \pm 0,1$) pie/s
Engel	6	1,6
	7	1,3
Husky	1	0,8
	2	1,7
	3	0,8
	7	0,9
	8	1,3
	9	1,3
Reed y KM	4	1,5
	5	1,8

Fuente: Manual operacional Industria Metalgrafica S.A; 2008



TABLA B.22
VELOCIDAD DE FLUJO DE AGUA DENTRO DE LAS TUBERÍAS DE
ENFRIAMIENTO DE ACEITE DE LAS MÁQUINAS
DE INYECCIÓN (Suministrada por la empresa)

Máquina de Inyección	Nº	Velocidad de flujo del agua del enfriamiento de aceite (Va ± 0,1) pie/s
Engel	11	1,5
	12	1,8
	15	1,2
Husky	1	1,8
	2	2,0
	3	2,1
	7	2,0
	8	2,2
	9	1,8
Reed y KM	10	1,9
	1	1,2
	2	1,3

Fuente: Manual operacional Industria Metalgrafica S.A; 2008

**B. RESULTADOS OBTENIDOS**

A continuación, se presentan resultados obtenidos en la evaluación del sistema, de forma tabulada para una mayor comprensión de la investigación realizada.

TABLA C.1
PARÁMETROS OBTENIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE LA CARGA TÉRMICA
GENERADA EN EL ENFRIAMIENTO DE MOLDES DE
LAS MÁQUINAS ENGEL

Variación de temperaturas entre entrada y salida del fluido, ante el intercambio con el molde (ΔT °C)	Capacidad calorífica del fluido (kcal/kgK)	Flujo másico de agua en cada uno de los moldes (kg/s)	Carga térmica (Kcal/h)
2,0	0,989	1,298	9250,15
1,8	0,989	1,398	8965,37
1,4	0,989	1,697	14516,63
Total de la carga térmica generada			32732,15



TABLA C.2
PARÁMETROS OBTENIDOS PARA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL
ENFRIAMIENTO DE LOS ENFRIADORES 6 Y 7, DEL SISTEMA ENGEL

Variación de temperaturas entre entrada y salida del evaporador del los enfriadores 6 y 7 (ΔT °C)	Capacidad calorífica del fluido (kcal/kgK)	Flujo másico de agua a través de los evaporadores de los enfriadores (kg/s)	Capacidad de enfriamiento (Kcal/h)
1,34	0,98976	3,701	17672,710
1,74	0,98969	3,207	19887,856
Capacidad total de enfriamiento			37560,567



TABLA C.3
PARÁMETROS OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE
ENFRIAMIENTO DE LOS CONDENSADORES DE LOS
ENFRIADORES 6 Y 7 DEL SISTEMA ENGEL

Variación de temperaturas entre entrada y salida del evaporador del los enfriadores 6 y 7 (ΔT °C)	Capacidad calorífica del fluido (kcal/kgK)	Flujo másico de agua a través de los evaporadores de los enfriadores (kg/s)	Capacidad de enfriamiento (Kcal/h)
2,0	0,9955	3,927	28152,183
2,2	0,9956	3,190	25160,217
Capacidad total de enfriamiento			53312,4008

TABLA C.4
PARÁMETROS OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CARGA TÉRMICA
GENERADA DURANTE EL ENFRIAMIENTO DEL ACEITE HIDRÁULICO DE LAS
MÁQUINAS ENGEL

Variación de temperaturas entre entrada y salida del fluido, ante el intercambio con el aceite hidráulico (ΔT °C)	Capacidad calorífica del fluido (kcal/kgK)	Flujo másico de agua en cada de los intercambiadores (kg/s)	Carga térmica (Kcal/h)
3,2	0,9945	1,890	21653,076
3,6	0,9947	2,187	28203,883
3,2	0,9950	1,590	18231,834
Total de la carga térmica generada			68088,79



TABLA C.5
PARÁMETROS OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO A TRAVÉS DE LOS TUBOS DE LA TORRE EVAPORATIVA 2,

Variación de temperaturas entre entrada y salida del fluido, ante el intercambio con el aceite hidráulico (ΔT °C)	Capacidad calorífica del fluido (kcal/kgK)	Flujo másico de agua en cada de los intercambiadores (kg/s)	Carga térmica (Kcal/h)
6,8	0,9944	5,6689	138005,28



TABLA C.6
PARÁMETROS DE OPERACIÓN, PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD
DE ENFRIAMIENTO POR EL SISTEMA DE ASPERSORES DE LA TORRE
EVAPORATIVA 2

Humedad a la entrada entra de la torre (Kg H₂O/ Kg as)	0,0175
Humedad a la salida entra de la torre (Kg H₂O/ Kg as)	0,0207
Presion parcial del agua (atm)	0,0202
Presion parcial del aire (atm)	0,979
Peso molecular de la mezcla	28,776
Densidad de la mezcla (kg/m³)	1,1546
Fujo de aire húmedo(kg/h)	252690,7561
Flujo de aire seco (kg/h)	247566,1371
Calor por difusion (kcal/h)	426764,409
Calor por convección (kcal/h)	166020,684
CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO	592785,094



TABLA C.7
PARÁMETROS OBTENIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE LA CARGA TÉRMICA
GENERADA EN EL ENFRIAMIENTO DE MOLDES DE
LAS MÁQUINAS HUSKY

Variación de temperaturas entre entrada y salida del fluido, ante el intercambio con el molde (ΔT °C)	Capacidad calorífica del fluido (kcal/kgK)	Flujo másico de agua en cada uno de los moldes (kg/s)	Carga térmica (Kcal/h)
2,2	0,9891	0,7999	6266,38
6,4	0,9905	0,8983	20501,51
2,2	0,9885	0,4995	3911,23
1,2	0,9912	0,7981	3417,72
3,4	0,9905	1,1977	14521,71
8,2	0,9906	0,3992	11674,93
2,0	0,9902	1,0981	6266,38
Total de la carga térmica generada			66559,899



TABLA C.8
PARÁMETROS OBTENIDOS PARA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL ENFRIAMIENTO DE LOS ENFRIADORES PUNTUALES DE CADA UNA DE LAS MÁQUINAS, DEL SISTEMA HUSKY

Variación de temperaturas entre entrada y salida del evaporador del los enfriadores 6 y 7 (ΔT °C)	Capacidad calorífica del fluido (kcal/kgK)	Flujo másico de agua a través de los evaporadores de los enfriadores (kg/s)	Capacidad de enfriamiento (Kcal/h)
2,2	0,989	0,7975	6247,325
5,8	0,9907	0,8981	18581,172
2,8	0,9879	0,499	4978,708
2,2	0,9911	0,7983	5127,572
3,6	0,9904	1,1977	15375,726
9,0	0,9907	0,3992	12814,280
2,2	0,9902	1,0981	8612,408
Capacidad total de enfriamiento			71737,194



TABLA C.9
PARÁMETROS OBTENIDO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO DE LOS CONDENSADORES DE LOS ENFRIADORES PUNTUALES DEL SISTEMA HUSKY

Variación de temperaturas entre entrada y salida del evaporador del los enfriadores 6 y 7 (ΔT °C)	Capacidad calorífica del fluido (kcal/kgK)	Flujo másico de agua a través de los evaporadores de los enfriadores (kg/s)	Capacidad de enfriamiento (Kcal/h)
4,8	0,9943	0,3979	6837,490
4,2	0,9941	1,2936	19445,066
4,8	0,9943	0,3979	6837,490
4,0	0,9940	0,4976	7122,784
5,0	0,9945	0,8952	16025,439
4,0	0,9943	0,8954	12821,093
5,0	0,9944	0,4974	8903,160
Capacidad total de enfriamiento			77992,5458



TABLA C.10
PARÁMETROS OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CARGA TÉRMICA
GENERADA DURANTE EL ENFRIAMIENTO DEL ACEITE HIDRÁULICO DE LAS
MÁQUINAS HUSKY

Variación de temperaturas entre entrada y salida del fluido, ante el intercambio con el aceite hidráulico (ΔT °C)	Capacidad calorífica del fluido (kcal/kgK)	Flujo másico de agua en cada de los intercambiadores (kg/s)	Carga térmica (Kcal/h)
4,4	0,9933	1,394	21938,46
3,6	0,9928	1,594	20513,27
2,0	0,9925	1,694	12107,98
3,8	0,9934	1,593	21653,55
10,4	0,9941	1,791	66668,68
5,6	0,9935	1,394	27921,73
4,2	0,9933	1,493	22437,03
Total de la carga térmica generada			193240,740

TABLA C.11
PARÁMETROS OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE
ENFRIAMIENTO A TRAVÉS DE LOS TUBOS DE LA TORRE EVAPORATIVA 1,

Variación de temperaturas entre entrada y salida del fluido, ante el intercambio con el aceite hidráulico (ΔT °C)	Capacidad calorífica del fluido (kcal/kgK)	Flujo másico de agua en cada de los intercambiadores (kg/s)	Carga térmica (Kcal/h)
5,6	0,9936	10,9552	219447,293



TABLA C.12
PARÁMETROS DE OPERACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD
DE ENFRIAMIENTO POR EL SISTEMA DE ASPERSORES DE LA TORRE
EVAPORATIVA 1,

Humedad a la entrada entra de la torre (Kg H₂O/ Kg as)	0,0186
Humedad a la salida entra de la torre (Kg H₂O/ Kg as)	0,021
Presion parcial del agua (atm)	0,020
Presion parcial del aire (atm)	0,9794
Peso molecular de la mezcla	28,773
Densidad de la mezcla (kg/m³)	1,515
Fujo de aire húmedo(kg/h)	250827,15
Flujo de aire seco (kg/h)	245668,12
Calor por difusion (kcal/h)	317619,40
Calor por convección (kcal/h)	200065,24
CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO	517684,654



TABLA C.13
PARÁMETROS OBTENIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE LA CARGA TÉRMICA
GENERADA EN EL ENFRIAMIENTO DE MOLDES DE
LAS MÁQUINAS REED Y KM

Variación de temperaturas entre entrada y salida del fluido, ante el intercambio con el molde (ΔT °C)	Capacidad calorífica del fluido (kcal/kgK)	Flujo másico de agua en cada uno de los moldes (kg/s)	Carga térmica (Kcal/h)
1,4	0,9912	1,795	8971,61
2,4	0,9931	1,892	16240,04
Total de la carga térmica generada			25211,65964

TABLA C.14
PARÁMETROS OBTENIDOS PARA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL
ENFRIAMIENTO DE LOS EVAPORADORES DE LOS ENFRIADORES 4,5,
DEL SISTEMA REED Y KM

Variación de temperaturas entre entrada y salida del evaporador del los enfriadores 6 y 7 (ΔT °C)	Capacidad calorífica del fluido (kcal/kgK)	Flujo másico de agua a través de los evaporadores de los enfriadores (kg/s)	Capacidad de enfriamiento (Kcal/h)
2,4	0,9891	6,17083	52737,753
2,6	0,9900	5,4278	50298,867
Capacidad total de enfriamiento			103036,624



TABLA C.15
PARÁMETROS OBTENIDO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE
ENFRIAMIENTO DE LOS CONDENSADORES DE LOS
ENFRIADORES 4 y 5 DEL SISTEMA REED y KM

Variación de temperaturas entre entrada y salida del evaporador del los enfriadores 6 y 7 (ΔT °C)	Capacidad calorífica del fluido (kcal/kgK)	Flujo másico de agua a través de los evaporadores de los enfriadores (kg/s)	Capacidad de enfriamiento (Kcal/h)
5,4	0,9923	3,6948	71278,7195
4,2	0,9931	4,4306	66532,7768
Capacidad total de enfriamiento			137811,496

TABLA C.16
PARÁMETROS OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE
ENFRIAMIENTO A TRAVÉS DE LOS TUBOS DE LA TORRE EVAPORATIVA 3,

Variación de temperaturas entre entrada y salida del fluido, ante el intercambio con el aceite hidráulico (ΔT °C)	Capacidad calorífica del fluido (kcal/kgK)	Flujo másico de agua en cada de los intercambiadores (kg/s)	Carga térmica (Kcal/h)
6,2	0,9927	8,1254	180041,958



TABLA C.17
PARÁMETROS OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CARGA TÉRMICA
GENERADA DURANTE EL ENFRIAMIENTO DEL ACEITE HIDRÁULICO DE LAS
MÁQUINAS REED y KM

Variación de temperaturas entre entrada y salida del fluido, ante el intercambio con el aceite hidráulico (ΔT °C)	Capacidad calorífica del fluido (kcal/kgK)	Flujo másico de agua en cada de los intercambiadores (kg/s)	Carga térmica (Kcal/h)
5,0	0,9934	1,5933	28491,52
5,2	0,9935	1,6928	31483,18
Total de la carga térmica generada			59974,704



TABLA C.18
PARÁMETROS DE OPERACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD
DE ENFRIAMIENTO POR EL SISTEMA DE ASPERSORES DE LA TORRE
EVAPORATIVA 3,

Humedad a la entrada entra de la torre (Kg H₂O/ Kg as)	0,0185
Humedad a la salida entra de la torre (Kg H₂O/ Kg as)	0,0215
Presion parcial del agua (atm)	0,02105
Presion parcial del aire (atm)	0,9789
Peso molecular de la mezcla	28,7684
Densidad de la mezcla (kg/m³)	1,152
Fujo de aire húmedo(kg/h)	272819,195
Flujo de aire seco (kg/h)	267077,0391
Calor por difusion (kcal/h)	431623,2029
Calor por convección (kcal/h)	230277,7526
CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO	661900,9554



TABLA C.19
PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE LAS TORRES CONVENCIONALES, PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO

Humedad a la entrada entra de la torre (Kg H₂O/ Kg as)	0,017	0,016
Humedad a la salida entra de la torre (Kg H₂O/ Kg as)	0,0265	0,026
Presion parcial del agua (atm)	0,0258	0,0253
Presion parcial del aire (atm)	0,9741	0,9746
Peso molecular de la mezcla	28,716	28,721
Densidad de la mezcla (kg/m³)	1,1545	1,1554
Fujo de aire húmedo(kg/h)	45271,1429	45575,029
Flujo de aire seco (kg/h)	45076,6127	44420,1064
Calor por difusion (kcal/h)	230686,3271	239291,1135
Calor por convección (kcal/h)	60440,5300	51053,1089
CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO	291126,8572	290344,224
CAPACIDAD TOTAL DE ENFRIAMIENTO DEL SISTEMA DE TORRES CONVENCIONALES		581471,0796



TABLA C.20
FLUJO MÁSIKO MÍNIMO PARA LOS CONDENSADORES DE LOS ENFRIADORES
PUNTUALES Y CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO, PARA LA PROPUESTA #1

Flujo másico de agua, por los condensadores puntuales (kg/h)	Capacidad de enfriamiento de los condensadores (kcal/h)	Aprovechamiento de la capacidad por el evaporador (%)
0,4974	8546,86	73,09
1,7912	26923,93	69,01
0,3979	6837,49	72,81
0,4976	7122,78	71,98
1,1936	21367,25	71,95
1,2934	18519,35	69,19
0,6963	12464,42	69,09
Capacidad total de enfriamiento de los condensadores		101782,109

TABLA C.21
CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO DE LA TORRE 4 A TRAVÉS DE SUS TUBOS
PARA LA PROPUESTA #1, A LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN
ESTABLECIDAS

Variación de temperaturas entre entrada y salida del fluido, ante el intercambio con el aceite hidráulico (ΔT °C)	Capacidad calorífica del fluido (kcal/kgK)	Flujo másico de agua en cada de los intercambiadores (kg/s)	Carga térmica (Kcal/h)
6,54	0,9943	6,3675	1499128,01



TABLA C.22
CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LOS EVAPORADORES Y CONDENSADORES
DE LOS EVAPORADORES 4 Y 5 PARA LA PROPUESTA #2

Evaporadores		Condensadores		Aprovecha. Del evaporador en el condensad.
Flujo másico de agua en cada de los intercambiadores (kg/s)	Carga térmica (Kcal/h)	Flujo másico de agua en cada de los intercambiadores (kg/s)	Carga térmica (Kcal/h)	
2,962	25314,121	1,993	38459,741	65,81
3,207	29722,057	2,589	38890,563	76,42



D. TABLAS Y FIGURAS BIBLIOGRÁFICAS

En esta sección se presentan las tablas de datos y figuras obtenidas de la bibliografía para la realización de los diferentes cálculos efectuados en la presente investigación.

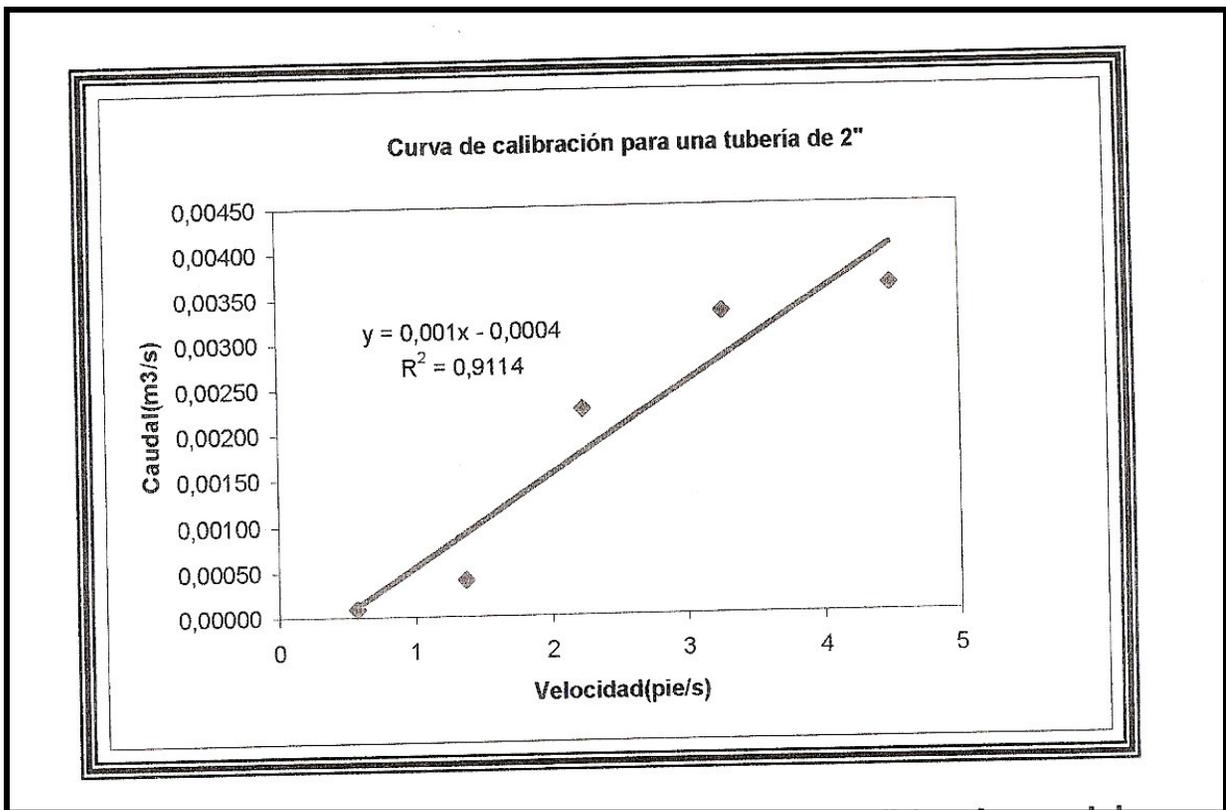


Figura D.1. Curva de calibración del medidor de flujo ultrasónico para una tubería de 2". Para la transformación de velocidad de flujo (m/s) a caudal (m³/s)

Fuente: Industria Metalgráfica S.A.



Tabla D.1. Densidades del agua a diferentes temperaturas

Fuente: Perry, 1992

Densidad (kg/m ³) del agua de 0 a 100°C*										
t, °C	ρ, kg/m ³									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	999.839	999.846	999.852	999.859	999.865	999.871	999.877	999.882	999.888	999.893
1	999.898	999.903	999.908	999.913	999.917	999.921	999.925	999.929	999.933	999.936
2	999.940	999.943	999.946	999.949	999.952	999.954	999.956	999.959	999.961	999.962
3	999.964	999.966	999.967	999.968	999.969	999.970	999.971	999.971	999.972	999.972
4	999.972	999.972	999.972	999.971	999.971	999.970	999.969	999.968	999.967	999.965
5	999.964	999.962	999.960	999.958	999.956	999.954	999.951	999.949	999.946	999.943
6	999.940	999.937	999.934	999.930	999.926	999.923	999.919	999.915	999.910	999.906
7	999.901	999.897	999.892	999.887	999.882	999.877	999.871	999.866	999.860	999.854
8	999.848	999.842	999.836	999.829	999.823	999.816	999.809	999.802	999.795	999.788
9	999.781	999.773	999.765	999.758	999.750	999.742	999.734	999.725	999.717	999.708
10	999.699	999.691	999.682	999.672	999.663	999.654	999.644	999.635	999.625	999.615
11	999.605	999.595	999.584	999.574	999.563	999.553	999.542	999.531	999.520	999.509
12	999.497	999.486	999.474	999.462	999.451	999.439	999.426	999.414	999.402	999.389
13	999.377	999.364	999.351	999.338	999.325	999.312	999.299	999.285	999.272	999.258
14	999.244	999.230	999.216	999.202	999.188	999.173	999.159	999.144	999.129	999.114
15	999.099	999.084	999.069	999.054	999.038	999.022	999.007	998.991	998.975	998.958
16	998.943	998.926	998.910	998.894	998.877	998.860	998.843	998.826	998.809	998.792
17	998.775	998.757	998.740	998.722	998.704	998.686	998.668	998.650	998.632	998.614
18	998.595	998.577	998.558	998.539	998.520	998.502	998.482	998.463	998.444	998.425
19	998.405	998.385	998.366	998.346	998.326	998.306	998.286	998.265	998.245	998.224
20	998.204	998.183	998.162	998.141	998.120	998.099	998.078	998.057	998.035	998.014
21	997.992	997.971	997.949	997.927	997.905	997.883	997.860	997.838	997.816	997.793
22	997.770	997.747	997.725	997.702	997.679	997.656	997.632	997.609	997.585	997.562
23	997.538	997.515	997.491	997.467	997.443	997.419	997.394	997.370	997.345	997.321
24	997.296	997.272	997.247	997.222	997.197	997.172	997.146	997.121	997.096	997.070
25	997.045	997.019	996.993	996.967	996.941	996.915	996.889	996.863	996.836	996.810
26	996.783	996.757	996.730	996.703	996.676	996.649	996.622	996.595	996.568	996.540
27	996.513	996.485	996.458	996.430	996.402	996.374	996.346	996.318	996.290	996.262
28	996.233	996.205	996.176	996.148	996.119	996.090	996.061	996.032	996.003	995.974
29	995.945	995.915	995.886	995.856	995.827	995.797	995.767	995.737	995.707	995.677
30	995.647	995.617	995.586	995.556	995.526	995.495	995.464	995.433	995.403	995.372
31	995.341	995.310	995.278	995.247	995.216	995.184	995.153	995.121	995.090	995.058
32	995.026	994.997	994.962	994.930	994.898	994.865	994.833	994.801	994.768	994.735
33	994.703	994.670	994.637	994.604	994.571	994.538	994.505	994.472	994.438	994.405
34	994.371	994.338	994.304	994.270	994.236	994.202	994.168	994.134	994.100	994.066

Fuente: Robert Perry, "Manual del Ingeniero Químico", Sexta Edición, McGraw-Hill, México, 1992.

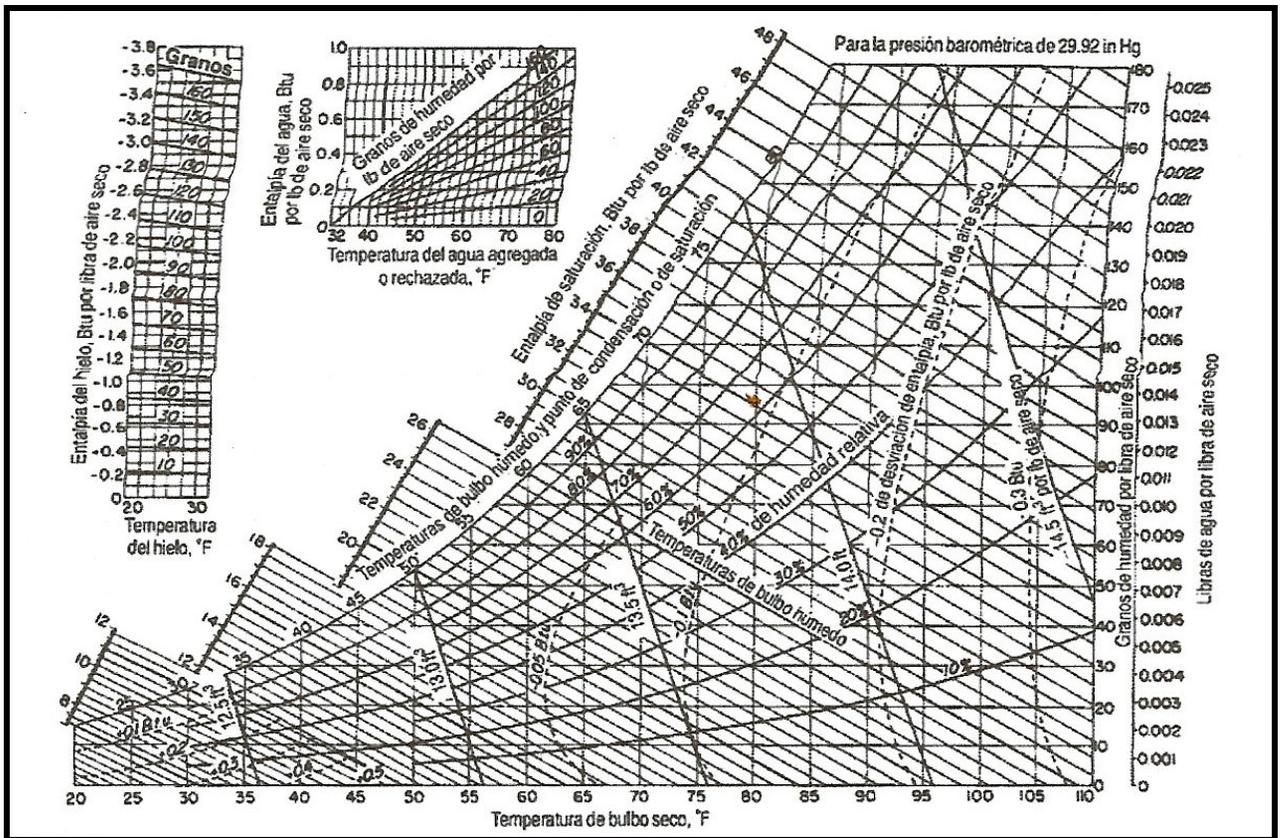


Figura D.2. Carta psicrométrica de temperaturas intermedias a la presión barométrica de 29,95 pulg. de Hg.

Fuente: Himmelblau, 1997

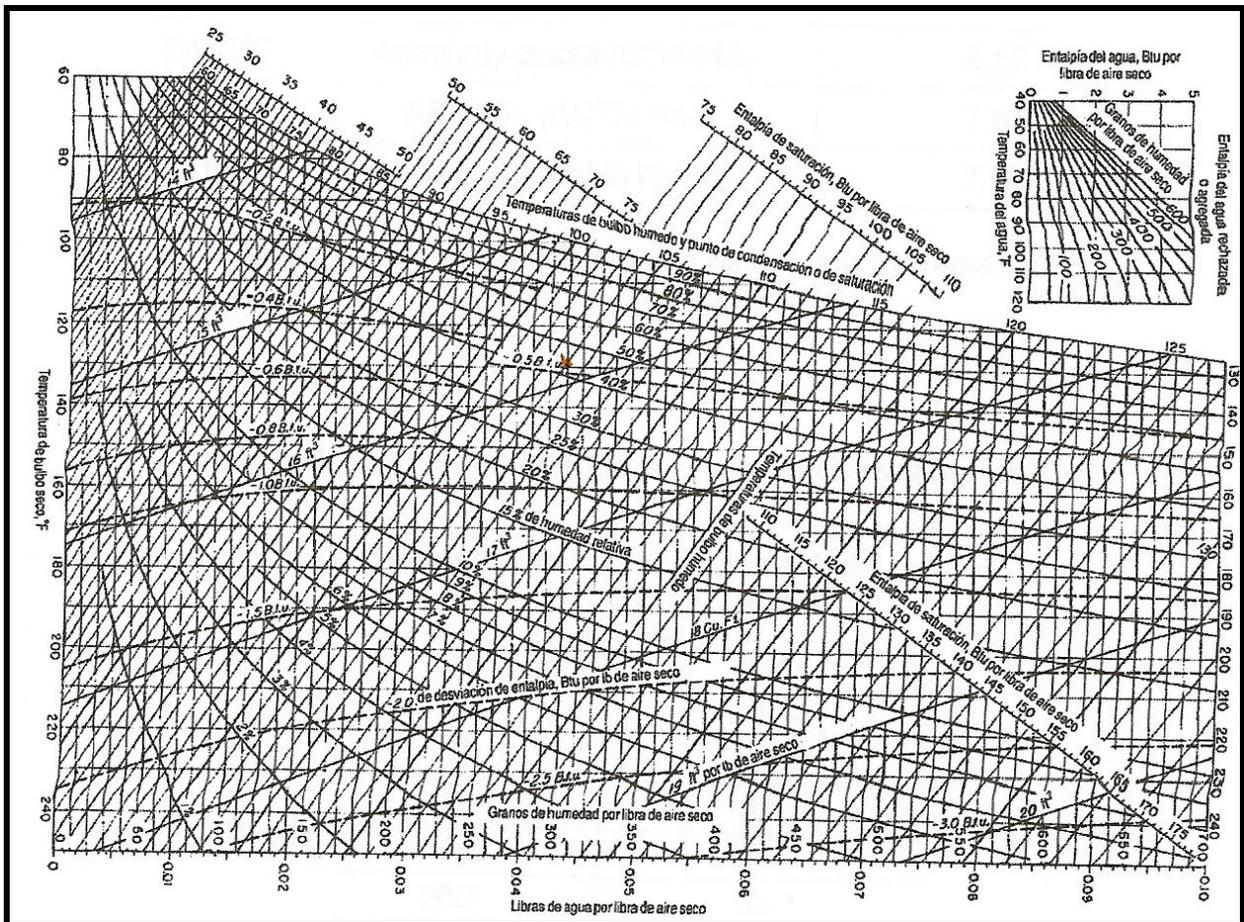


Figura D.3. Carta psicrométrica de temperaturas elevadas a la presión barométrica de 29,95 pulg. de Hg

Fuente: Himmelblau, 1997.



Tabla D.2. Coeficientes para el cálculo de la capacidad calorífica de compuestos orgánicos e inorgánicos

Fuente: Himmelblau, 1997

(2) $C_p = a + b(T) + c(T)^{-2}$.
 Las unidades de C_p son J/(g mol)(K o °C).
 Para convertir a cal/(g mol)(K o °C) = Btu/(lb mol)(°R o °F), multiplique por 0.2390.
 Nota: $b \cdot 10^2$ significa que el valor de b se debe multiplicar por 10^{-2} ; p. ej., 20.10×10^{-2} para la acetona.

Compuesto	Fórmula	Peso mol.	Estado	Forma	T	a	$b \cdot 10^2$	$c \cdot 10^5$	$d \cdot 10^9$	Intervalo de temp. (en T)
Acetona	CH ₃ COCH ₃	58.08	g	1	°C	71.96	20.10	-12.78	34.76	0-1200
Acetaldehído	C ₂ H ₂	26.04	g	1	°C	42.43	6.053	-5.033	18.20	0-1200
Aire		29.0	g	1	°C	28.94	0.4147	0.3191	-1.965	0-1500
			g	1	K	28.09	0.1965	0.4799	-1.965	273-1800
Amoníaco	NH ₃	17.03	g	1	°C	35.15	2.954	0.4421	-6.686	0-1200
Sulfato de amonio	(NH ₄) ₂ SO ₄	132.15	c	1	K	215.9				275-328
Benceno	C ₆ H ₆	78.11	l	1	K	-7.27329	77.054	-164.82	1,897.9	27 ⁹ -350
			g	1	°C	74.06	32.95	-25.20	77.57	0-1200
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	g	1	°C	89.46	30.13	-18.91	49.87	0-1200
n-Butano	C ₄ H ₁₀	58.12	g	1	°C	92.30	27.88	-15.47	34.98	0-1200
Isobuteno	C ₄ H ₈	56.10	g	1	°C	82.88	25.64	-17.27	50.50	0-1200
Carburo de calcio	CaC ₂	64.10	c	2	K	68.62	1.19	-8.66 × 10 ¹⁰	—	298-720
Carbonato de calcio	CaCO ₃	100.09	c	2	K	82.34	4.975	-12.87 × 10 ¹⁰	—	273-1033
Hidróxido de calcio	Ca(OH) ₂	74.10	c	1	K	89.5				276-373
Óxido de calcio	CaO	56.08	c	2	K	41.84	2.03	-4.52 × 10 ¹⁰		10273-1173
Carbono	C	12.01	c [†]	2	K	11.18	1.095	-4.891 × 10 ¹⁰		273-1373
Dióxido de carbono	CO ₂	44.01	g	1	°C	36.11	4.233	-2.887	7.464	0-1500
Monóxido de carbono	CO	28.01	g	1	°C	28.95	0.4110	0.3548	-2.220	0-1500
Tetracloruro de carbono	CCl ₄	153.84	l	1	K	12.285	0.01095	-318.26	3,425.2	273-343
Cloro	Cl ₂	70.91	g	1	°C	33.60	1.367	-1.607	6.473	0-1200
Cobre	Cu	63.54	c	1	K	22.76	0.06117			273-1357
Óxido nítrico	NO	30.01	g	1	°C	29.50	0.8188	-0.2925	0.3652	0-3500
Nitrógeno	N ₂	28.02	g	1	°C	29.00	0.2199	0.5723	-2.871	0-1500
Dióxido de nitrógeno	NO ₂	46.01	g	1	°C	36.07	3.97	-2.88	7.87	0-1200
Tetróxido de nitrógeno	N ₂ O ₄	92.02	g	1	°C	75.7	12.5	-11.3		0-300
Óxido nitroso	N ₂ O	44.02	g	1	°C	37.66	4.151	-2.694	10.57	0-1200
Oxígeno	O ₂	32.00	g	1	°C	29.10	1.158	-0.6076	1.311	0-1500
n-Pentano	C ₅ H ₁₂	72.15	l	1	K	33.24	192.41	-236.87	17,944	270-350
			g	1	°C	114.8	34.09	-18.99	42.26	0-1200
Propano	C ₃ H ₈	44.09	g	1	°C	68.032	22.59	-13.11	31.71	0-1200
Propileno	C ₃ H ₆	42.08	g	1	°C	59.580	17.71	-10.17	24.60	0-1200
Carbonato de sodio	Na ₂ CO ₃	105.99	c	1	K	121				288-371
Carbonato de sodio	Na ₂ CO ₃ · 10H ₂ O	286.15	c	1	K	535.6				298
Azufre	S	32.07	c [‡]	1	K	15.2	2.68			273-368
			c [§]	1	K	18.5	1.84			368-392
Ácido sulfúrico	H ₂ SO ₄	98.08	l	1	°C	139.1	15.59			10-45
Dióxido de azufre	SO ₂	64.07	g	1	°C	38.91	3.904	-3.104	8.606	0-1500
Trióxido de azufre	SO ₃	80.07	g	1	°C	48.50	9.188	-8.540	32.40	0-1000
Tolueno	C ₇ H ₈	92.13	l	1	K	1.8083	81.222	-151.27	1,630	270-370
			g	1	°C	94.18	38.00	-27.86	80.33	0-1200
Agua	H ₂ O	18.016	l	1	K	18.2964	47.212	-133.88	1,314.2	273-373
			g	1	°C	33.46	0.6880	0.7604	-3.593	0-1500

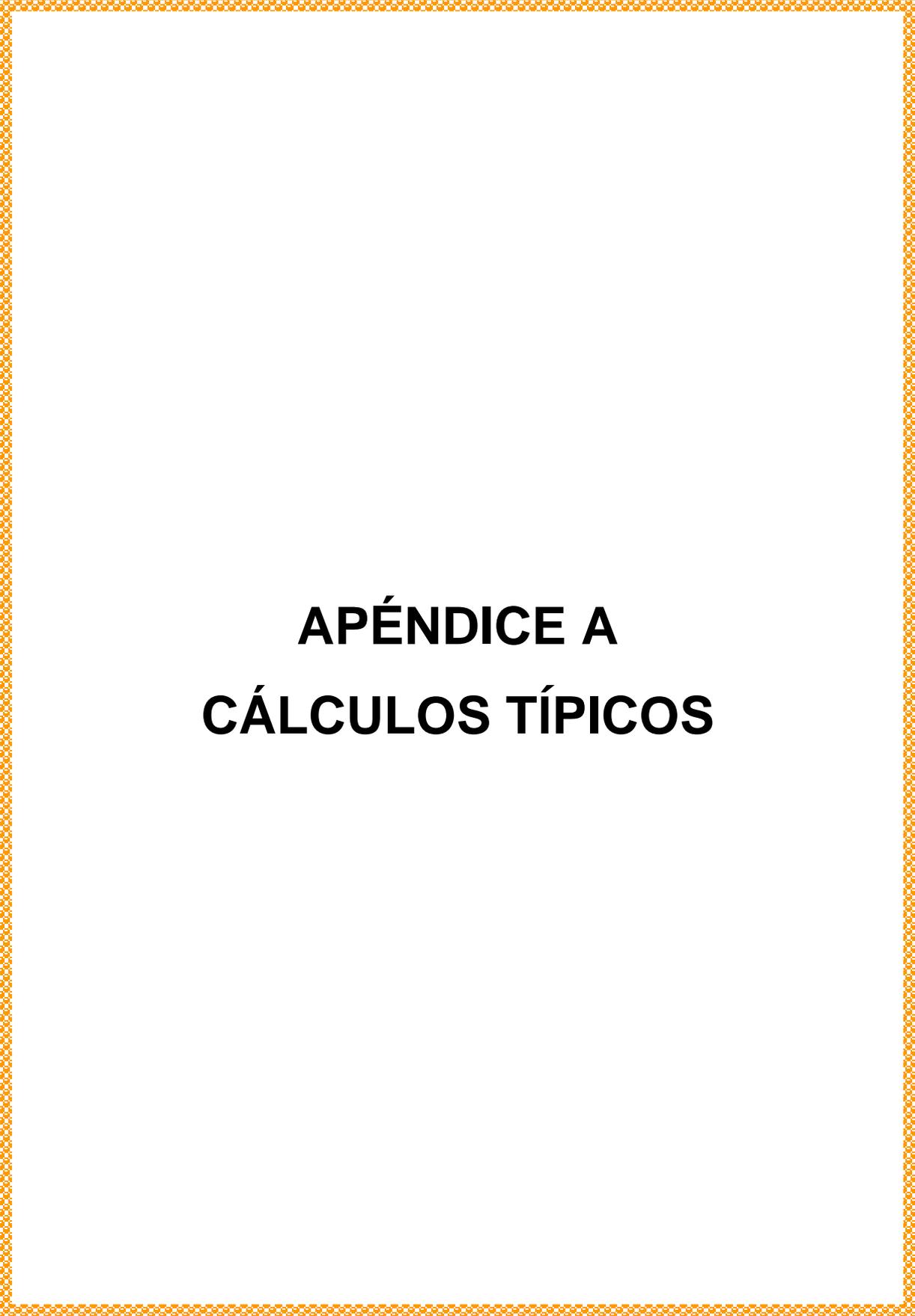


Tabla D.3. Propiedades del agua saturada.

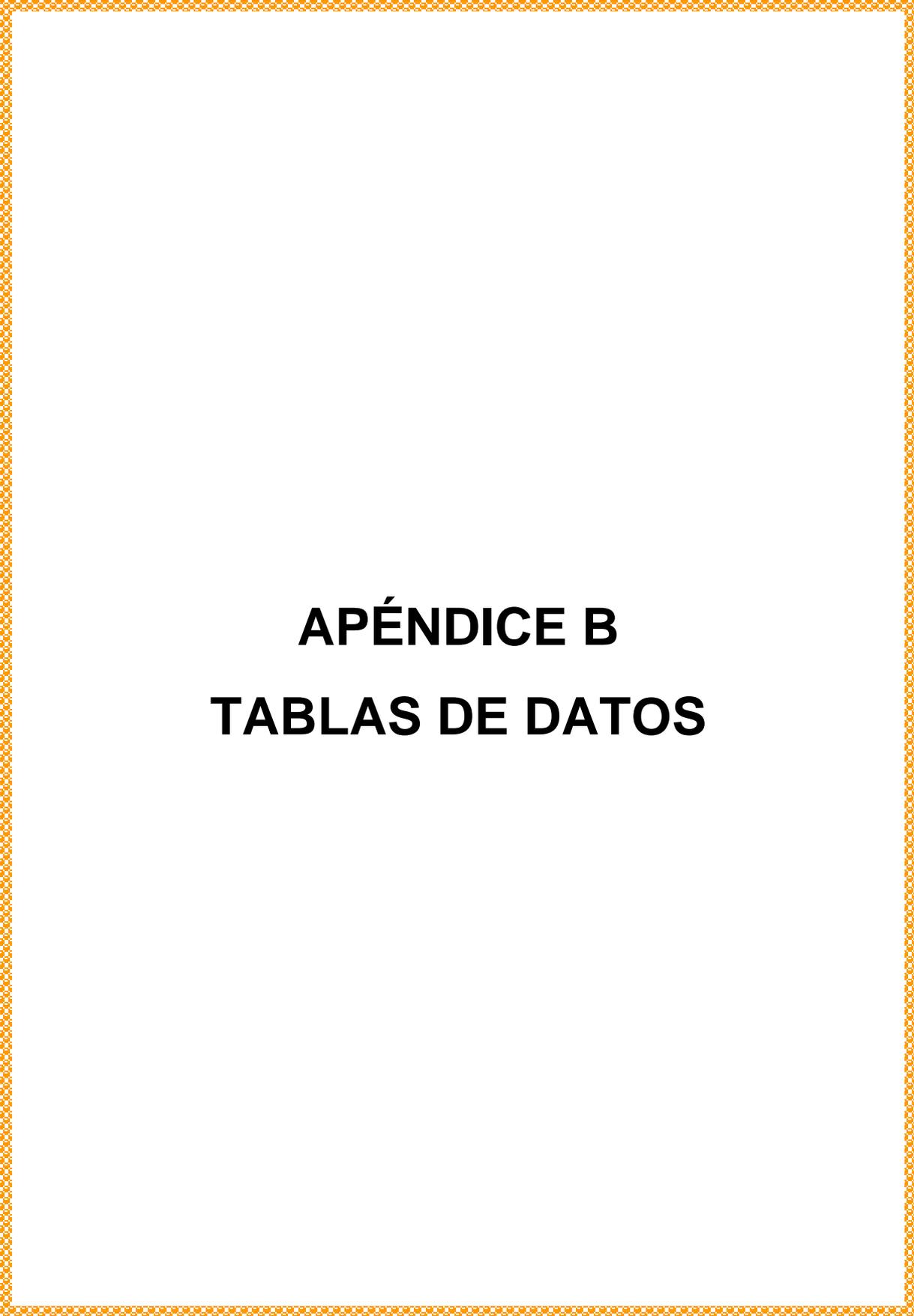
Fuente: Yunus A ,1998

Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpía de vaporización, h _{fg} kJ/kg	Calor específico, C _p J/kg · °C		Conductividad térmica, k W/m · °C		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 186	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1988	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	∞	∞	∞	∞	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵	—	—	—

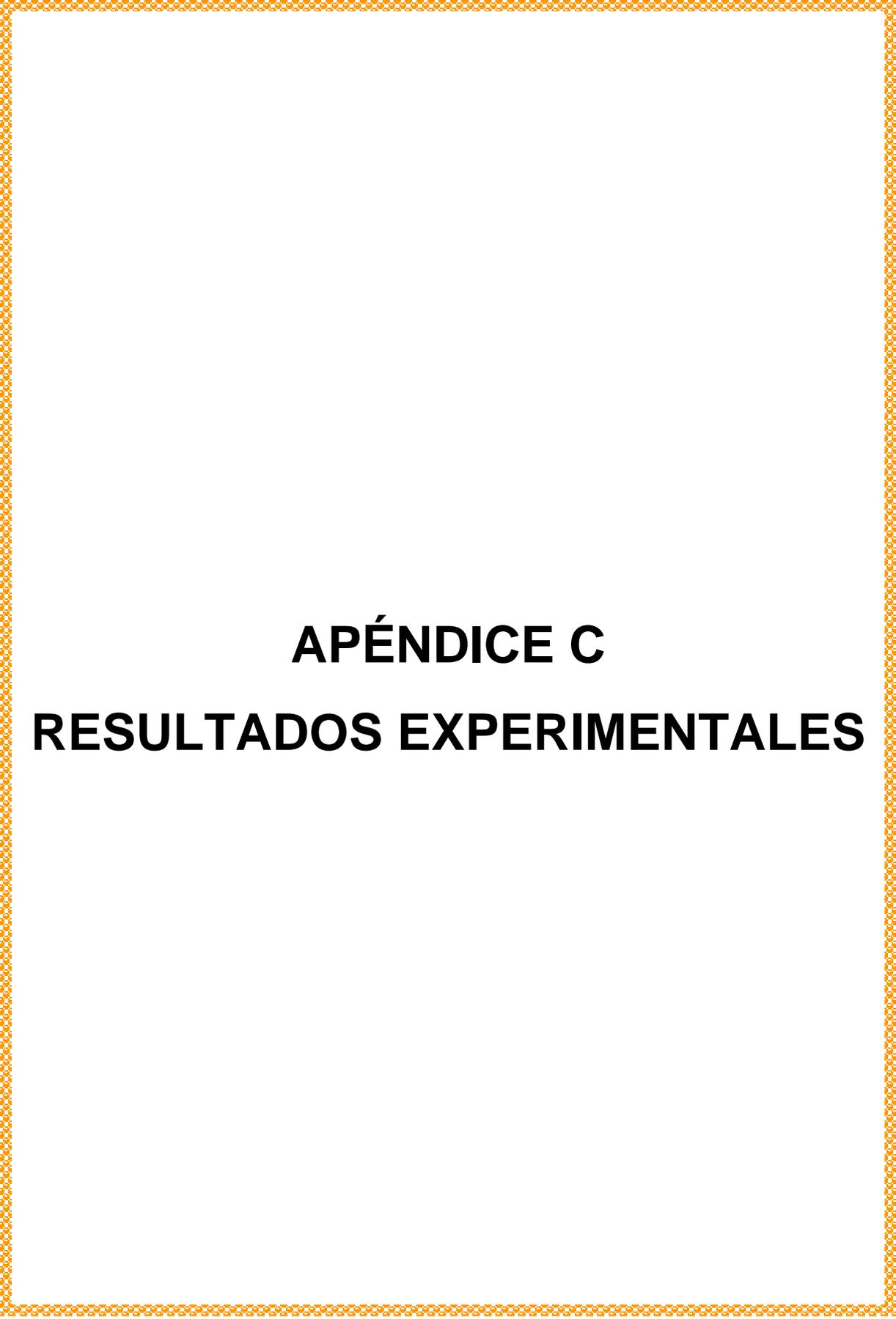
Nota 1: La viscosidad cinemática y la difusividad térmica se pueden calcular a partir de sus definiciones.



APÉNDICE A
CÁLCULOS TÍPICOS

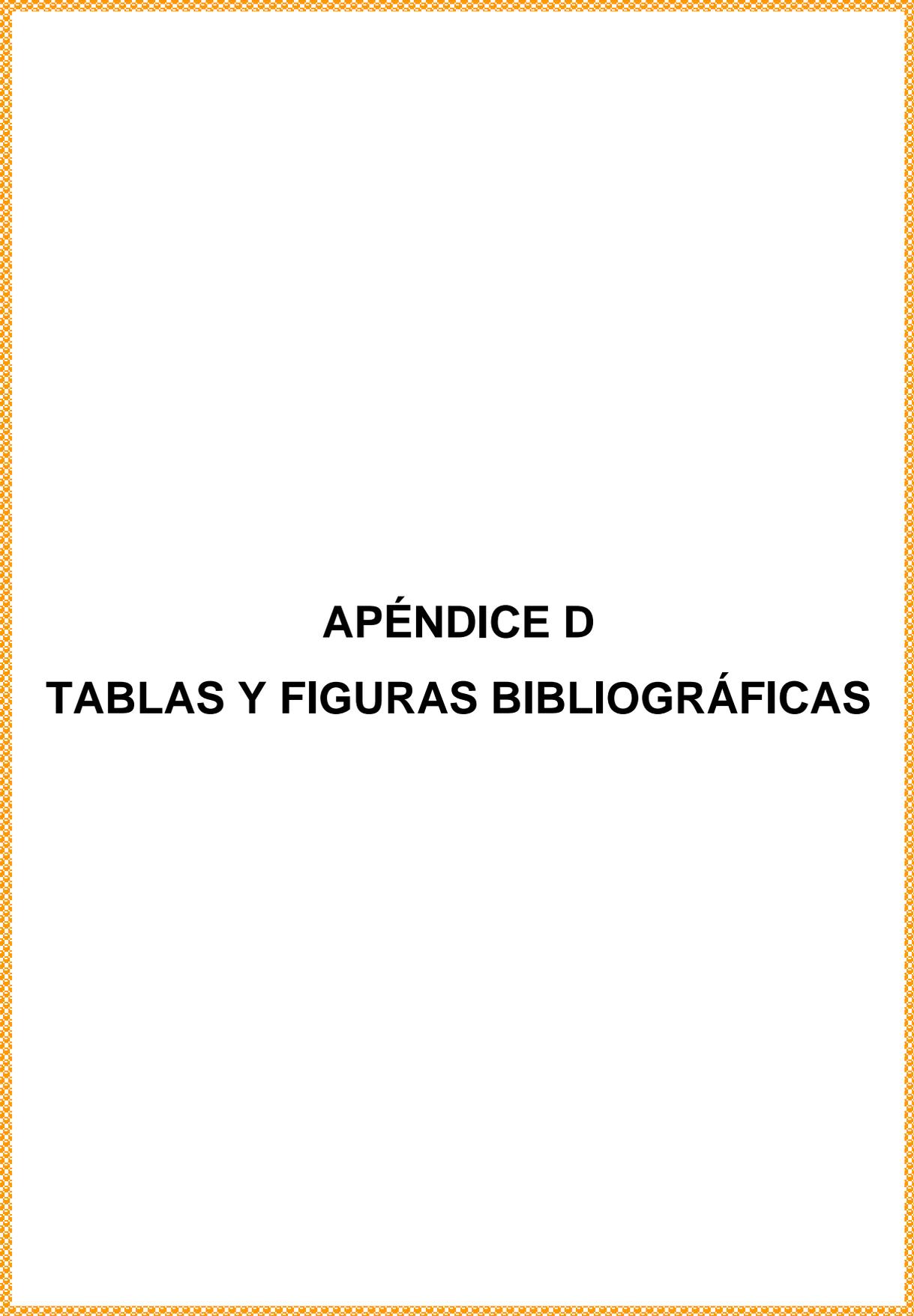


APÉNDICE B
TABLAS DE DATOS



APÉNDICE C

RESULTADOS EXPERIMENTALES



APÉNDICE D
TABLAS Y FIGURAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS



I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A continuación, se dará a conocer el problema en estudio, especificándose su propósito, la situación actual y deseada, así como el objetivo general y los específicos de la investigación. De igual forma se presentan las razones que justifican esta investigación, las limitaciones y los alcances.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

La Industria Metalgráfica S.A, pertenece al exclusivo grupo de Cervecerías Polar. Se encuentra ubicada en la zona industrial sur de Valencia, estado Carabobo. Inicialmente la empresa cubre con su producción la necesidad de gaveras para la industria cervecera, con lo cual se garantiza el envase para la cerveza y el retorno de las botellas.

En un principio la empresa dirige exclusivamente su actividad económica hacia la fabricación de tapas corona y litografía sobre metal, teniendo como clientes principales a las plantas cerveceras y manufactureras de malta del país. Procesos que realiza con maquinarias y equipos de avanzada e insumos de calidad, suministrado por suplidores nacionales, sin olvidar que el desarrollo tecnológico alcanzado, permite ofrecer una amplia gama de productos. Esta industria hoy en día se encarga de la producción y manufactura de tapas coronas, láminas litografiadas, envases plásticos, piezas y partes en matricería; con alto grado de calidad, que respondan a las expectativas de sus clientes y permitan óptimos niveles de competitividad, además de satisfacer las necesidades de consumidores, clientes, compañías, vendedores, concesionarios, distribuidores, accionistas trabajadores y suplidores, con la mejor relación precio/valor, alta rentabilidad y crecimiento sostenido, contribuyendo con el mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad y el desarrollo del país.

La empresa posee un sistema de producción de envases plásticos, constituido por una gran cantidad de maquinas de inyección de distintos tipos o marcas, como son: Husky, Reed, Engel y Krauss Maffei (KM). El funcionamiento de estas máquinas es el mismo, extraen el material plástico, ya molido, procedente de un galpón, entra a la



máquina, y por medio de calor funden el plástico el cual rellena un molde con la forma del producto deseado, esta máquina además trabaja con aceite para la lubricación del cilindro inyector.

Tanto el aceite utilizado como los moldes, requieren durante el funcionamiento y obtención del producto, de un sistema de enfriamiento para obtener resultados en un corto plazo y mejor funcionamiento de las máquinas, este sistema de enfriamiento puede clasificarse en dos sistemas: uno abierto para el enfriamiento de aceite de las máquinas y uno cerrado para el enfriamiento de los moldes.

Como se observa en la Figura 1.1, La industria Metalgráfica S. A. cuenta con un gran sistema de enfriamiento, que consiste en la utilización de agua proveniente de un pozo subterráneo, que mediante un sistema de bombeo pasa, inicialmente, por un sistema de suavización, mediante la utilización de resinas iónicas, luego es almacenada en un tanque horizontal del cual se distribuye hacia los dos sistemas: cerrado y abierto.

Para el sistema cerrado, una parte del agua almacenada en el tanque horizontal va hacia los tanques presurizados 1 y 2, para ser utilizada en el enfriamiento de las máquinas KM y Reed, para ello, mediante un sistema de bombeo, se traslada el agua hacia los enfriadores, luego de esto, se retorna el agua enfriada, hacia los tanques presurizados nuevamente y posteriormente es enviada hacia las máquinas para el enfriamiento de moldes; finalmente se dirige al tanque horizontal para repetir el proceso. La otra parte de del agua destinada en el sistema cerrado se dirige directamente del tanque horizontal, al tanque Engel, luego es llevada a dos enfriadores ecológicos y directamente a las máquinas Engel, posteriormente retorna al tanque, para repetir su proceso.

Para el sistema abierto, el agua que se encuentra en el tanque horizontal se traslada hacia las torres de enfriamiento de tipo tiro forzado, posteriormente, por medio de un sistema de bombeo, se hace llegar la misma a cada uno de los intercambiadores de calor de las máquinas; luego de enfriar el aceite, el agua se dirige nuevamente hacia las torres donde será despojado del calor absorbido.

La industria Metalgráfica, ha realizado día tras día, innumerables modificaciones al sistema mencionado anteriormente, con el fin de cumplir con los requerimientos de su





producción, estas modificaciones han traído como consecuencia, la reestructuración de los circuitos de enfriamiento, sin una evaluación detallada del sistema y de los equipos.

Se observa, que este sistema puede trabajar de una forma más eficiente, ya que quizás muchos equipos no trabajan bajo su capacidad correcta ni su distribución es la adecuada. Esto ha traído como consecuencia problemáticas en la fase de enfriamiento de los moldes y deterioro de las máquinas de inyección por mal trato de su aceite refrigerante. Una forma de demostrar esto, está en los ciclos de las máquinas, ya que éstas requieren trabajar bajo ciclos de 33 segundos, y en la actualidad trabajan en un rango de (35 – 36) segundos, además de que existen problemas en la calidad de productos ocasionados por el enfriamiento defectuoso. Con esto se tiene una cantidad de envases que no entran dentro de la producción de la empresa ya sea por que no son producidas o por ser defectuosas. Hasta los momentos nunca se ha realizado un estudio térmico para cuantificar la eficiencia del sistema. Con lo mencionado anteriormente, se sabe que el sistema que se encuentra instalado en la actualidad, produce muchas pérdidas térmicas, y caídas de presión, que afectan a todo el proceso, inicialmente se requiere conocer estos puntos específicos en donde no se están aprovechando las cargas térmicas produciendo pérdidas de calor.

Lo que se quiere con este trabajo, es proponer una mejora del sistema de enfriamiento de las máquinas de inyección de plástico de la Industria Metalgráfica S.A., para obtener una transferencia de calor más eficiente y así mismo disminuir los ciclos de las máquinas, para ello se requerirá de un estudio exhaustivo del funcionamiento de éstas en al actualidad y así reconocer las fallas dentro del proceso.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La fabricación de envases plástico de la Industria Metalgráfica S.A., está definida en cuatro fases: inyección, moldeo, enfriamiento, y descarga; siendo la de mayor importancia la fase de enfriamiento, ya que esta puede ser controlada, y de ella depende la calidad y cantidad del producto final. Es por ello que se desea proponer una mejora en la estructuración del sistema de enfriamiento, para ello se requiere del



estudio y mejoramiento de las condiciones de operación actual, para obtener resultados adecuados.

1.2.1 SITUACIÓN ACTUAL.

La industria Metalgráfica S.A. cuenta con un sistema de enfriamiento de moldes a base de agua helada procedente de los enfriadores, y enfriamiento del aceite de las máquinas de producción de plástico, mediante la utilización de agua fría procedente de las torres de enfriamiento. Este sistema ha sido construido y modificado conforme a las necesidades y requerimientos de la producción, se han instalado tuberías y equipos distribuidos de manera inadecuada.

Se observa que el sistema no es eficiente por la mala distribución del mismo, lo que supone que el caudal que llega a las máquinas no es suficiente para cumplir con exactitud con los ciclos de las mismas.

La Industria Metalgráfica S.A., ignora la existencia de un mejor arreglo para su sistema de enfriamiento, tanto de moldes como de aceite; para el cual, las máquinas trabajen bajo sus niveles más idóneos.

1.2.2 SITUACIÓN DESEADA.

La industria Metalgráfica S.A. requiere disponer de un estudio térmico del sistema de enfriamiento de aceite hidráulico y moldes de las máquinas de inyección, de la producción de plástico, para conocer el estado real del sistema a nivel de eficiencia, y así proponer una mejora en cuanto al arreglo del mismo para aumentar de ser posible la eficiencia y obtener mejores resultados, disminuyendo las caídas de presión del sistema y la cantidad de productos defectuosos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer una mejora al sistema de enfriamiento de las máquinas de producción de envases plástico, de la empresa Metalgráfica S.A. con el fin de incrementar la eficiencia actual.



1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diagnosticar la situación actual de las condiciones de operación del sistema, para determinar el recorrido del fluido, los equipos que pertenecen al sistema y las variables involucradas durante la operación de las máquinas de inyección de plástico.
2. Analizar las variables y su impacto en el sistema de producción, con el fin de reconocer aquellas que posean una influencia negativa en el proceso.
3. Proponer alternativas de mejora con la finalidad de seleccionar la más adecuada para aumentar la eficiencia del sistema actual.
4. Proponer un rediseño al sistema de enfriamiento en la cual se involucre la alternativa seleccionada, para lograr con ello el aumento de la eficiencia y mejores resultados.
5. Determinar la factibilidad económica de la propuesta, para obtener una evaluación económica de su aplicación para la empresa.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Este proyecto evaluará la eficiencia del sistema y la mejora de la misma, lo que es de gran conveniencia y aportará grandes beneficios; porque permitirá una mejora en la eficiencia de los equipos y evitará que se produzcan productos defectuosos. En la elaboración del presente trabajo se generaran prácticas y procedimientos que ayudaran a consolidar y reforzar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera universitaria, en especial en el área de termodinámica de fluidos y fenómenos de transporte; además de la experiencia que ofrece en el ámbito industrial-laboral.

Entre las implicaciones prácticas la investigación permitirá solucionar una situación real como es la ineficiencia del sistema de enfriamiento de la planta que permita disminuir costos en la mayoría de los ámbitos concernientes a la inyección del plástico y permitir una mayor ganancia del producto.

En lo referente al valor teórico permitirá estudiar un sistema de enfriamiento operante desde algunos años que proporcionará mayor información sobre el desgastes de los instrumentos y su respectivo comportamiento y poder visualizar en que zonas se



puede hacer mayor hincapiés para la mejora de dicho sistema, lo que ampliará los conocimientos previos de la Universidad de Carabobo que pueden ser beneficioso en futuros proyectos.

1.5 LIMITACIONES

La presente investigación tiene como principal restricción la escasez de equipos de medición en la empresa, para la obtención de datos del proceso, tanto de caudal como de presión. Las máquinas de inyección de plástico presentan otra variable limitante ya que sólo en algunas es posible la lectura de caudal y presión, por lo que las demás necesitan la parada del equipo para poder estudiar dichas variables y la disposición de la empresa no lo permite.

En el caso de los enfriadores se presentan la misma restricción ya que no es posible medir el caudal y la presión, ya que ellos no se pueden parar, porque constantemente están enfriando el agua de sistema de producción.



II. MARCO REFERENCIAL

Este capítulo presenta de manera especificada algunos proyectos anteriores presentados que guardan relación con esta investigación, toda la información bibliográfica necesaria el desarrollo de este trabajo.

2.1. ANTECEDENTES

Seguidamente se hace mención a las investigaciones realizadas anteriores a la fecha actual, que tienen relación con la presente instigación.

Morales, A. Picó, M (2006). **Efecto de la configuración de redes en el área total de intercambio de calor en sistemas de enfriamiento.** Revista Mexicana de Ingeniería Química Universidad Autónoma Metropolitana. D.F., México. [Documento en línea]. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=62009915>

Este trabajo presentó un estudio sobre el efecto de la configuración de redes de enfriamiento en el área total de intercambio de calor. Una red de enfriadores es parte de un sistema global que está integrado por una torre de enfriamiento, una red de intercambiadores de calor o enfriadores y un sistema de bombeo.

En el análisis de la red de intercambio de calor se ha demostrado que la configuración que tradicionalmente se utiliza a nivel industrial, que es la de intercambiadores en paralelo, presentan un área total de transferencia de calor que es mayor comparada con el área total requerida por un arreglo en serie. Los resultados de este estudio indican que el diseño de redes de enfriamiento debe preferir la configuración en serie sujeta a las restricciones impuestas por el layout de la planta, la caída de presión total permitida, y los gradientes de temperatura establecidos

Esta investigación, tiene similitud con el presente trabajo, ya que es una investigación acerca del estudio de mejores condiciones del sistema de enfriamiento de agua, es de gran ayuda para esta instigación ya que propone arreglos de mejor eficiencia para un sistema. Al igual que la investigación anterior, éste trabajo, aportará en las propuestas ya que habla de los posibles errores de una red de tuberías.



Hoffman A., Edith (2003). **Evaluación y rediseño del sistema de enfriamiento de las áreas de producción de C.A. VENEZOLANA DE PINTURAS.** Universidad de Carabobo. Facultad de ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

El objetivo general de este trabajo consistió en evaluar térmica e hidráulicamente el sistema de enfriamiento de las áreas productivas de C.A. Venezolana de Pinturas. Para esto se planteó lo siguiente: definir una situación crítica de operación para evaluar los requerimientos térmicos e hidráulicos de tal condición operacional, determinar la capacidad actual de enfriamiento y cabezal disponible de bombeo, rediseñar el sistema de enfriamiento actual y estimar la inversión del capital requerido para el rediseño del mismo. La conclusión de esta investigación fue la alternativa de rediseño, la cual fue el mejoramiento del sistema con la adquisición de dos torres de enfriamiento y la implementación de algunas mejoras en el sistema de suavización.

La situación actual difiere de la mostrada anteriormente ya que esta es una planta de elaboración pinturas y esmaltes. Ambas se encuentran en la elaboración de productos poliméricos pero el producto final no es el mismo. Ambos estudios se basan en los principios básicos de fenómeno de transporte, termodinámica y operaciones unitarias. Su aporte es a nivel teórico, ya que refuerza y engloba los conceptos y definiciones más necesitadas en la investigación que actualmente se presenta.

Cabrera, F y Santander, N (2002). **Mejoramiento de los sistemas de enfriamiento de los equipos de inyección de plástico de la empresa Metalgráfica S.A.- Valencia.** Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

Este trabajo tuvo como objetivo general mejorar las condiciones de los sistemas de enfriamiento del aceite de las máquinas de inyección y de los condensadores de los enfriadores de agua helada con el fin de aumentar la producción de envases plásticos y disminuir los costos de mantenimiento asociados a la operación de los equipos. Los objetivos específicos que guardan relación con la investigación fueron: Analizar las condiciones actuales de operación del sistema, identificar las variables que afectan el sistema, rediseñar el sistema de enfriamiento, entre otros. Entre las conclusiones más



resultantes fue la inserción de 2 torres de enfriamiento en el sistema como parte de la mejora de la capacidad.

La similitud de este trabajo con el que hoy se presenta es básicamente el rediseño dentro de la misma planta; lamentablemente en el momento que se realizó el diseño anterior no se hizo un estudio de eficiencia que es en lo que difiere la investigación anterior con la que se desea realizar.

La metodología usada en la anterior investigación, colabora de gran forma con la presente, ya que en ella se resaltan algunos puntos críticos del sistema, lo cual da una idea de las variables problemáticas en él actualmente.

Serna, M y Jiménez, A (1999). **Diseño óptimo de enfriadores**. Instituto Tecnológico de Celaya. Celaya, México. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.udg.mx/amidiq2007/documentos/LIBRO%20DE%20RESUMENES.pdf>

La finalidad de este trabajo fue el de presentar un procedimiento de optimización de enfriadores de tubo y coraza. En la construcción de la función objetivo se utilizaron las ecuaciones básicas del diseño de intercambiadores de calor y dos expresiones que relacionaba la caída de presión de los fluidos.

La conclusión derivada, fue la obtención de algoritmos de optimización de enfriadores. El trabajo realizado se relaciona con el presente estudio en que ambos buscan obtener las condiciones más óptimas y adecuadas a las cuales debe operar un sistema. Difere en que solo se basó en un intercambiador. A diferencia del presente estudio que se basa en un sistema amplio de distintos equipos y tuberías. Su aporte es a nivel teórico, ya que la información que aquí se presenta, ayuda con el entendimiento de algunos términos relacionado con el tema.

Centelles, Francisco (1999). **Una solución al problema del enfriamiento de agua industrial**. Plásticos Universales. Tecnirama. España. [En línea]. Disponible en: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/Articulo.asp?A=5831>

El objetivo de esta publicación fue realizar un análisis acerca de cómo obtener la máxima eficacia productiva y al mismo tiempo un mínimo consumo de energía por parte



del sistema de enfriamiento, para ellos, es absolutamente necesario un estudio analítico y racional de las cargas térmicas de toda la fábrica. Con la investigación se concluyó que: el enfriamiento máquina constituye, en términos de frigorías/hora, la carga térmica más importante (50/90%) del sistema de enfriamiento. Fundamentalmente no se requiere una temperatura de agua de enfriamiento baja, ya que el nivel térmico requerido está por encima de 35°C. Es suficiente que el agua de enfriamiento sea a temperatura ambiente. La solución innovadora para el "enfriamiento máquina", consiste en enfriadores industriales por aire (*Ecodygel*) que presenta la más avanzada tecnología para el intercambio térmico agua-aire. Se compone simplemente de un radiador con láminas en cobre-aluminio de amplia superficie, provisto de ventiladores helicoidales de alta capacidad.

La publicación anterior, al igual que el presente trabajo se encarga del estudio de optimización de los sistemas de enfriamientos, la diferencia en ellos es que el presente, es un estudio específico en una planta específica; esta publicación realizó un estudio global para las mejores condiciones en cuanto a enfriamiento sin importar el proceso.

El aporte de esta investigación, será tangible en el momento de realizar las propuestas, ya que esta investigación se refiere a los distintos sistemas de refrigeración y su impacto.

Centeno, Osmerys. (1985). **Rediseño del sistema de enfriamiento de una planta de elaboración de productos plásticos**. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

El tema aquí planteado constituye como objetivo general, la formulación y resolución de un problema que presenta el sistema de enfriamiento de la industria GAVEPLAST C.A. para ello se realizó como objetivos específicos: un estudio del sistema actual, se rediseñó el sistema de enfriamiento; estos objetivos son los que mantienen relación con la investigación que aquí se presenta.

Una vez planteadas las mejoras, se comprobó que el proyecto resultaba rentable bajo las condiciones estipuladas. La conclusión más resaltante fue proponer la independización de los sistemas de enfriamiento.



La similitud se basa en que ambas plantas constan de una serie de máquinas diseñadas para la producción de gaveras plásticas y otros productos por inyección; se utiliza agua como sistema de enfriamiento de moldes y del producto. La distribución de este sistema no es el adecuado, por tanto se requirió de un nuevo dimensionamiento de las redes de tuberías para garantizar mayor eficiencia.

El aporte de este trabajo, para el presente, es la forma investigativa que presentan y la organización de sus actividades. Lo cual es de gran ayuda para la formulación y planificación de la presente investigación.

2.2. EL PLÁSTICO

El término plástico, en su significación más general, se aplica a las sustancias de distintas estructuras y naturalezas que carecen de un punto fijo de ebullición y poseen durante un intervalo de temperaturas propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten moldearlas y adaptarlas a diferentes formas y aplicaciones. Sin embargo, en sentido restringido, denota ciertos tipos de materiales sintéticos obtenidos mediante fenómenos de polimerización o multiplicación artificial de los átomos de carbono en las largas cadenas moleculares de compuestos orgánicos derivados del petróleo y otras sustancias naturales. De hecho plástico se refiere a un estado del material no al material en sí: los polímeros sintéticos habitualmente llamados plásticos, son en realidad materiales sintéticos que pueden alcanzar el estado plástico, esto es cuando el material se encuentra viscoso o fluido, y no tiene propiedades de resistencia a esfuerzos mecánicos. Este estado se alcanza cuando el material en estado sólido se transforma en estado plástico generalmente por calentamiento, y es ideal para los diferentes procesos productivos ya que en este estado es cuando el material puede manipularse de las distintas formas que existen en la actualidad. Así que la palabra plástico es una forma de referirse a materiales sintéticos capaces de entrar en un estado plástico, pero plástico no es necesariamente el grupo de materiales a los que cotidianamente hace referencia esta palabra.

La primera parte de la producción de plásticos consiste en la elaboración de polímeros en la industria química. Hoy en día la recuperación de plásticos



post-consumidor es esencial también. Parte de los plásticos terminados por la industria se usan directamente en forma de grano o resina. Más frecuentemente, se utilizan varias formas de moldeo (por inyección, compresión, rotación, inflación, etc.). Parte del mayor proceso de plásticos se realiza en una máquina horneadora de él.

(Documento en línea. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1stico>).

2.3. MOLDEO POR INYECCION

En ingeniería, el moldeo por inyección es un proceso semicontinuo que consiste en inyectar un polímero en estado fundido (o ahulado) en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado compuerta. En ese molde el material se solidifica, comenzando a cristalizar en polímeros semicristalinos. La pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada.

El moldeo por inyección es una técnica muy popular para la fabricación de artículos muy diferentes. La popularidad de este método se explica con la versatilidad de piezas que pueden fabricarse, la rapidez de fabricación, el diseño escalable desde procesos de prototipos rápidos, altos niveles de producción y bajos costos, alta o baja automatización según el costo de la pieza, geometrías muy complicadas que serían imposibles por otras técnicas, las piezas moldeadas requieren muy poco o nulo acabado pues son terminadas con la rugosidad de superficie deseada, color y transparencia u opacidad, buena tolerancia dimensional de piezas moldeadas con o sin insertos y con diferentes colores. Los polímeros conservan su forma tridimensional cuando son enfriados por debajo de su temperatura de transición (T_g) y, por tanto, también de su temperatura de fusión para polímeros semicristalinos. Los polímeros amorfos, cuya temperatura útil es inferior a su T_g , se encuentran en un estado termodinámico de pseudoequilibrio. En ese estado, los movimientos de rotación y de relajación (desenredo de las cadenas) del polímero están altamente impedidos. Es por esta causa que, en ausencia de esfuerzos, se retiene la forma tridimensional. Los polímeros semicristalinos poseen, además, la característica de formar cristales. Estos cristales proporcionan estabilidad dimensional a la molécula, la cual también es



termodinámicamente estable. La entropía de las moléculas del plástico disminuye drásticamente debido al orden de las moléculas en los cristales.

([Documento en línea]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_por_inyecci%C3%B3n)

2.3.1. La maquinaria

Como se muestra en la Figura 2.1, las partes más importantes de la máquina son:

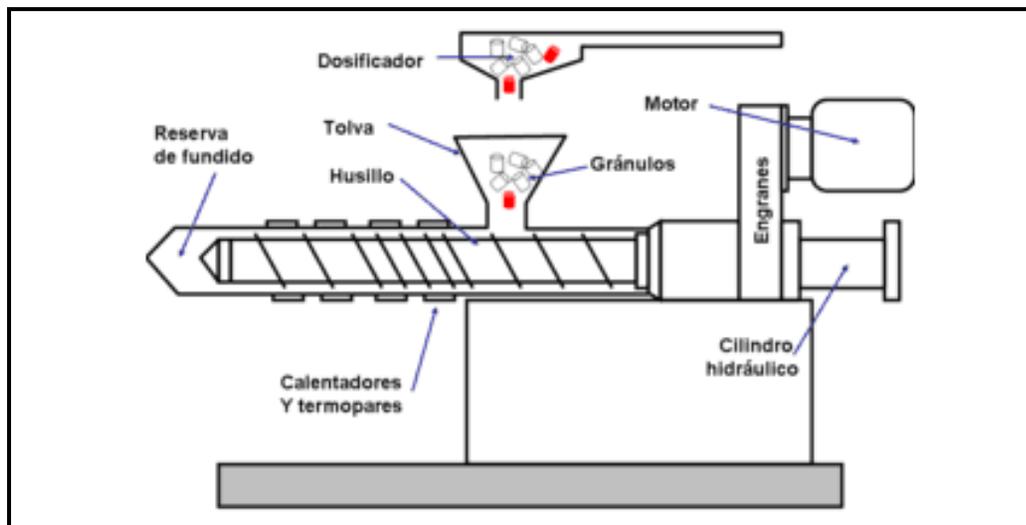


Figura 2.1. La unidad de inyección.

Fuente: La unidad de inyección; 2008. [Documento en línea]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_por_inyecci%C3%B3n.

➔ Unidad de inyección

La función principal de la unidad de inyección es la de fundir, mezclar e inyectar el polímero. Para lograr esto se utilizan husillos de diferentes características según el polímero que se desea fundir. El estudio del proceso de fusión de un polímero en la unidad de inyección debe considerar tres condiciones termodinámicas:

1. La temperatura de procesamiento del polímero.
2. La capacidad calorífica del polímero C_p . [cal/g.°C].
3. El calor latente de fusión, si el polímero es semicristalino.

El proceso de fusión involucra un incremento en el calor del polímero, que resulta del aumento de temperatura y de la fricción entre el barril y el husillo. La fricción y



esfuerzos cortantes son básicos para una fusión eficiente, dado que los polímeros no son buenos conductores de calor. Un incremento en temperatura disminuye la viscosidad del polímero fundido; lo mismo sucede al incrementar la velocidad de corte. Por ello ambos parámetros deben ser ajustados durante el proceso. Existen, además, metales estándares para cada polímero con el fin de evitar la corrosión o degradación. Con algunas excepciones, la mayoría de los plásticos pueden utilizarse en las mismas máquinas.

La unidad de inyección es en origen una máquina de extrusión con un solo husillo o tornillo de inyección (fijo por un extremo a un motor que lo hace girar), teniendo el barril calentadores y sensores para mantener una temperatura programada constante. La profundidad entre el canal y el husillo disminuye gradual (o drásticamente, en aplicaciones especiales) desde la zona de alimentación hasta la zona de dosificación. De esta manera, la presión en el barril aumenta gradualmente. El esfuerzo mecánico, de corte y la compresión añaden calor al sistema y funden el polímero más eficientemente que si hubiera únicamente calor, siendo ésta la razón fundamental por la cual se utiliza un husillo y no una autoclave para obtener el fundido.

Una diferencia sustancial con respecto al proceso de extrusión es la existencia de una parte extra llamada cámara de reserva. Es allí donde se acumula el polímero fundido para ser inyectado. Esta cámara actúa como la de un pistón; toda la unidad se comporta como el émbolo que empuja el material. Debido a esto, una parte del husillo termina por subutilizarse, por lo que se recomiendan cañones largos para procesos de mezclado eficiente. Tanto en inyección como en extrusión se deben tomar en cuenta las relaciones de PvT (Presión, volumen, temperatura), que ayudan a entender cómo se comporta un polímero al fundir.

(Moldeo por inyección; 2008. [Documento en línea]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_por_inyecci%C3%B3n).



→ **Unidad de cierre**

Es una prensa hidráulica o mecánica, con una fuerza de cierre bastante grande que contrarresta la fuerza ejercida por el polímero fundido al ser inyectado en el molde. Las fuerzas localizadas pueden generar presiones del orden de cientos de MPa, que sólo se encuentran en el planeta de forma natural únicamente en los puntos más profundos del océano.

Si la fuerza de cierre es insuficiente, el material escapará por la unión del molde, causando así que la pieza final tenga defectos de rebabas. Es común utilizar el área proyectada de una pieza (área que representa perpendicularmente a la unidad de cierre el total de la cavidad) para determinar la fuerza de cierre requerida, excluyendo posibles huecos o agujeros de la pieza.

(Moldeo por inyección; 2008. [Documento en línea]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_por_inyecci%C3%B3n.)

→ **Molde**

El molde (también llamado herramienta) es la parte más importante de la máquina de inyección, ya que es el espacio donde se genera la pieza; para producir un producto diferente, simplemente se cambia el molde, al ser una pieza intercambiable que se atornilla en la unidad de cierre.

Las partes del molde son:

1. **Cavidad:** es el volumen en el cual la pieza será moldeada.
2. **Canales:** son conductos a través de los cuales el polímero fundido fluye debido a la presión de inyección. El canal de alimentación se llena a través de la boquilla, los siguientes canales son los denominados bebederos y finalmente se encuentra la compuerta.
3. **Canales de enfriamiento:** Son canales por los cuales circula agua para regular la temperatura del molde. Su diseño es complejo y específico para cada pieza y molde, ya que de un correcto enfriamiento depende que la pieza no se deforme debido a contracciones irregulares.



4. Barras expulsoras: al abrir el molde, estas barras expulsan la pieza moldeada fuera de la cavidad, pudiendo a veces contar con la ayuda de un robot para realizar esta operación.

2.3.2. Ciclo de moldeo

En el ciclo de moldeo se distinguen 6 pasos principales (aunque algunos autores llegan a distinguir hasta 9 pasos):

1. Molde cerrado y vacío. La unidad de inyección carga material y se llena de polímero fundido.

2. Se inyecta el polímero abriéndose la válvula y, con el husillo que actúa como un pistón, se hace pasar el material a través de la boquilla hacia las cavidades del molde.

3. La presión se mantiene constante para lograr que la pieza tenga las dimensiones adecuadas, pues al enfriarse tiende a contraerse.

4. La presión se elimina. La válvula se cierra y el husillo gira para cargar material; al girar también retrocede.

5. La pieza en el molde termina de enfriarse (este tiempo es el más caro pues es largo e interrumpe el proceso continuo), la prensa libera la presión y el molde se abre; las barras expulsan la parte moldeada fuera de la cavidad.

6. La unidad de cierre vuelve a cerrar el molde y el ciclo puede reiniciarse (Moldeo por inyección; 2008. [Documento en línea]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_por_inyecci%C3%B3n).

2.4. CONCEPTOS BÁSICOS DE LOS FLUIDOS

2.4.1. Definición básica de un fluido.

La clasificación de fluidos depende fundamentalmente del estado y no del material en sí. De esta forma lo que define al fluido es su comportamiento y no su composición. Entre las propiedades que diferencian el estado de la materia, la que permite una mejor clasificación sobre el punto de vista mecánico es la que dice la relación con la forma en que reacciona el material cuando se le aplica una fuerza.



Los fluidos reaccionan de una manera característica a las fuerzas. Si se compara lo que ocurre a un sólido y a un fluido cuando son sometidos a un esfuerzo de corte o tangencial se tienen reacciones características que se pueden verificar experimentalmente y que permiten diferenciarlos.

Con base al comportamiento que desarrollan los fluidos se definen de la siguiente manera: "Fluido es una sustancia que se deforma continuamente, o sea se escurre, cuando esta sometido a un esfuerzo de corte o tangencial". De esta definición se desprende que un fluido en reposo no soporta ningún esfuerzo de corte. (Torres; 1997).

2.4.2. Propiedades de los fluidos

Los fluidos, como todos los materiales, tienen propiedades físicas que permiten caracterizar y cuantificar su comportamiento así como distinguirlos de otros. Algunas de estas propiedades son exclusivas de los fluidos y otras son típicas de todas las sustancias. Características como la viscosidad, tensión superficial y presión de vapor solo se pueden definir en los líquidos y gases. Sin embargo la masa específica, el peso específico y la densidad son atributos de cualquier materia.

Densidad

El término densidad (ρ) es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen, puede utilizarse en términos absolutos o relativos. En términos sencillos, un objeto pequeño y pesado, como una piedra o un trozo de plomo, es más denso que un objeto grande y liviano, como un corcho o un poco de espuma. (Brown; 1997)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

Donde:

ρ : densidad del fluido, [Kg/m³].

m: masa del líquido, [Kg].

V: volumen del líquido, [m³]



↳ Peso específico

Se define como su peso por unidad de volumen, se encuentra relacionado con la densidad, En los líquidos puede considerarse constante para las variaciones ordinarias de presión.

↳ Viscosidad

La viscosidad es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal, en realidad todos los fluidos conocidos presentan algo de viscosidad, siendo el modelo de viscosidad nula una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones. (Morales y Rodríguez; 2007)

↳ Compresibilidad.

La compresibilidad representa la relación entre los cambios de volumen y los cambios de presión a que está sometido un fluido. Las variaciones de volumen pueden relacionarse directamente con variaciones de la masa específica si la cantidad de masa permanece constante. En general se sabe que en los fluidos la masa específica depende tanto de la presión como de la temperatura de acuerdo a la ecuación de estado. (Torres; 1997)

↳ Presión de vapor.

Los fluidos en fase líquida o gaseosa dependiendo de las condiciones en que se encuentren. Las sustancias puras pueden pasar por las cuatro fases, desde sólido a plasma, según las condiciones de presión y temperatura a que estén sometidas. Se acostumbra designar líquidos a aquellas materias que bajo las condiciones normales de presión y temperatura en que se encuentran en la naturaleza están en esa fase.

Cuando un líquido se le disminuye la presión a la que está sometido hasta llegar a un nivel en el que comienza a ebullición, se dice que alcanzado la presión de vapor. Esta presión depende de la temperatura. La presión de vapor y la temperatura de ebullición están relacionadas y definen una línea que separa al líquido de una misma sustancia en un gráfico de presión y temperatura. (Morales y Rodríguez; 2007)



2.4.3. Régimen de un fluido.

El movimiento de un fluido puede obedecerse a dos tipos de régimen: un régimen laminar, en donde la velocidad en cada punto es unívoca, se caracteriza por un movimiento ordenado de las partículas del fluido, existiendo líneas de corriente y trayectorias bien definidas. En el régimen turbulento las partículas presentan un movimiento caótico sin que existan unas líneas de corriente ni trayectorias definidas. (Meléndez; 1997).

2.4.4. Número de Reynolds.

El número de Reynolds es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido. Permite predecir el carácter turbulento o laminar en ciertos casos. Así por ejemplo en conductos si el número de Reynolds es menor de 2000 el flujo será laminar y si es mayor de 4000 el flujo será turbulento, si se encuentra en medio se conoce como flujo de transición y su comportamiento no puede ser modelado. De acuerdo con la expresión del número de Reynolds, cuanto más elevada sea la viscosidad de un fluido mayor podrá ser el diámetro de la tubería sin que el flujo deje de ser laminar, puesto que las densidades de los líquidos son casi todas del mismo orden de magnitud. Por este motivo los oleoductos, en régimen laminar, pueden tener secciones superiores a las conducciones de agua, ya que la viscosidad de los fluidos que circulan por aquéllos es mayor que la del agua. (Número de Reynolds; 2008. [Documento en línea]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_de_Reynolds).

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu} \quad (2.2)$$

Donde:

v: velocidad del fluido, [m/s].

ρ : densidad del fluido, [Kg/ m³].

D: diámetro de la conducción, [m].

μ : viscosidad del fluido, [Kg/m.s].



2.4.5. Caudal

Según Silva, (2001). El caudal es la cantidad de fluido que circula por unidad de tiempo en determinado sistema o elemento, se expresa en la unidad de volumen dividida por la unidad de tiempo, la siguiente relación determina el caudal del líquido:

$$Q = v * A \quad (2.3)$$

Donde:

Q: caudal, [m³/s].

A: área transversal del sector por donde pasa el fluido [m²].

Siendo del área de la tubería, en este caso, determinada bajo la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (2.4) \text{ (Silva, 2001)}$$

2.5. DINÁMICA DE FLUIDOS.

2.5.1. Balance de masa

Según Silva, (2001), una de las leyes básicas de la física es la ley de la conservación de la masa. Esta ley, expresada en forma simple enuncia que la masa no puede crearse ni destruirse. Por consiguiente, la masa (o el peso) total de todos los materiales que intervienen en el proceso debe ser igual a la de todos los materiales que salen del mismo, más la masa de los materiales que se acumulan o permanecen en el proceso.

En la mayoría de los casos no se presenta acumulación de materiales en el proceso, por lo que las entradas son iguales a las salidas. Expresado en otras palabras "lo que entra debe salir". A este tipo de sistema se le llama proceso en estado estacionario. Si se considera un flujo estable a través de un volumen de control con una entrada y una salida, como se observa en la Figura 2.2, la razón con la cual el fluido entra en el volumen debe ser igual a la razón con la que el fluido sale del volumen para que se cumpla el principio fundamental de conservación de masa.

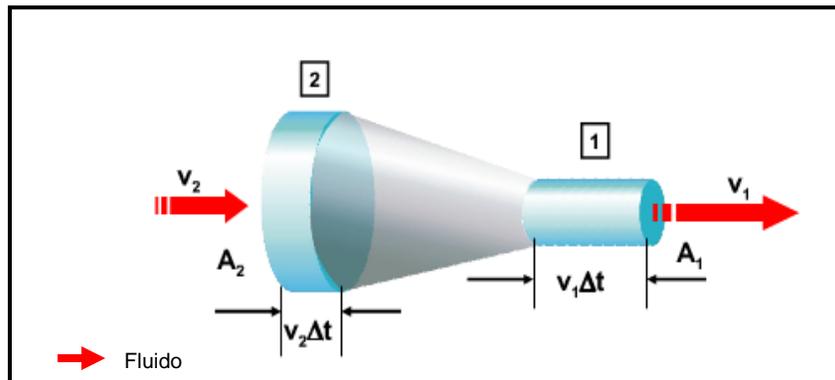


Figura 2.2 Modelo que explica la ecuación de continuidad o balance de masa

Donde: v: velocidad, A: área trasversal del canal y 2,1: subíndices de entrada y salida respectivamente

Fuente: Torres, V. (2006)

La ecuación 2.5, muestra la relación que existe entre las variables involucradas en esta ley.

$$v_1 \cdot A_1 \cdot \rho_1 = v_2 \cdot A_2 \cdot \rho_2 \quad (2.5) \quad (\text{Silva, 2001})$$

2.5.2. Balance de energía

Ley de conservación de energía, la cual postula que toda la energía que entra a un proceso es igual a la que sale más la que queda en el proceso. La energía puede manifestarse de varias maneras. Algunas de sus formas más comunes son la entalpía, energía eléctrica, la energía química, la energía cinética, la energía potencial, el trabajo y el flujo de calor. Un tipo de balance de energía más útil para el flujo de fluidos, en especial de líquidos, es una modificación del balance total de energía que considera la energía mecánica.

(Balance de energía; 2008. [Documento en línea]. Disponible en: <http://procesos.netfirms.com/informe/node8.html>)

Ecuación de Bernoulli. Es una aplicación de la ley de la conservación de la energía al flujo del fluido de una tubería, es decir, esta ley expresa un balance real de energía para flujo real. Para representar la ecuación de Bernoulli entre dos puntos, se aplica la siguiente, ecuación:



$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.6)$$

Donde:

P: presión del fluido, [kgf/m²].

z: altura de la tubería por la que circula el fluido, [m].

g: constante de gravedad, [m/s²].

γ: peso específico del fluido, [N/m³].

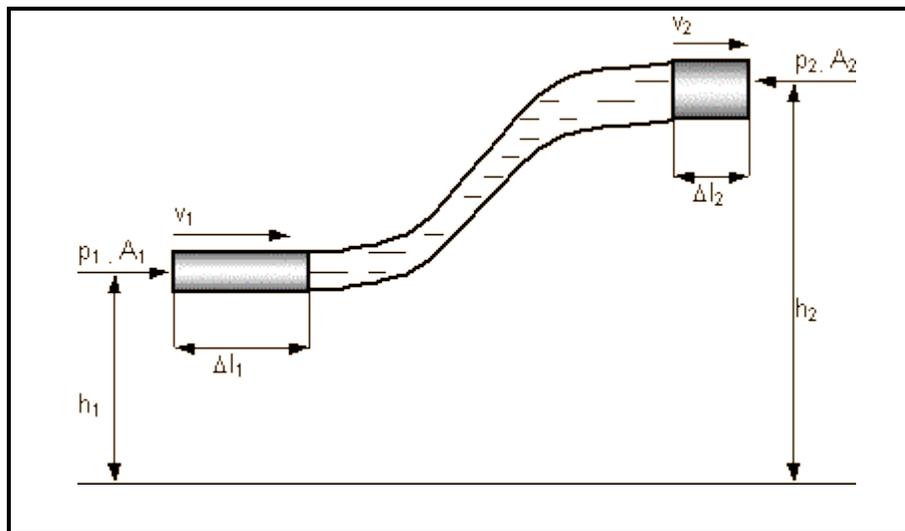


Figura 2.3 Sistema de flujo de Fluidos, que ilustra la ecuación de Bernoulli.

Fuente: Netto, (2006)

Según Streeter (1971), los términos de la ecuación de Bernoulli se conocen, a menudo, como “cabezas”, debido a la presión, elevación y velocidad respectivamente, refiriéndose a una altura por encima de un nivel de referencia. La suma de los tres se conoce como cabezal total. Cuando se utiliza la ecuación anterior (2.6), es esencial que la presión de los dos puntos de referencia se exprese como presiones absolutas o manométricas. Es decir, deber tener las dos la misma presión de referencia.

Para la aplicación de la ecuación de Bernoulli se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Es valida solamente para fluidos incompresibles.



2. No puede haber dispositivos mecánicos entre las dos secciones de interés.
3. No puede haber transferencia de calor ni hacia dentro ni hacia fuera del balance de energía,
4. No puede haber pérdidas de energía debido a fricción.

Ningún sistema, realmente, satisface todas estas restricciones. Sin embargo, existen muchos sistemas para los cuales se puede hacer una rápida estimación, si ese es el caso. Por tanto existe una expresión generalizada de la ecuación de Bernoulli, la cual toma en cuenta las limitaciones anteriores, y hace posible resolver problemas que presenten pérdidas y adiciones de energía.

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_{f12} \pm w_s \quad (2.7)$$

Donde:

h_{f12} : pérdidas de energía, [m].

W_s : Trabajo de eje, [m].

2.5.3. Pérdidas de energía

Las pérdidas de energía pueden ser generadas por varias vías, por ejemplo: por fricción de l fluido, ya que el mismo ofrece una resistencia de fricción al fluido y parte de la energía del sistema se convierte en energía térmica, en forma de calor, la cual se disipa a través de las paredes del conducto por el cual se desplaza. La magnitud de la pérdida de energía depende de varios factores como las propiedades del fluido, la velocidad de flujo, el tamaño del conducto, la rugosidad de las paredes y la longitud del tubo.

Otra forma de generación de pérdidas es debida a los accesorios conectados al sistema, ya que estos elementos controlan la dirección o la rapidez de fluido en el sistema. Siempre que varía la velocidad de un fluido, tanto en dirección como en magnitud, se genera una fricción adicional a la fricción en la superficie, debida al flujo a través de la tubería recta. Esta fricción que se produce por los vértices que se originan cuando se perturban las líneas de corrientes normales y cuando tiene lugar la



separación de la capa límite. En la mayoría de los casos estos efectos no pueden calcularse con exactitud y es preciso recurrir a datos empíricos. (Díaz, Y; 2005)

2.6. PRINCIPIOS BÁSICOS DE BOMBAS

Un sistema de bombeo puede definirse como la adición de energía a un fluido para moverse o trasladarse de un punto a otro. Para lograr tal fin, es necesario conocer el tipo de bomba, las condiciones del fluido, entre otros.

Los medios comúnmente utilizados para lograr flujo de fluido, es decir, el bombeo de fluidos, son: gravedad, desplazamiento, fuerza centrífuga, fuerza electromagnética, transferencia de cantidad de movimiento, impulso mecánico o una combinación de los anteriores.

Las bombas son equipos empleados para mover fluidos a través de tuberías mediante diferentes transformaciones de energía. Las bombas son dispositivos que se encargan de transferir energía a la corriente de fluido impulsándolo, desde un estado de baja presión estática a otro de mayor presión. Están compuestas por un elemento rotatorio denominado impulsor, el cual se encuentra dentro de una carcasa llamada voluta. Inicialmente la energía es transmitida como energía mecánica a través de un eje, para luego convertirse en energía hidráulica. El fluido entra axialmente a través del ojo del impulsor, pasando por los canales de éste y suministrándosele energía cinética mediante los álabes que se encuentran en el impulsor para posteriormente, disminuyendo la energía cinética adquirida para convertirse en presión estática. Existen diferentes tipos de bombas y clasificación de ellas, dependiendo del uso. Para esta parte se hará mención y explicación, únicamente de las bombas centrífugas y su funcionamiento.

(Bombas centrífugas. 2007; [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.unet.edu.ve/~maqflu/doc/LAB-1-95.htm>)

2.6.1. Bombas centrífugas:

Como se muestra en la Figura 2.4, es una máquina que consiste en un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una caja, o una cubierta o coraza. Las



paletas imparten energía al fluido. Una bomba centrífuga tiene principalmente, dos partes: un elemento giratorio y un elemento estacionario.

Los componentes básicos de una bomba centrífuga son:

- Impulsor o rodete: que trasmite velocidad o energía cinética al líquido que bombea.
- Eje: conecta el elemento motor con el impulsor y por medio de éste se trasmite la energía desde el motor o elemento accionados de la bomba.
- Carcasa o voluta: su función es la de recoger el líquido que abandona el impulsor a gran velocidad, cambiar la dirección de su movimiento y conducirlo hacia la descarga de la bomba, a través, de la transformación de energía cinética en presión.
- Anillos de desgaste: son elementos reemplazables en las bombas centrífugas que controlan la fuga entre las zonas de alta y de baja presión.
- Cojinetes: componente que soporta al eje y al mismo tiempo disminuye la fricción.
- Sellos mecánicos: elemento de cierre que evitan el contacto del fluido bombeado con la atmósfera

(Bombas centrífugas; 2007. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.unet.edu.ve/~maqflu/doc/LAB-1-95.htm>).

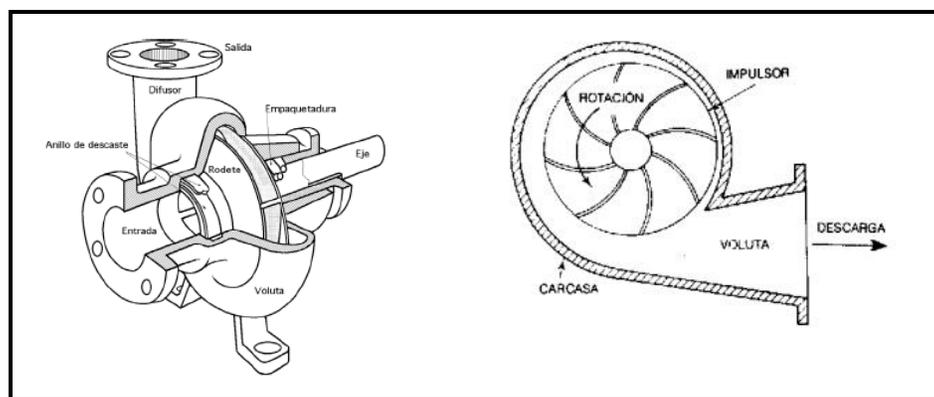


Figura 2.4. Partes de una bomba centrífuga.

Fuente: Gutiérrez, T (2004).



2.6.2. Funcionamiento de una bomba centrífuga

El flujo entra a la bomba a través del centro u ojo del rodete y el fluido gana energía a medida que las paletas del rodete lo transportan hacia fuera en dirección radial. Esta aceleración produce un apreciable aumento de energía de presión y un incremento gradual en el área de flujo de tal manera que la energía cinética a la salida del rodete se convierte en cabezal de presión a la salida.

[Bombas centrífugas; 2007. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.unet.edu.ve/~maqflu/doc/LAB-1-95.htm>).

2.6.3 Arreglos de bombas

⇒ Combinación en serie

Reutilizan cuando el fluido recorre distancias muy largas, para ello se considera ciertas ecuaciones de diseño. Frecuentemente las bombas operan en serie para proporcionar cargas mayores que las bombas individuales. Las cargas de las bombas se suman para dicho arreglo para lograr un alcance de transporte de fluido mayor. Para el cálculo del cabezal, se aplica la ecuación de Bernoulli desde la succión de la bomba 1 hasta la descarga de la bomba 2, incluyendo las pérdidas del tramo.

El caudal total del sistema es dado por la bomba de menor potencia. (Perry; 1992).

⇒ Combinación en paralelo

Las capacidades de las bombas se suman al valor del cabezal del sistema, logrando obtener así el caudal total suministrado. Cada bomba no tiene por que suministrar el mismo caudal, sino que operan en un punto correspondiente a su curva característica al cabezal requerido, el cual será el mismo para cada bomba. (Perry; 1992)

2.7. TRANSFERENCIA DE CALOR

El calor se define como la forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura. Un análisis térmico se interesa en la cantidad de transferencia de calor conforme un sistema pasa por un



proceso, de un estado de equilibrio a otro. La ciencia que trata de la determinación de las velocidades de esa transferencia de energía es la transferencia de calor. La transferencia de energía como calor siempre se produce del medio que tiene la temperatura mas elevada hacia el de temperatura mas baja, y la transferencia se detiene cuando los dos cuerpos tienen la misma temperatura.

2.7.1. Mecanismos de la transferencia de calor

El calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio de temperatura mas elevada hacia el de temperatura mas baja. A continuación se presenta una breve descripción de cada modo.

→ **Conducción.**

En los sólidos, la única forma de transferencia de calor es la conducción. Si se calienta un extremo de una varilla metálica, de forma que aumente su temperatura, el calor se transmite hasta el extremo más frío por conducción. No se comprende en su totalidad el mecanismo exacto de la conducción de calor en los sólidos, pero se cree que se debe, en parte, al movimiento de los electrones libres que transportan energía cuando existe una diferencia de temperatura. Esta teoría explica por qué los buenos conductores eléctricos también tienden a ser buenos conductores del calor. En 1822, el matemático francés Joseph Fourier dio una expresión matemática precisa que hoy se conoce como ley de Fourier de la conducción del calor. Esta ley afirma que la velocidad de conducción de calor a través de un cuerpo por unidad de sección transversal es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo (con el signo cambiado). (Tapia; 2007)

$$q_{\text{cond}} = \frac{A}{\Delta X} \times k \times (T_2 - T_1) \quad (2.8) \quad (\text{Incropera, 1998})$$

Donde:

q_{cond} : Calor perdido por conducción. (kcal/h)



k: conductividad térmica del material (Kcal/hm°C)

A: Área perpendicular al flujo de calor (m²)

Δx: Espesor de superficie (m)

T₁: Temperatura de la superficie interior (°C)

T₂: Temperatura de la superficie exterior (°C)

El factor de proporcionalidad se denomina conductividad térmica del material. Los materiales como el oro, la plata o el cobre tienen conductividades térmicas elevadas y conducen bien el calor, mientras que materiales como el vidrio o el amianto tienen conductividades cientos e incluso miles de veces menores; conducen muy mal el calor, y se conocen como aislantes. En ingeniería resulta necesario conocer la velocidad de conducción del calor a través de un sólido en el que existe una diferencia de temperatura conocida. (Tapia; 2007)

→ Convección.

Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, es casi seguro que se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Si se calienta un líquido o un gas, su densidad (masa por unidad de volumen) suele disminuir. Si el líquido o gas se encuentra en el campo gravitatorio, el fluido más caliente y menos denso asciende, mientras que el fluido más frío y más denso desciende. Este tipo de movimiento, debido exclusivamente a la no uniformidad de la temperatura del fluido, se denomina convección natural. La convección forzada se logra sometiendo el fluido a un gradiente de presiones, con lo que se fuerza su movimiento de acuerdo a las leyes de la mecánica de fluidos.

$$q_{\text{conv}} = h \times A \times (T_w - T_{\infty}) \quad (2.9) \quad (\text{Incropera, 1998})$$

Donde:

q_{conv}: Calor perdido por convección (kcal/h)

h: Coeficiente individual de transferencia de calor (kcal/hm²°C)

T_∞: Temperatura ambiente (°C).



T_w : Temperatura de superficie del objeto ($^{\circ}\text{C}$)

La convección también determina el movimiento de las grandes masas de aire sobre la superficie terrestre, la acción de los vientos, la formación de nubes, las corrientes oceánicas y la transferencia de calor desde el interior del Sol hasta su superficie.

Existe un término relacionado con el concepto antes mencionado, de importante relevancia: Conductividad Térmica de un material, se puede definir como la velocidad de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área por unidad de diferencia de temperatura. La conductividad térmica de un material es una medida de la capacidad del material para conducir calor, Un valor elevado para la conductividad térmica indica que el material es un buen conductor de calor, y un bajo valor podría significar que el material es aislante de calor. (Tapia; 2007)

→ Radiación.

La radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas. Algunos fenómenos de la radiación pueden describirse mediante la teoría de ondas, pero la única explicación general satisfactoria de la radiación electromagnética es la teoría cuántica. Ésta involucra la transferencia de energía radiante de una fuente a un receptor. Parte de la energía absorbe por el receptor y parte es reflejada por él. (Tapia; 2007)

$$q_{\text{rad}} = A \times \sigma \times T_2^4 \quad (2.10) \text{ (Incropera, 1998)}$$

Donde:

q_{rad} : Calor perdido por radiación (kcal/h)

σ : constante de Stefan-Boltzmann ($4,878 \times 10^{-8}$ kcal/hm²°K⁴)



2.7.2. Tipos de calor.

☞ Calor sensible.

Es aquel que recibe un cuerpo sin cambiar su estado físico mientras sube su temperatura. En general, se ha observado experimentalmente, que la cantidad necesaria de calor para calentar o enfriar un cuerpo es directamente proporcional a la masa del cuerpo y el número de grados en que cambia su temperatura. La constante de proporcionalidad recibe el nombre de capacidad calorífica.

La capacidad calorífica a presión constante, está definida como la cantidad de calor requerida para aumentar en un grado la temperatura de la unidad de masa de un cuerpo a presión constante. Pero si el proceso ocurre a volumen constante la constante será: c_v donde es la capacidad calorífica a volumen constante. Las capacidades caloríficas varían con la temperatura y el estado físico de agregación de las sustancias. Este calor se puede representar mediante la siguiente ecuación, (Cabrera y Santander, 2002):

$$q_s = \dot{m}C_p(T_s - T_e) \quad (2.11) \quad (\text{Incropera, 1998})$$

Donde:

q_s : flujo de calor sensible, [kcal/s].

\dot{m} : flujo másico, [kg/s].

C_p : calor específico, [kcal/kg °C].

T_e : temperatura de entrada del fluido, [°C].

☞ Calor latente

Es la energía absorbida por las sustancias al cambiar de estado, de sólido a líquido (calor latente de fusión) o de líquido a gaseoso (calor latente de vaporización). Al cambiar de gaseoso a líquido y de líquido a sólido se devuelve la misma cantidad de energía.

Latente en latín quiere decir *escondido*, y se llama así porque, al no cambiar la temperatura durante el cambio de estado, a pesar de añadir calor, éste se quedaba *escondido*. La idea proviene de la época en la que se creía que el calor era una sustancia fluida denominada Flogisto. Por el contrario, el calor que se aplica cuando la



sustancia no cambia de estado, aumenta la temperatura y se llama calor sensible. La ecuación que representa el cambio por vaporización es la siguiente, (Cabrera y Santander, 2002):

$$q_L = \dot{m} h_{fg} \quad (2.12) \quad (\text{Incropera, 1998})$$

Donde:

q_L : flujo de calor latente, [kcal/h].

h_{fg} : entalpía en mezcla liquido-gas, [kcal/kg].

2.8. EQUIPOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

El desarrollo de los intercambiadores es variado y de una amplia gama de tamaños y tecnología como plantas de potencia de vapor, plantas de procesamiento químico, calefacción y acondicionamiento de aire de edificios, refrigeradores domésticos, radiadores de automóviles, radiadores de vehículos especiales, etc.

En los tipos comunes, tales como intercambiadores de coraza y tubos y los radiadores de automóvil, la transferencia de calor se realiza fundamentalmente por conducción y convección desde un fluido caliente a otro frío que está separado por una pared metálica.

En las calderas y los condensadores, es de fundamental importancia la transferencia de calor por ebullición y condensación.

En ciertos tipos de intercambiadores de calor, como las torres de enfriamiento, el flujo caliente (es decir, el agua) se enfría mezclándola directamente con el fluido frío (es decir, el aire) o sea que el agua se enfría por convección y vaporización al pulverizarla o dejarla caer en una corriente (o tiro) inducida de aire.

En los radiadores de las aplicaciones especiales, el calor sobrante, transportado por el líquido refrigerante, es transmitido por convección y conducción a la superficie de las aletas y de allí por radiación térmica al vacío. En consecuencia el diseño térmico de los intercambiadores es un área en donde tienen numerosas aplicaciones los principios de transferencia de calor. (Delfín, 2006).



2.8.1. Clasificación de los intercambiadores de calor

⇒ Regeneradores.

Los regeneradores son intercambiadores en donde un fluido caliente fluye a través del mismo espacio seguido de uno frío en forma alternada, con tan poca mezcla física como sea posible entre las dos corrientes. La superficie, que alternativamente recibe y luego libera la energía térmica, es muy importante en este dispositivo. Las propiedades del material superficial, junto con las propiedades de flujo y del fluido de las corrientes fluidas, y con la geometría del sistema, son cantidades que deben conocer para analizar o diseñar los regeneradores.

⇒ Intercambiadores de tipo abierto

Como su nombre lo indica, los intercambiadores de calor de tipo abierto son dispositivos en los que las corrientes de fluido de entrada fluyen hacia una cámara abierta, y ocurre una mezcla física completa de las corrientes. Las corrientes caliente y fría que entran por separado a este intercambiador salen mezcladas en una sola. El análisis de los intercambiadores de tipo abierto involucra la ley de la conservación de la masa y la primera ley de la termodinámica; no se necesitan ecuaciones de relación para el análisis o diseño de este tipo de intercambiador.

⇒ Intercambiadores de tipo cerrado o recuperador.

Los intercambiadores de tipo cerrado son aquellos en los cuales ocurre transferencia de calor entre dos corrientes fluidas que no se mezclan o que no tienen contacto entre sí.

Las corrientes de fluido que están involucradas en esa forma están separadas entre sí por una pared de tubo, o por cualquier otra superficie que por estar involucrada en el camino de la transferencia de calor. En consecuencia, la transferencia de calor ocurre por la convección desde el fluido más caliente a la superficie sólida, por conducción a través del sólido y de ahí por convección desde la superficie sólida al fluido más frío. (Delfín; 2006).



2.8.2 Torres de enfriamiento

Las torres de enfriamiento se han utilizado ampliamente para desechar en la atmósfera el calor proveniente de procesos industriales en vez de hacerlo en el agua de un río, un lago o en el océano.

Los tipos más comunes son las torres de enfriamiento por convección natural y por convección forzada, como se muestra en la Figura 2.5. En la torre de enfriamiento por convección natural el agua se pulveriza directamente en la corriente de aire que se mueve a través de la torre de enfriamiento por convección térmica. Al caer, las gotas de agua se enfrían tanto por convección ordinaria como por evaporación. La plataforma de relleno situada dentro de la torre de enfriamiento reduce la velocidad media de caída de las gotas y por tanto aumenta el tiempo de exposición de gotas a la corriente de aire en la torre. En una torre de enfriamiento por convección forzada se pulveriza el agua en una corriente de aire producida por un ventilador, el cual lo hace circular a través de la torre. El ventilador puede estar montado en la parte superior de la torre aspirando así el aire hacia arriba, o puede estar en la base por fuerza de la torre obligando al aire a que fluya directamente hacia dentro.

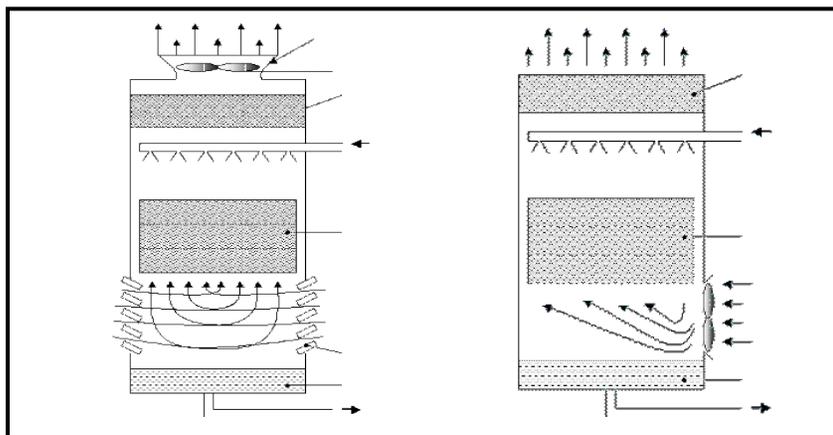


Figura 2.5. Torres de enfriamiento de tiro forzado e inducido.

Fuente: Carpintero y col (2006).

En los procesos de enfriamiento de agua el proceso de transferencia de calor comprende: la transferencia de calor latente debido a la evaporación de una porción



pequeña de agua; y la transferencia de calor sensible debido a la diferencia de temperatura entre el agua y el aire.

La posible eliminación de calor que circula por la torre de enfriamiento depende de la tubería y el contenido de humedad del aire. La temperatura del bulbo húmedo es un indicador del contenido de humedad del aire. Por tanto, esta es la temperatura teórica mas baja a la que puede enfriarse el agua. (Carpintero y col; 2006).

⇔ Rango

Representa la diferencia entre la temperatura del agua de entrada y de salida de la torre de enfriamiento y puede determinarse mediante la siguiente ecuación, (Gonzáles, 2003):

$$R = T_{\text{agua(ent)}} - T_{\text{agua(sal)}} \quad (2.13)$$

Donde:

R: rango de la torre, [°F].

$T_{\text{agua(ent)}}$: temperatura del agua a la entrada de la torre, [°F].

$T_{\text{agua(sal)}}$: temperatura del agua a la salida de la torre, [°F].

⇔ Temperatura de acercamiento

Se define como la diferencia entre la temperatura de salida del agua en al torre y la temperatura de bulbo húmedo del aire. Este parámetro se emplea para el diseño de una torre de enfriamiento, puesto que, la misma no puede enfriar por debajo de l temperatura de bulbo húmedo del aire; (Gonzáles, 2003):

$$T_{\text{Ac}} = T_{\text{agua(sal)}} - T_{\text{BH(ent)}} \quad (2.14)$$

Donde:

T_{Ac} : temperatura de acercamiento, [°F].

$T_{\text{BH(ent)}}$: temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada de la torre, [°F].

⇔ Para diseñar o conocer la operación de un equipo de contacto continuo, es necesario considerar la velocidad de transferencia de masa y el tiempo de contacto entre las fases. Una forma de determinar estos factores, es calculando el número de unidades de transferencia de masa (NUT) y la altura o longitud de una unidad de



transferencia (LUT) en base a los balances de masa y energía. El NUT para la fase gaseosa se define, según Treybal (2002), haciendo un balance diferencial en una zona de la torre, como:

$$NUT_G = \int_{h_{G1}}^{h_{G2}} \frac{dh}{h_L - h_G} \quad (2.15)$$

Donde:

NUT_G : Número de unidades de transferencia individuales con respecto al gas,

h_L : entalpía de la interfase, [BTU/Lb]

h_G : la entalpía de la corriente gaseosa, [BTU/Lb]

⇒ Luego, el calor liberado por el agua se obtiene haciendo uso de la siguiente ecuación.

$$Q_L = L * C_{p_{\text{agua}}} * (T_{\text{agua(ent)}} - T_{\text{agua(sal)}}) \quad (2.16) \quad (\text{Treybal, 2002})$$

Donde:

Q_L : Calor liberado por el agua, [BTU/s].

L : velocidad másica superficial del agua, [lb/pie².h].

⇒ El área transversal del ducto de salida del aire de la torre y de enfriamiento empleando la siguiente ecuación:

$$Ac = \frac{\pi}{4} Do^2 \quad (2.17) \quad (\text{Silva, 1995})$$

Donde:

Ac : área de la sección transversal del ducto de salida del aire de la torre, [pie²].

Do : diámetro interno del ducto de salida del aire de la torre, [pie].

⇒ El flujo másico del aire a la salida de la torre a través de la siguiente expresión:

$$G = \rho_{\text{aire}} * V_{\text{aire}} * Ac \quad (2.18) \quad (\text{Silva, 1995})$$

Donde:

G : flujo másico de aire seco, [lb/s].



V_{aire} : velocidad del aire a la salida de la torre de enfriamiento, [pie/s]

↔ El calor trasferido al aire se obtiene empleando la siguiente ecuación:

$$Q_T = G * (h_{\text{sal}} - h_{\text{ent}}) \quad (2.19) \quad (\text{Treybal, 2002})$$

Donde:

Q_T : calor transferido al aire, [BTU/s].

h_{ent} : entalpía del aire a la entrada de la torre, [BTU/Lb aire seco].

h_{sal} : entalpía del aire a la salida de la torre, [BTU/Lb aire seco].

Los elementos que se consideran primordiales y comunes son, dentro del tema de torres de enfriamiento son: contenedores o estanques de agua fría y caliente (cumplen con la función principal de recolectar el agua circulante en el sistema), el sistema de distribución de agua, ventiladores (succiona el aire que circula por la torre y lo descarga a la atmósfera a través del conducto de salida), motor (accionamiento de los ventiladores de la torre), difusores (permiten la recuperación parcial de la presión dinámica del ventilador, reduciendo el consumo de energía), relleno (representan la superficie de contacto entre el agua y el aire), eliminadores de arrastre (hace que el aire saliente se mueva en tres direcciones diferentes) y las venecianas (regulan el flujo de aire hacia el relleno y eliminan salpicaduras de agua fuera de los confines de la estructura del equipo). (Díaz, Y; 2005).

2.8.3 Torres evaporativas

Son similares a las torres de enfriamiento convencionales con la diferencia que el agua del proceso a enfriar permanece en un circuito cerrado, es decir, no existe evaporación cuando circula a través de la torre.

La forma de lograr esto es haciendo circular el agua del proceso por un haz de tubos que se encuentran en el interior de la torre, a los cuales se rocía agua por medio de aspersores para retirar el calor que trae el agua del proceso, simultáneamente el ventilador de la torre se encarga de eliminar el calor absorbido por el agua utilizada para enfriar los tubos de manera similar a la de una torre convencional.



Como se muestra en la Figura 2.6, el agua utilizada para enfriar los tubos cae en un tanque que se encuentra en la parte inferior de la torre y es bombeada nuevamente hacia los aspersores para realizar la transferencia de calor.

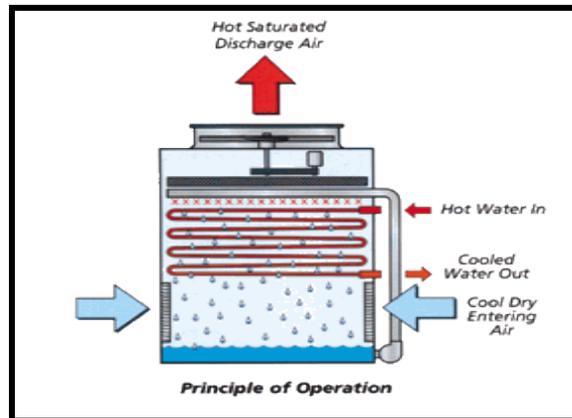


Figura 2.6. Funcionamiento de una torre evaporativa
Fuente: EVAPCO, [Documento en línea]. Disponible en:
http://www.evapco.com/atw_principle.asp

2.8.4 Enfriadores o Chiller

Como se muestra en la Figura 2.7, consiste en una unidad central o más que genera agua a temperaturas bajas, por debajo de la temperatura ambiente, o menores con la adición de compuestos anticongelante como el glicol, la cual es distribuida al proceso por medio de una red de tuberías aisladas.



Figura 2.7. Imagen de un Chiller o Enfriador de agua helada.
Fuente: Enfriador de agua; 2008. [Documento en línea]. Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/Enfriador_de_agua



Están conformados por dos elementos de transferencia de calor: un evaporador y un condensador, además de los elementos clásicos del ciclo de refrigeración (compresor, válvula de expansión, filtros, entre otros), los chiller con unidades que se encargan de enfriar agua para aplicaciones varias. Este proceso se realiza mediante la compresión de un gas refrigerante, el cual sale comprimido de la bomba o compresor, circula a través del condensador manteniendo la presión y bajando la temperatura; luego pasa por la válvula de expansión donde el gas se expande produciendo su enfriamiento, el gas circula dentro de los tubos del evaporados donde se genera la transferencia de con el agua, enfriándola hasta una temperatura muy baja. (Cabrera y Santander, 2002)

2.8.5. Otros equipos de transferencia de calor

➔ **Calderas:** Las calderas de vapor son unas de las primeras aplicaciones de los intercambiadores de calor. Con frecuencia se emplea el término generador de vapor para referirse a las calderas en las que la fuente de calor es una corriente de un flujo caliente en vez de los productos de la combustión a temperatura elevada. (Delfín; 2006).

➔ **Condensadores:** Los condensadores se utilizan en aplicaciones tan variadas como plantas de fuerza de vapor, plantas de proceso químico y plantas eléctricas nucleares para vehículos espaciales. Los tipos principales son los condensadores de superficie, los condensadores de chorro y los condensadores evaporativos. El tipo más común es el condensador de superficie que tiene la ventaja de que el condensado sé recircula a la caldera por medio del sistema de alimentación.

➔ **Intercambiadores de calor de coraza y tubos:** Las unidades conocidas con este nombre están compuestas en esencia por tubos de sección circular montados dentro de una coraza cilíndrica con sus ejes paralelos al aire de la coraza. Los intercambiadores de calor líquido-líquido pertenecen en general a este grupo y también en algunos casos los intercambiadores gas-gas. Existen muchas variedades de este



tipo de intercambiador; las diferencias dependen de la distribución de configuración de flujo y de los aspectos específicos de construcción. La configuración más común de flujo de intercambiadores líquido-líquido de coraza y tubos. Un factor muy importante para determinar el número de pasos del flujo por el lado de los tubos es la caída de presión permisible. El haz de tubos está provisto de deflectores para producir de este modo una distribución uniforme del flujo a través de él. (Delfín; 2006).



III. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En esta sección se describirá detalladamente el proceso de estudio, comenzando desde sus más pequeños detalles hasta los más complejos, describiendo así cada uno de los procesos que conforman la planta de producción de envases plásticos de la Industria Metalgráfica. Haciendo mayor énfasis en un sistema de enfriamiento.

La Industria Metalgráfica se encarga de la fabricación de tapas corona, láminas litografiadas y envases plásticos que demandan el mercado venezolano.

En la planta de producción de plásticos de esta industria, se fabrican entre otras cosas: gaveras, cestas, guacales, pailas y tapas. Para ello se cuenta con distintas redes de máquinas de inyección de distintos modelos, en funcionamiento para este instante de la investigación se tienen: diez (10) Husky, tres (3) Engel, dos (2) Reed y un modelo presente en la planta pero ya no utilizado conocido como Krauss Maffei. (KM).

Esta planta posee, además, dos sistemas de enfriamiento, uno abierto, conformado por torres de enfriamiento de distintos tipos y otro cerrado, compuestos por enfriadores puntuales y centrales. La diferencia básica entre estos dos circuitos, es que en el abierto, el agua que pasa por él, tiene contacto con el ambiente por un instante, al pasar por la torres. Mientras que el fluido del otro circuito siempre esta circulando por una red de tuberías cerradas, sin ningún contacto con el ambiente.

3.1 PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN

En ingeniería, el moldeo por inyección es un proceso semicontinuo que consiste en inyectar un polímero en estado fundido en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado compuerta. En ese molde el material se solidifica, comenzando a cristalizar en polímeros semicristalinos. La pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada.

(Moldeo por inyección; 2008. [Documento en línea]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_por_inyecci%C3%B3n)



Las máquinas que trabajan bajo en funcionamiento de inyección, constan de distintas etapas en su labor, determinadas por las distintas partes básicas que la conforman mostradas en la Figura 3.1, como son: tolva de almacenamiento de resina sólida, cilindro de inyección, tornillo inyector y molde.

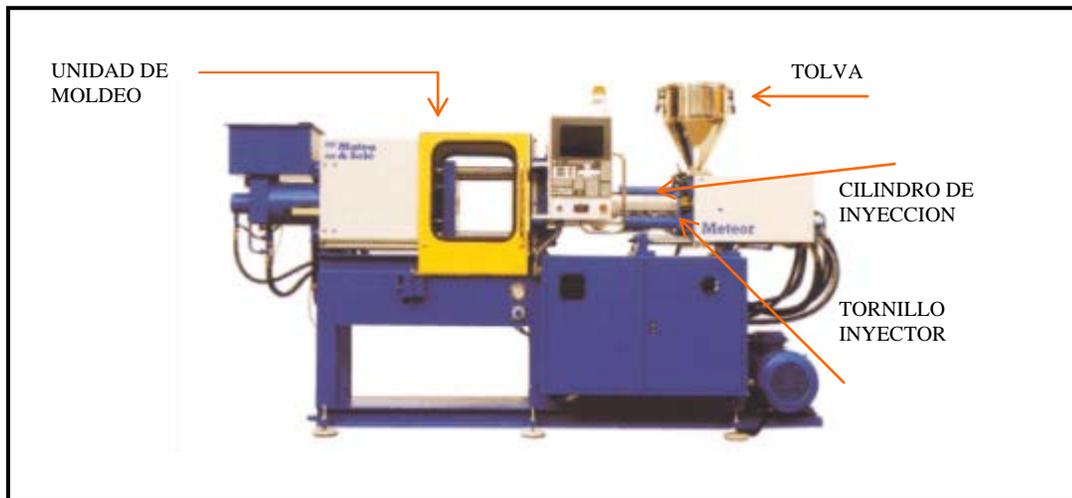


Figura 3.1. Máquina de inyección

Fuente: Maquinas de inyección (2008). [Documento en línea]. Disponible en:
http://www.mateusole.net/castellano/ocasion/ocasion_iny.asp

3.1.1 Alimentación de materia prima.

La Industria Metalgráfica, utiliza una resina de polietileno de alta densidad, que funde entre (200-220) °C, junto con algunos aditivos como colorantes (masterbach), para la producción de sus envases plásticos. La alimentación de esta materia a las máquinas de inyección en algunos casos es manual, debido a que es controlada por un operador, que se encarga de transportar los tambores con dicho material a cada una de las tuberías de alimentación de las máquinas, es decir el operador se encarga de la colocación del material dentro de las tolvas de cada una de las máquinas de inyección. Por otra parte también es utilizado un sistema completamente automatizado, donde las cantidades de materia que entra a las máquinas son controladas por un microprocesador. (Cabrera y Santander; 2002)



3.1.2. Unidad de inyección.

La función principal de la unidad de inyección es la de fundir, mezclar e inyectar el polímero. Para lograr esto se utilizan tornillos de diferentes características según el polímero que se desea fundir. Este tornillo se encuentra en una cámara de temperatura alta y controlada para almacenar la mezcla fundida, allí se acumula el polímero fundido para ser inyectado. Esta cámara actúa como la de un pistón; toda la unidad se comporta como el émbolo que empuja el material. Debido a esto, una parte del tornillo termina por subutilizarse, por lo que se recomiendan cañones largos para procesos de mezclado eficiente. (Peña; 2005)

3.1.3 Unidad de moldeo o cierre.

Al inicializarse la inyección a alta presión, las dos mitades del molde de la unidad de cierre, se cierran para recibir la resina fundida, en este molde se forma la pieza y mediante un complejo sistema de enfriamiento se hace endurecer la misma. El sistema de enfriamiento está unido a ambas mitades mediante muchas válvulas que se abren progresiva y automáticamente una vez que el molde esta lleno de la mezcla fundida, para lograr un enfriamiento uniforme y eficiente. Una vez que la fabricación esta completa, las mitades del molde se separan y permiten la salida de la pieza final, que se traslada por una banda transportadora para almacén.

Una vez que la resina llena el molde, la resina restante se acumula en el cilindro forzando al tornillo a retroceder y posicionarse para el comienzo del siguiente ciclo. Se sincronizan la unidad de inyección y la unidad de moldeo, para obtener ciclos automáticos con lo que se maximiza la producción de las piezas plásticas. (Peña; 2005)

Finalmente la pieza terminada antes de ir a almacén pasa por una etapa de control de calidad, donde distintos operadores verifican la calidad de la pieza, con diferentes pruebas y así mismo verifican la eficaz inyección de la máquina observando una densidad del plástico uniforme, y finalmente retiran los bordes de las piezas o partes que no pertenezcan a la pieza final, este proceso se llama desbarbado.



3.2. SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO.

Como se ha mencionado anteriormente, con el fin de disminuir la temperatura de los moldes y mantener la temperatura del aceite lubricante, utilizado por la unidad de inyección, por debajo de 49°C, se utilizan sistemas de enfriamiento en la planta de producción de plástico. Los sistemas de enfriamiento de la Industria Metalgráfica utilizan agua como fluido refrigerante. El agua utilizada para estos sistemas proviene de un tanque subterráneo. Posteriormente se cuenta con un sistema de suavización del agua, utilizando resinas de intercambio iónico, para eliminar la presencia de iones Ca^{+2} y Mg^{+2} , que puedan causar precipitaciones e incrustaciones a lo largo de la red de tuberías. (Cabrera y Santander, 2002).

A partir de este momento, el sistema se divide en dos partes importantes: una de ellas, el sistema abierto dedicado exclusivamente al enfriamiento o mantenimiento de la temperatura del aceite lubricante de las máquinas de inyección y es utilizado además para la recuperación del refrigerante de los enfriadores, en el condensador de los mismos; la otra parte se dedica al enfriamiento de los moldes de cada una de ellas, mediante un sistema cerrado.

3.2.1 Sistema de enfriamiento abierto.

El aceite lubricante de la unidad de inyección no debe sobrepasar una temperatura de 49°C, por lo tanto este aceite pasa por un intercambiador de calor, para disminuir su temperatura a aproximadamente 45°C, y el fluido utilizado para el enfriamiento, es el agua, proveniente del sistema de enfriamiento abierto, conformado inicialmente por torres evaporativas y sistemas de bombeo. Este sistema también es utilizado para enfriar el agua que utilizan los condensadores presentes en los enfriadores del agua que pertenecen al sistema cerrado, para ello cuentan con torres de enfriamiento convencionales y de igual forma con sistemas de bombeo, para transportar el agua.

El sistema de enfriamiento para el aceite de las máquinas es individual o separado para cada grupo de máquinas de inyección. El grupo de máquinas Engel y



Husky siguen el mismo principio básico, como se muestra en la Figura 3.2, y el grupo de máquinas Reed y KM, otro sistema similar.

☛ Máquinas ENGEL

Según la inspección visual, para el grupo de maquinas Engel, existe un tanque de compensación en donde se almacenan, tanto el agua enfiada que va a las maquinas como, el agua que a pasado por el intercambio térmico. Del tanque de compensación del sistema de enfriamiento de aceite, es succionada el agua, mediante un sistema de bombas, las cuales trasladan el agua hasta los intercambiadores de calor de las máquinas. Luego del intercambio térmico con el aceite, el agua va hacia la torre evaporativa 2, pasando a través de los tubos de la misma, y luego del enfriamiento se dirige hacia el tanque de compensación de almacenamiento de agua de enfriamiento de aceite de este grupo de máquinas.

☛ Máquinas HUSKY

De forma muy similar ocurre para el grupo de máquinas Husky, el agua inicialmente es almacenada en un tanque de compensación de almacenamiento de agua para el sistema de enfriamiento de aceite de este grupo, mediante un sistema de bombeo, el agua recorre un ramal de tuberías que llega a los intercambiadores de las máquinas, luego del intercambio, va hacia la torre evaporativa 1, de igual forma al sistema anterior, pasando por lo tubos; el agua ya enfiada retorna al tanque de compensación.

Las torres evaporativas como ya se explicó anteriormente, funcionan con un sistema de aspersores que rocían agua fría sobre los tubos, para enfriar mediante conducción el agua que paso dentro de los mismos. El agua utilizada, para los aspersores, proviene de una piscina abierta, donde se almacena agua fría proveniente de tres torres de enfriamiento convencionales. Luego de ser utilizada por los aspersores de las torres evaporativas, el agua se envía nuevamente a las torres de enfriamiento convencionales para el despojo térmico.

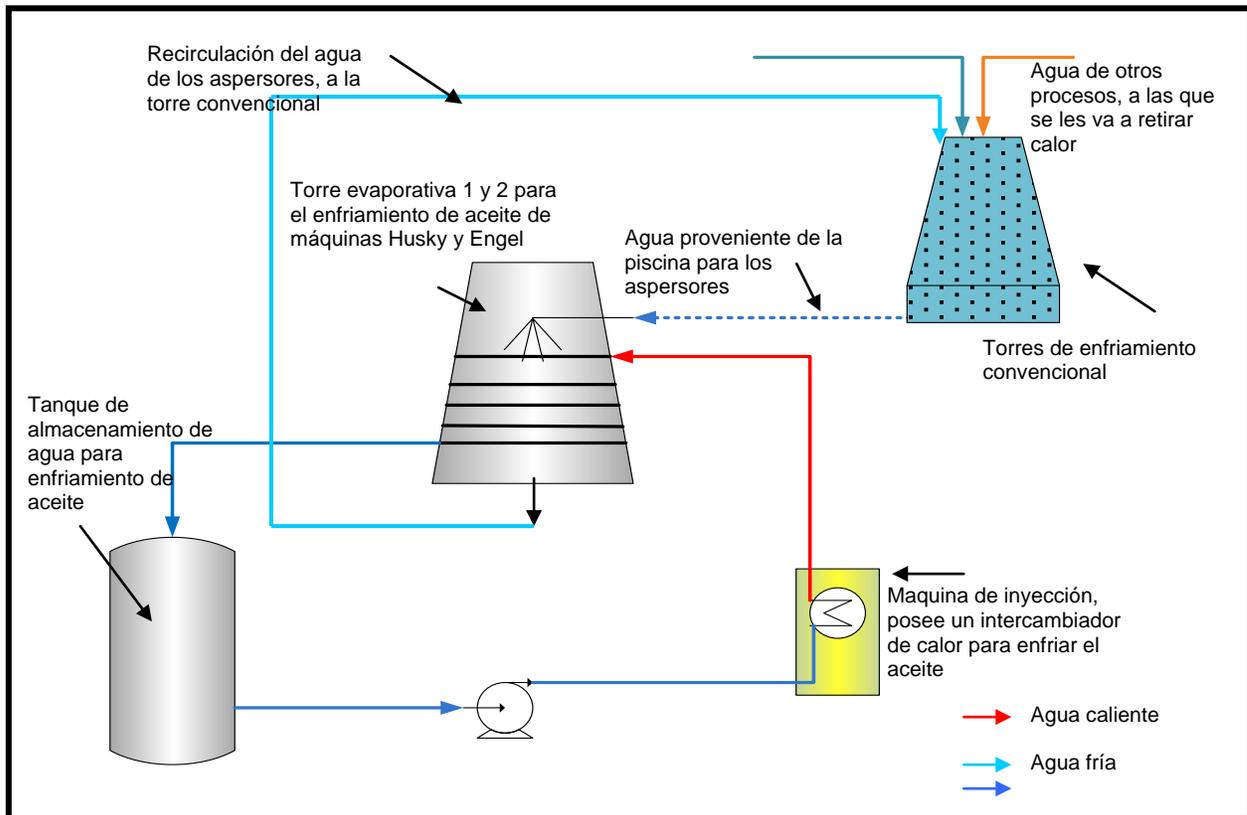


Figura 3.2. Esquema del sistema de enfriamiento del aceite hidráulico de las máquinas Engel y Husky.

Fuente: Industria Metalgráfica S.A.

Otra torre evaporativa (3), dentro del sistema, se encarga de eliminar el calor absorbido por el refrigerante de los enfriadores 4 y 5, del sistema de enfriamiento cerrado. Para ello el agua que pasa por los tubos de la torre, se recircula a través, de los condensadores de éstos enfriadores, y luego de remover la carga térmica, el agua retorna a la torre evaporativa 3. Esta torre de igual forma que las anteriores, utiliza agua de la piscina abierta de las torres convencionales.

☛ Máquinas REED y KM

Para el grupo de máquinas Reed y KM, el agua utilizada para el enfriamiento del aceite hidráulico, se toma directamente de la piscina abierta, mencionada anteriormente, mediante un sistema de bombeo, (individual para cada grupo de máquinas, Reed y KM) se envía ésta al intercambio térmico con el aceite de las



máquinas de cada grupo, luego de ello, retorna a las torres de enfriamiento convencional para retirar el calor absorbido. Debe destacarse que este grupo de máquinas está trabajando de manera muy deficiente, ya que prácticamente solo funciona una sola máquina KM y dos Reed para la fecha del estudio.

Por otra parte, como se muestra en la Figura 3.3, mediante distintos sistema de distribución, el agua de la piscina de las torres de enfriamiento convencionales, es enviada a los siguientes puntos, mediante sistemas de bombeo: una parte de esta agua está destinada a retirar el calor del refrigerante en los condensadores de los enfriadores ecológicos 6 y 7 de las máquinas Engel; otra parte del agua de la piscina se envía a los condensadores de los enfriadores puntuales del grupo de máquinas Husky, etc. (Cabrera y Santander; 2002).

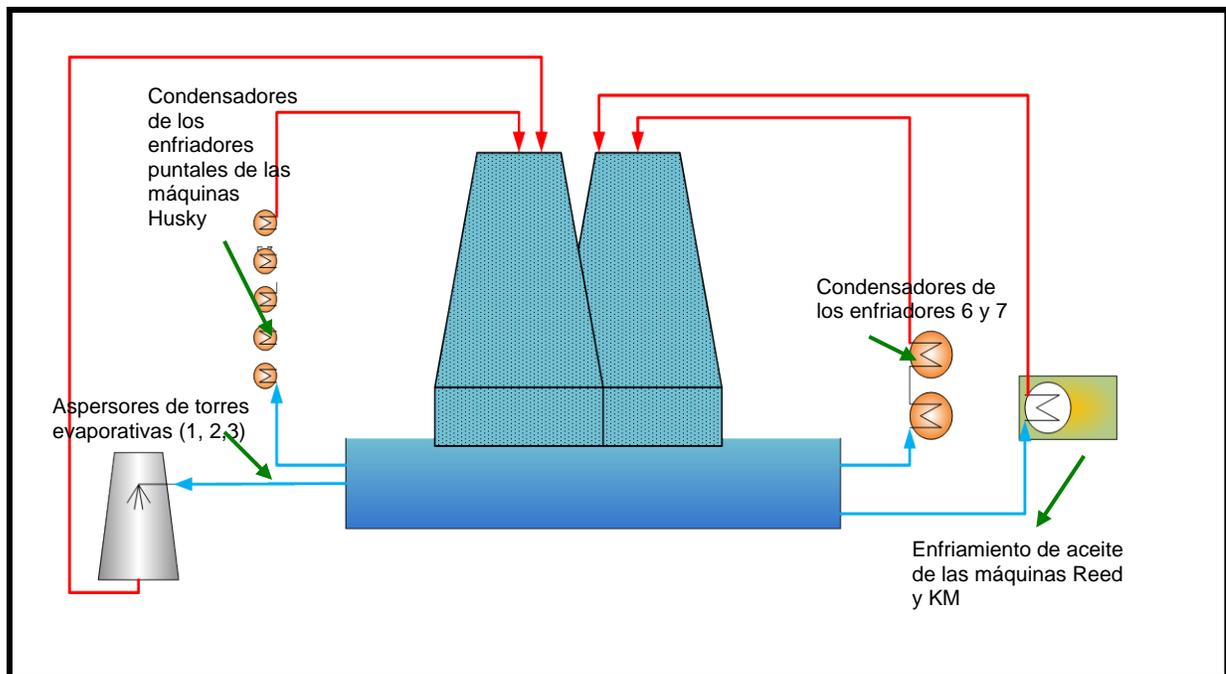


Figura 3.3. Esquema de la distribución del agua almacenada en la piscina abierta de las torres de enfriamiento convencionales, del sistema de enfriamiento abierto.

Fuente: Industria Metalgráfica S.A.



3.2.2 Sistema de enfriamiento cerrado

El sistema cerrado de enfriamiento cuenta básicamente con sistema de bombas, tanques y enfriadores de agua. Se le llama sistema cerrado únicamente por no tener contacto con el ambiente, ya que es un circuito de tuberías, a diferencia del sistema cerrado que tiene contacto con el ambiente.

Como ya se ha mencionado antes, los enfriadores, poseen dos partes importantes: un evaporador, que se encarga del enfriamiento del agua “problema”, mediante el intercambio térmico con un refrigerante y es punto importante de este sistema cerrado. Un condensador agua fría proveniente del sistema abierto, la cual debe retirar el calor generado en el refrigerante durante su paso por el evaporador y el calor generado por la compresión, para luego poder funcionar nuevamente dentro del evaporador retirando calor del agua del proceso. Para entender este funcionamiento, véase la Figura 3.4

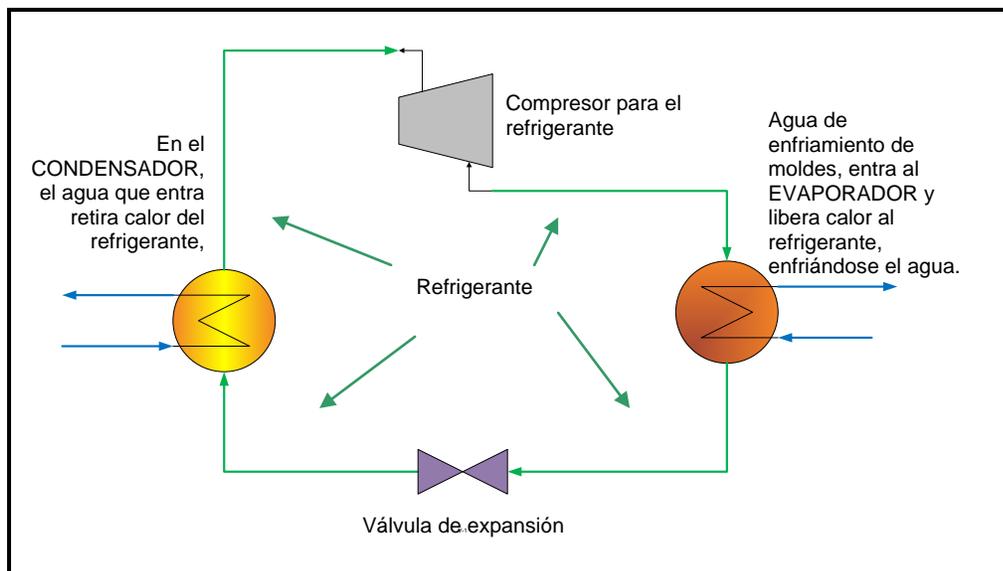


Figura 3.4. Principio básico del funcionamiento de los enfriadores del sistema de enfriamiento de molde de las maquinas de inyección.

Maquinas ENGEL

Para el grupo de las maquinas Engel, el agua de enfriamiento se encuentra en un tanque elevado (tanque enfriamiento Engel). Mediante un sistema de bombeo se



realiza una primera recirculación, las bombas transportan el agua hasta dos enfriadores ecológico 6 y 7, éstos utilizan refrigerante R-134A para despojar el calor del agua en los evaporadores de los mismos, al salir de los dos enfriadores el agua se une en una tubería hasta el tanque Engel nuevamente. De esta manera se va recirculando el agua fría y se mantiene una temperatura dentro del tanque.

Por otra parte, como se muestra en la Figura 3.5, otro sistema de bomba transporta el agua del mismo tanque elevado de enfriamiento de Engel, al enfriamiento de los molde de las máquinas Engel, y luego de pasar por la máquina es recirculado a éste nuevamente.

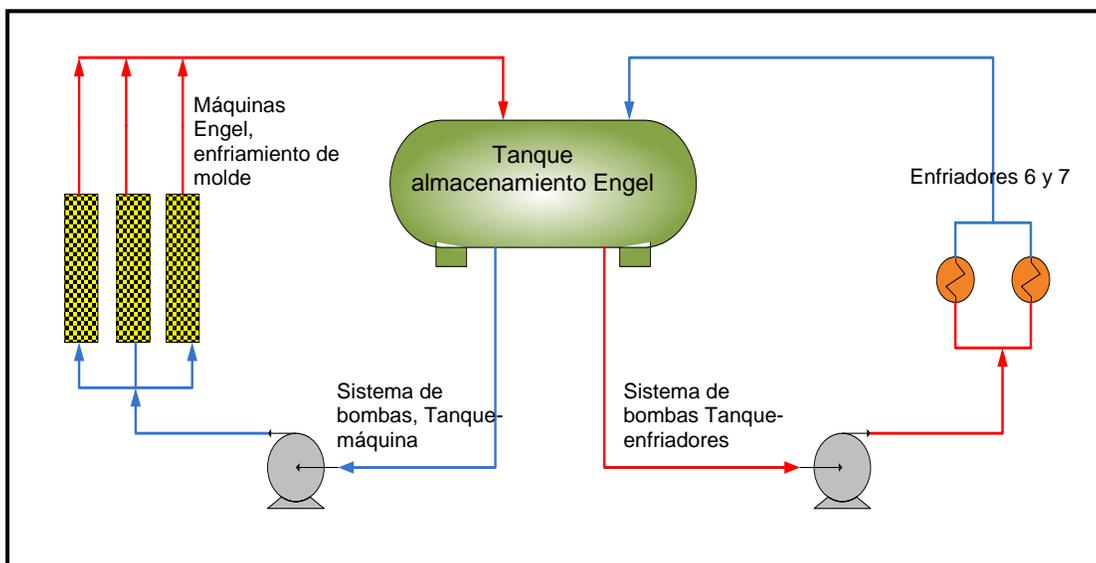


Figura 3.5. Esquema del circuito del sistema de enfriamiento de las máquinas Engel.

Fuente: Industria Metalgráfica S.A.

🔧 Máquinas HUSKY

El grupo de máquinas Husky posee su enfriador puntual e individual, para cada una de las máquinas, cada enfriador contiene un tanque de almacenamiento para el agua fría o a enfriar, es decir, el agua siempre está en recirculación desde el evaporador al molde de las máquinas y viceversa, manteniéndose en constante enfriamiento.



☛ Máquinas REED y KM

Para este grupo de maquinas, se cuenta con dos tanques. Este sistema al igual que el sistema de las máquinas Engel, posee dos recirculaciones desde el tanque Presurizado, como puede observarse en la Figura 3.6. Desde este tanque una primera recirculación, parte de un sistema de bombas que envían el agua hasta el evaporador de los enfriadores 4 y 5, para retirar calor del agua, una vez ocurrida la transferencia de calor, esta retorna al tanque presurizado. Vale destacar, que este tanque, se llama presurizado ya que siempre mantiene una presión casi constante, pues esta lleno hasta el tope.

La otra recirculación ocurre directamente desde el tanque presurizado hacia el enfriamiento del molde de las máquinas de este grupo, una vez que culmina el tiempo de enfriamiento de éstos, el agua va hacia otro tanque llamado tanque horizontal, y de allí nuevamente hacia el tanque presurizado. El sistema de bombas que se encarga de trasladar el agua en esta recirculación, se encuentra después del tanque horizontal, y antes del presurizado. (Cabrera y Santander; 2002)

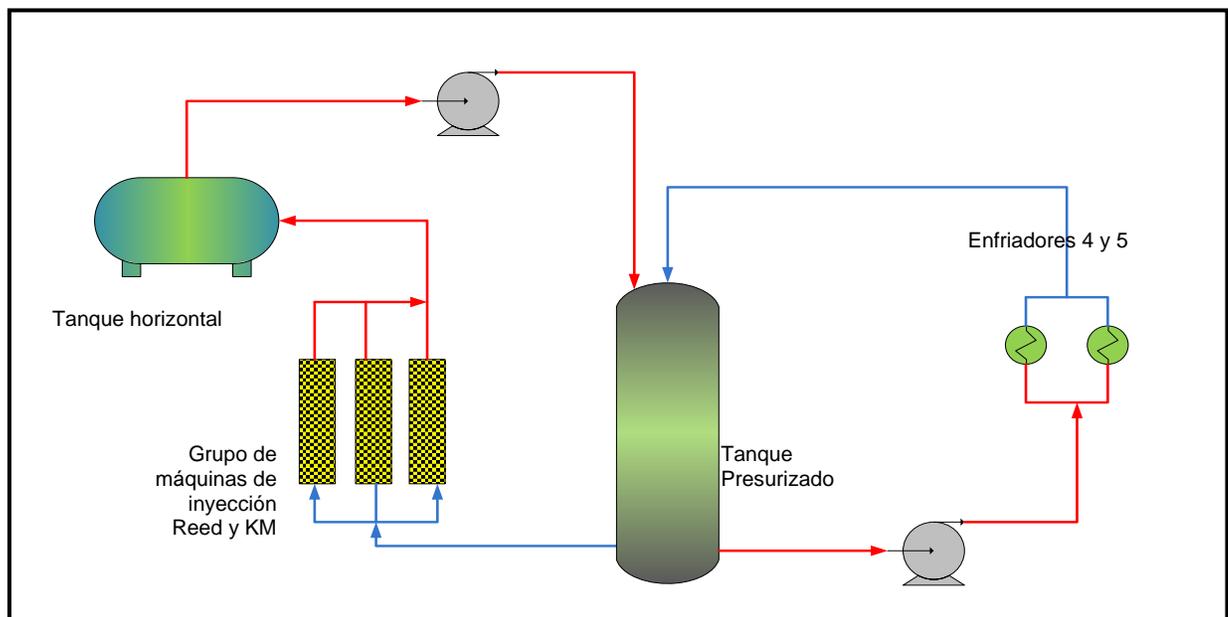


Figura 3.6. Esquema del circuito del sistema de enfriamiento de las máquinas Reed y KM

Fuente: Industria Metalgráfica S.A.



IV. MARCO METODOLÓGICO

El presente capítulo engloba los aspectos correspondientes al tipo de investigación a desarrollar, así como una descripción secuencial y detallada de las herramientas metodológicas a emplear para el logro de los objetivos planteados.

4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación, según la estrategia metodológica, fue una investigación de dos tipos, por una parte es de tipo de campo y por otra experimental; es decir, se aplicará una investigación inicialmente de campo, al evaluar la eficiencia actual del sistema de enfriamiento, debido a que se hará la recolección de datos de la realidad en el momento de operación de las máquinas de inyección de plástico, y de esta forma poder hallar la eficiencia del sistema. Según los objetivos planteados, la investigación también es de tipo experimental, ya que se evaluarán diferentes variables de operación en el sistema de producción o enfriamiento, para hallar las condiciones mas adecuadas que permitan obtener mejor rendimiento.

En cuanto al nivel de profundidad de la investigación, según los objetivos planteados, se tiene que esta investigación fue de tipo diagnóstica, ya que el principio básico de las investigaciones de este tipo es captar y reconocer sobre el terreno los componentes y las relaciones que se establecen en la situación deseada, con el propósito de lograr su comprensión, para proponer algunos cambios. Es exactamente este concepto el que define a la investigación presentada, ya que inicialmente se requiere de un estudio y análisis para hallar las variables del proceso, como lo reflejan los primeros objetivos de esta investigación, posterior a esto se procederá a plantear mejoras para el proceso.

4.2. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.

4.2.1. Diagnóstico de la situación actual de las condiciones de operación de los sistemas de enfriamiento, para determinar el recorrido del fluido, los



equipos que pertenecen al sistema y las variables involucradas durante la operación de las máquinas de inyección de plástico.

Esta etapa comprende un análisis cualitativo y cuantitativo del proceso, con lo que se pretende determinar los elementos que constituyen el sistema de enfriamiento y hallar la eficiencia del sistema, para ello se siguen los siguientes pasos:

➔ **Observación detallada de todo el proceso.**

Con el fin de obtener un conocimiento amplio de todas las fases que intervienen en el proceso de enfriamiento. Se realizaron visitas y recorrido por las diferentes áreas la planta, entrevistas con el personal capacitado y mediante una inspección visual se identificaron todos los equipos que pertenecen al sistema y junto con ellos, el recorrido del flujo del agua de enfriamiento de cada uno de los sistemas. En esta fase también se realizó una recolección visual de los daños del sistema: índice de corrosión, cambios de dirección del fluido, y otras fallas que formen parte del mismo. Los resultados obtenidos de esta observación son reflejados en la siguiente sección 5.1, como parte de los resultados de este primer objetivo.

➔ **Desarrollo de un diagrama de flujo del proceso.**

Una vez conocido cada uno de los equipos pertenecientes al sistema y conocido a exactitud el recorrido de los flujos: entrada y salidas del agua de enfriamiento a cada uno de los equipos, se procedió al diseño de un diagrama de flujo de todo el proceso; mostrados en la sección 3.2 y en la siguiente sección 5.1 anterior como parte de la descripción del proceso. Este diagrama es sencillo, con él se pretende explicar de una forma clara y simple el recorrido de los flujos del sistema y equipos principales del mismo.

➔ **Revisión manual de los equipos.**

Durante el recorrido por la planta, con la ayuda del personal calificado, se procedió a realizar una revisión manual del funcionamiento de cada equipo del sistema, analizar su desempeño y buen funcionamiento dentro del mismo. Es



necesario establecer, en función de la producción, las posibles fallas o desviaciones de operación de cada equipo, como se muestra en el la sección anterior. Posteriormente estos resultados fueron discutidos en la sección 5.1, teniéndose como logro un conocimiento amplio del funcionamiento actual de los equipos.

➔ **Observación y análisis de las hojas de registro de las condiciones de operación del sistema.**

Es necesario conocer las condiciones de diseño y operación que requiere cada uno de los equipos de los sistemas de enfriamiento de las máquinas de producción de plástico, para conocer posibles fallas dentro del funcionamiento de cada uno de ellos, así como del sistema global. Se realizó además de esto una comparación entre lo requerido por cada una de las máquinas o equipos del sistema, y la operación de cada una de ellas en la realidad. Como se observa en la sección 5.1 se logró discutir acerca del funcionamiento de los enfriadores. Dentro de esta actividad también es importante la revisión de material bibliográfico (libros, revistas, documentos en línea, etc.), que sustente el estudio, este apoyo bibliográfico se mostró en la sección 2, de esta investigación.

➔ **Determinación y medición de los caudales del sistema.**

Debido a la visible obstrucción de las tuberías por donde pasa el fluido de enfriamiento y a ser enfriado, no se puede realizar la medición del caudal con un equipo ultrasónico, como se ha realizado en anteriores oportunidades. Por tanto se realizó la medición de éste a través de un método que relaciona la recolección de un volumen o masa, en función de un tiempo de recolección. En donde se utilizaron tobos de 5 galones y un cronometro. Para llevar a cabo esta medición se realiza de acuerdo a los siguientes pasos:

- 1.- Desconectar una manguera de descarga del agua fría de los moldes.
- 2.- Cerrar cada una de las válvulas individuales, de cada manguera.
- 3.- Abrir la válvula de la manguera desconectada en el paso 1.



4.- Llenar un envase de 5 gal, accionando el cronometro justo en el instante que cae la primera gota, y desactivarlo cuando se hayan llenado los 5 gal.

5.- Acoplar nuevamente la manguera a la tubería.

Esta medición se realiza a la descarga de los moldes de una máquina de cada grupo, no se mide en todas la máquinas pues estas no pueden detener su producción por mucho tiempo. Con el volumen de agua dividido entre el tiempo de llenado se halla la relación definida como caudal del agua de enfriamiento del sistema.

Esta variable es de mucha importancia dentro del estudio a realizar, pero debido a las obstrucciones mencionadas y falta de equipos de medición flujo durante el recorrido del sistema, estos valores, en su mayoría, son suministrados por operarios del sistema, tomados en evaluaciones posteriores. Además de esto en algunos casos, es necesario hacer estimaciones o suposiciones de velocidad, en vista de no poseer el valor real de ellos.

➔ **Recolección de datos del sistema.**

Además del caudal existen datos importantes dentro del funcionamiento del sistema, por lo tanto se procede a la recolección de ellos, de forma tabulada. Entre estos datos están: la temperatura que entra y sale de los equipos, para ello se hizo uso de una pistola infrarroja de temperatura marca IOMEGA, la cual se apunta directamente a la tubería de entrada y salida de los equipos.

Además se midieron velocidades y temperatura de salidas del aire en las torres de enfriamiento haciendo uso para ello de un Termo-anemómetro marca ERASMUS EA-200.

Finalmente se tomaron datos de las temperaturas de bulbo seco y húmedo del aire, a la entrada y a la salida, así como las temperaturas de entrada y salida del agua en las torres. Estos datos fueron presentados de manera tabulada, en el apéndice B de este trabajo de grado.



➔ **Cálculo de la eficiencia térmica del sistema.**

Al igual que en las investigaciones antecesoras a estas, por ejemplo Cabrera y Santander (2002), una vez reconocidos los equipos e investigada las diversas ecuaciones, se representaron esquemáticamente los volúmenes de control establecidos para cada balance, enumerando corrientes de entrada y salida, y flujos de calor. Se desarrollan balances de masa y energía en los diferentes volúmenes, aplicando algunos modelos matemáticos.

Para lograr el cálculo de la eficiencia del sistema, se requirió de la utilización de distintos modelos matemáticos y rutas de cálculo, ésta se halló mediante un sistema comparativo entre el calor que absorbe el agua y la capacidad de enfriamiento de los equipos presentes. Esta evaluación debe realizarse de igual forma, tomando en cuenta los diferentes sistemas.

Por una primera parte se debe estimar las cargas térmicas, generadas en los equipos o intercambiadores de calor presente en los distintos sistemas de enfriamiento (intercambiador interno de la máquina para enfriamiento del aceite, intercambio de calor en el molde y condensador de los enfriadores, que son aquellos que le dan calor al agua) se aplicó un balance de energía en cada intercambiador, como se explica en la Figura 4.1, aplicando para ello la ecuación de calor sensible 2.11, mostrada en la sección 2.7.2.

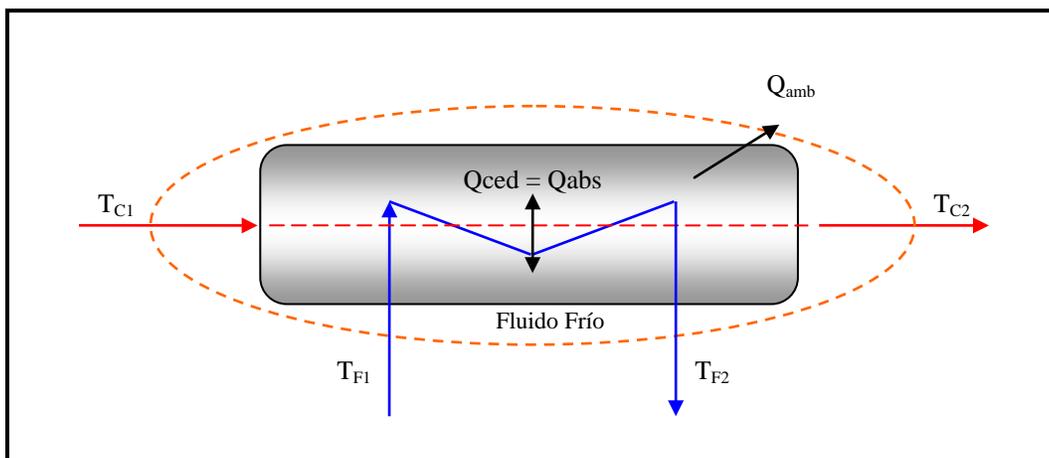


Figura 4.1. Funcionamiento de intercambiador de calor.



Donde:

Q_{amb} : calor liberado al ambiente, [kcal/h].

Q_{ced} : calor liberado por uno de los fluido, [Kcal/h].

Q_{abs} : calor absorbido por uno de los fluidos, [Kcal/h].

T_F : temperatura del fluido frio, [°C].

T_c : temperatura del fluido caliente, [°C].

1 y 2: subíndices de entrada y salida respectivamente.

Para esta evaluación, se hace despreciable el calor liberado al ambiente, en el caso de los enfriadores de aceite, el agua es el fluido frio que absorberá o removerá el calor del aceite, por lo tanto: $T_{F1} < T_{F2}$ y $T_{C1} > T_{C2}$. Para los condensadores de los enfriadores ocurre de igual forma, pero el fluido a enfriar o fluido caliente, será el refrigerante del equipo enfriador, y el agua el fluido frio, que de igual manera removerá calor. Finalmente en los evaporadores el agua será el fluido caliente que libera calor al refrigerante, para enfriarse. Manteniéndose de igual forma la relación $T_{F1} < T_{F2}$ y $T_{C1} > T_{C2}$, ya que todos los casos lo que se quiere es que el fluido caliente sea cual sea, se enfríe.

Para este caso, es necesario tener al menos las temperaturas de entrada y salida de alguno de los dos fluidos, la capacidad calorífica y el flujo másico del mismo.

El flujo másico, se halló mediante una relación del caudal con la densidad del fluido, a través de la ecuación 4.1. En algunos casos, no es posible la medición del caudal o velocidad de flujo, debido a varios factores, por lo tanto se utilizan, datos suministrados por los operarios de las máquinas, de evaluaciones anteriores.

$$\dot{m}_{fluido} = \Phi_{fluido} * \rho \quad (4.1) \quad (Propia)$$

Donde:

\dot{m}_{fluido} : flujo másico del fluido, [kg/s].

Φ : caudal del fluido, [m³/s].

Luego de hallar la carga térmica de cada uno de los equipos, se agrupan cada uno de ellos por sistema al cual pertenecen, y la sumatoria de cada uno de los calores



liberados, proporciona el valor del calor generado dentro del sistema, y que debe ser removido por su sistema de enfriamiento correspondiente y destinado para ello. Por ejemplo, en el caso de los moldes, se reanalizó el mismo balance anterior a cada uno, y el calor liberado de los moldes al agua debe ser removido por el evaporador. Otro ejemplo sería en el caso del enfriamiento de aceite, se determinó si la torre evaporativa (por ejemplo: torre 2), puede enfriar la carga térmica generada por los calores de todos los intercambiadores de las máquinas Engel.

Es por lo anterior, que se procede, entonces, a determinar en una segunda parte, la capacidad disponible de enfriamiento de los equipos. Los equipos encargados del enfriamiento de ambos sistemas son, las torres de enfriamiento evaporativas y convencionales, y los evaporadores de los enfriadores. En los evaporadores la capacidad de enfriamiento se determina de igual forma que una carga térmica, que ahora es liberada por el agua. Para el caso de enfriamiento de aceites, se determinó la capacidad de enfriamiento de las torres evaporativas; la torre 2 para el caso del sistema Engel, de igual forma para el grupo de máquinas Husky, haciendo un estudio en la torre 1. Para el enfriamiento del refrigerante en los condensadores de los enfriadores 4 y 5, es utilizado el enfriamiento de la torre evaporativa 3, por tanto, se realizó el mismo estudio para esto.

Para el cálculo de la capacidad de enfriamiento de las torres de enfriamiento tanto evaporativas como convencionales, se requirió la recolección de datos de temperatura de bulbo húmedo y seco del aire, así como de entrada y salida del agua, como se mencionó anteriormente. Además de esto se midió la velocidad de salida del aire de las torres, mediante la utilización de un Termo-Anemómetro, como se mencionó anteriormente. Según Díaz (2005) y Van Ness (1993), se aplicó además, la siguiente ruta de cálculo, con los siguientes modelos matemáticos, para el cálculo de la capacidad de enfriamiento de las torres de enfriamiento:

1.- Presión parcial del agua.

$$P_{\text{agua}}^o = \frac{P_{\text{amb}} * H_s}{1 + H_s} \quad (4.2)$$



Donde:

P_{agua}^0 : presión parcial del agua, [atm].

P_{amb} : presión ambiente, [atm].

Hs: humedad a la salida, [kg H₂O/Kg aire seco].

2.- Presión parcial del aire.

$$P_{\text{aire}}^0 = P_{\text{amb}} - P_{\text{agua}}^0 \quad (4.3)$$

Donde:

P_{aire}^0 : presión parcial del aire, [atm].

3.- Peso molecular de la mezcla.

$$PM_M = \frac{1}{P_{\text{amb}}} * (P_{\text{agua}}^0 * PM_{\text{agua}} + P_{\text{aire}}^0 * PM_{\text{aire}}) \quad (4.4)$$

Donde:

PM_M : peso molecular de la mezcla.

PM_{agua} : peso molecular del agua.

PM_{aire} : peso molecular del aire.

4.- Densidad de la mezcla

$$\rho_M = \frac{P_{\text{amb}} * PM}{R * T_{\text{BS1}}} \quad (4.5)$$

Donde:

ρ_M : densidad de la mezcla, [kg/m³].

R: constante universal de los gases, [bar m³/Kgmol K]

T_{BS1} : temperatura de bulbo seco a la salida, [K]

5.- Flujo de aire húmedo.

$$G_H = v_{\text{aire}} * \rho_M * A_v \quad (4.6)$$

Donde:



G_H : flujo de aire húmedo, [Kg/h].

V_{aire} : velocidad del aire, [m/s].

A_v : area del ventilador, [m²].

6.- Flujo de aire seco.

$$G_s = \frac{G_H}{1 + H_s} \quad (4.7)$$

Donde:

G_s : flujo de aire seco, [kg/h].

7.- Calor por difusión

$$q_d = G_s * (H_s - H_E) * hfg \quad (4.8)$$

Donde:

q_d : calor trasferido por difusión, [kcal/h].

H_E : humedad absoluta del aire a la entrada de la torre, [kg H₂O/kg as].

hfg : entalpía de vaporización del agua, [kcal/kg].

8.- Capacidad calorífica del aire

$$C_{p_{aire}} = [28,94 + 0,004147 * T_{bs} + 0,000003191 * T_{bs}^2 - 0,000000001965T_{bs}^3] * 8,2414 \quad (3.9)$$

Donde:

$C_{p_{aire}}$: capacidad calorífica del aire, [cal/kg.°C].

T_{bs} : temperatura promedio del aire entre entrada y salida del bulbo seco, °C

9.- Calor transferido por convección

$$q_c = G_s * C_{p_{aire}} * (T_{b_{s1}} - T_{b_{s2}}) \quad (4.9)$$

Donde:

q_c : calor transferido por convección, [kcal/h].

$T_{b_{s1}}$: temperatura de bulbo seco del aire a la entrada de la torre, [°C]



10.- Capacidad de enfriamiento de una torre

$$q_{\text{Torre}} = q_d + q_c \quad (4.10)$$

Donde:

$q_{\text{T torre}}$: calor total transferido en la torre de enfriamiento, [kcal/h].

Para el cálculo de la capacidad de enfriamiento de las torres evaporativas, se deben tener los siguientes datos: temperaturas de bulbo húmedo y seco de la aire a la entrada y salida, temperatura del agua de los aspersores a la entrada y salida de la torre, y la temperatura de entrada y salida del agua por los tubos, flujo de agua que llega a misma por los tubos (para este valor se asume, que el flujo o caudal que va por los tubos de la torres, es igual al flujo de agua de enfriamiento de aceite, ya que es un circuito cerrado). Para todos los casos, se sabe que los caudales q recorren las tuberías se ven alterados debido a las obstrucciones y cambios de dirección y otros aspectos, pero es difícil determinar específicamente cual es le la variación del mismo. Por tanto como se dijo, se asumió que el caudal que recorre por cada sistema sea cerrado o abierto es constante de un punto a otro. Para realizar los cálculos correspondientes se realizó el siguiente balance de energía, mostrado en la Figura 4.2, para hallar la capacidad de enfriamiento, los resultados obtenidos de este balance se encuentra en la sección 5.1

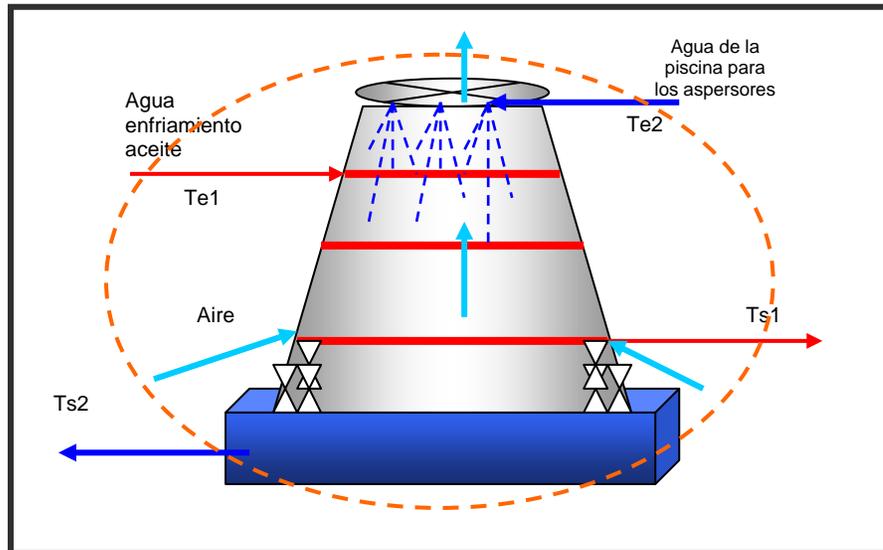


Figura 4.2. Balance en las torres evaporativas.

Fuente: Observación directa de la planta de la Industria Metalgráfica S.A.

Como se puede ver en la figura anterior dentro de estas torres existen tres tipos de calores, el calor por difusión, convección y un calor dentro de los tubos que puede definirse como un calor sensible. El agua que pasa por los tubos debe remover el calor absorbido en el proceso e enfriamiento de aceite, es decir, el calor sensible calculado en los tubos (realizado con un intercambiador común). Se refiere a la capacidad de enfriamiento con respecto a la carga térmica generada por el agua y el aceite. A su vez la sumatoria del calor por difusión y convección, es igual a la capacidad enfriadora de esa parte de la torre para remover la carga energética generada en los tubos.

Además de esto, esta última capacidad de enfriamiento, a su vez es una carga térmica que debe remover la torre convencional del sistema abierto, ya que el agua recogida en el tanque de la torre evaporativa se dirige hacia la torre convencional.

Para determinar la eficiencia de estos sistemas, se compara la demanda de calor con la capacidad de enfriamiento. Si los sistemas son eficientes, la capacidad de enfriamiento de los equipos debe ser igual o mayor que el calor a remover del agua, determinado principalmente por la demanda energética. En la Tabla 4.1 se muestran los



equipos que generan carga térmica y su equipo o sistema al cual corresponde retirar o enfriar esta carga.

Tabla 4.1. Relación de demanda energética con los equipos correspondientes al enfriamiento.

Equipos que retiran calor del agua	Equipos que generan demanda energética
Evaporadores de los enfriadores ecológicos 6 y 7	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Intercambio de calor en el molde de las máquinas Engel 11. ☞ Intercambio de calor en el molde de las máquinas Engel 12. ☞ Intercambio de calor en el molde de las máquinas Engel 15.
Evaporadores de los enfriadores 4 y 5	☞ Intercambio de calor en el molde de de dos máquinas de del grupo Reed y KM.
Evaporador de los enfriadores puntuales	☞ Intercambio de calor en el molde de cada una de las maquinas Husky
Torre Evaporativa 1	☞ Intercambio de calor agua-aceite de las máquinas Husky.
Torre Evaporativa 2	☞ Intercambio de calor aceite-agua de las máquinas Engel.
Torre Evaporativa 3	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Intercambio condensador del enfriador 4. ☞ Intercambio condensador del enfriador 5.
Torres de enfriamiento convencionales (2) (piscina abierta)	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Intercambio condensador del enfriadores 6 y 7. ☞ Intercambio condensador enfriadores puntuales. ☞ Intercambio aceite-agua, maquinas Reed. ☞ Intercambio en aspersores de las tres (3) torres evaporativas



4.2.2. Análisis de variables y su impacto en el sistema de producción, con el fin de reconocer aquellas que posean un impacto negativo en el proceso.

En esta fase se buscó dar respuesta de las posibles causas que afectan el funcionamiento del sistema de enfriamiento y que ejercen efectos negativos sobre los diferentes procesos de intercambio térmico. Para obtener las variables críticas se identifican aquellos parámetros de los cuales depende el sistema de enfriamiento y que por lo tanto, deben ser estrictamente controlados, para ello se siguieron las siguientes actividades, que permiten elaborar una lista de variables y consecuencias de las mismas. Los resultado de esta fase, fueron reportados en la sección 5.2, de esta investigación.

➔ Identificación de todas las posibles variables que afectan el proceso enfriamiento.

Mediante una tormenta de ideas mostrada en la sección 5.2, como resultado de este segundo objetivo, se reconocieron una extensa gama de factores que inciden de manera negativa en el sistema de enfriamiento, a fin de facilitar la estructuración de los mismos en futura identificación de opciones de mejora. Se determinaron las fallas existentes en las redes de tuberías: válvulas obstruidas, cambios de dirección bruscos, etc. es necesario definir los factores o agentes generales que dan origen al problema que se quiere analizar y que hacen que se presente de una manera determinada.

➔ Desarrollo del diagrama causa-efecto.

Cuando el objetivo de aprendizaje es que los estudiantes descubran las causas de un problema o de un suceso, o las relaciones causales entre dos o más fenómenos, el organizador gráfico ideal es un Diagrama Causa-Efecto, este fue desarrollado en la sección 5.2.

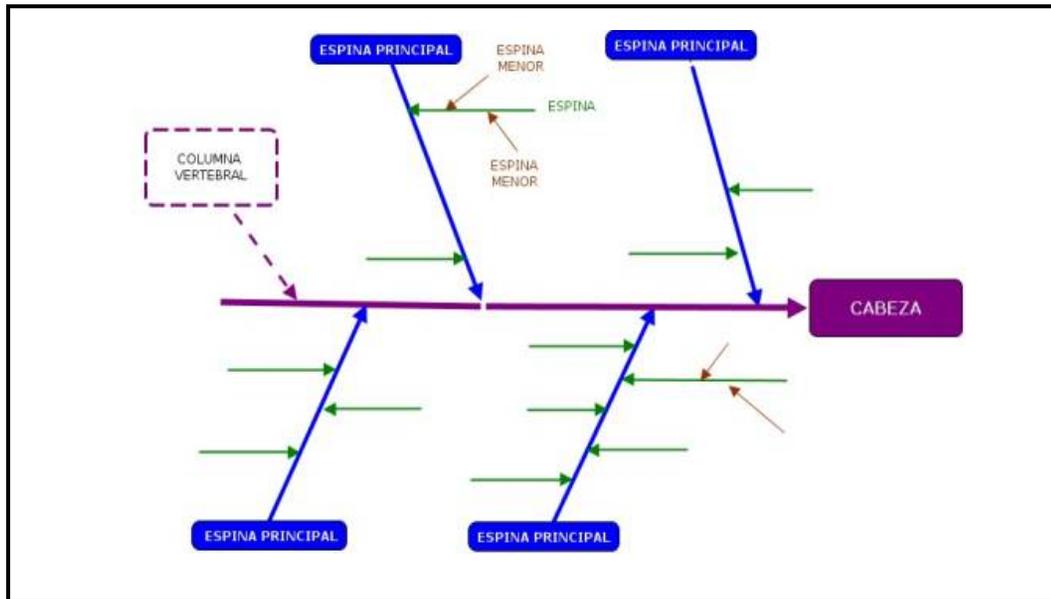


Figura 4.3. Partes de un Diagrama Causa-Efecto
Fuente: EDUTEKA (2006). [En línea]. Disponible en:
<http://www.eduteka.org/DiagramaCausaEfecto.php>

Se realizó una investigación bibliográfica acerca de esta herramienta. Existen diferentes métodos para la agrupación de variables, se selecciona el método de las 4M's, que consistió en agrupar las causas, en variables cuatro (4) variables que comiencen por la letra eme (M), debido a que éste se adapta a procesos que no se conocen con detalle. El esquema de este diagrama es mostrado en la Figura anterior 4.3. Para el desarrollo del mismo, se siguen los siguientes pasos:

1.- Se identifica el problema: Éste debe plantearse de manera específica y concreta para que el análisis de las causas se oriente correctamente y se eviten confusiones. Una vez el problema se delimite correctamente, debe escribirse con una frase corta y sencilla, en el recuadro principal. Para este caso particular, el problema ya se ha planteado al inicio de esta investigación, por lo tanto se estudiarán las causas que afecten: “La eficiencia del sistema de Enfriamiento”.

2.- Identificar las principales categorías dentro de las cuales pueden clasificarse las causas del problema: Una vez realizada la tormenta de ideas,



mencionada anteriormente, se procede a agrupar las variables por categorías importantes o comunes. Cada categoría que se identifique debe ubicarse independientemente en cada una de las espinas principales. En este caso se pueden definir algunas categorías, entre otras, como ejemplo: maquinarias, materia prima, mano de obra, etc.

3.- Identificar las causas: en la tormenta de ideas, de igual forma ya se han especificado las causas o variables, de una manera desordenada, en el paso anterior se procedió a organizarlas y separarlas por categorías. Seguido a esto teniendo en cuenta las categorías encontradas, se identifican las causas del problema. Éstas son por lo regular, aspectos específicos de cada una de las categorías que, al estar presentes de una u otra manera, generan el problema. Las causas que se identifiquen se deben ubicar en las espinas, Si una o más de las causas identificadas es muy compleja, ésta puede descomponerse en subcausas. Éstas últimas se ubican en las espinas menores, que a su vez confluyen en la espina correspondiente de la causa principal. Entre ellas se pueden mencionar, por ejemplo: Válvulas, que fallan por obstrucciones o mal diseño, tuberías que fallan por incrustaciones, caudal, temperatura, etc.

➔ **Análisis cualitativo de cada una de las variables.**

Cuando el Diagrama ya esté finalizado, se discutió y analizó, como se muestra en la sección siguiente. El análisis se refiere a una descripción detallada del porque se cree que afecta la eficiencia del sistema, basada en la realidad. La discusión debe estar dirigida a identificar la(s) causa(s) más probable(s), y a generar, si es necesario, posibles planes de acción.

➔ **Selección de las variables críticas más influyentes.**

Una vez descrita cada variable se seleccionó aquellas que tengan un alto impacto dentro de la variación o falla del sistema, esta debe ser seleccionada basada en algunos parámetros. Esto se realiza con una matriz de selección, tal como se muestra en la Tabla 4.2, en la cual se escribieron y enumeraron las causas a ser ponderadas dentro de la matriz. Se definieron los efectos no deseados, para ello debe



hacerse un análisis entre los efectos mas ocurrentes y mas importantes, no deseados dentro de la producción, por ejemplo, se establecieron: el funcionamiento inadecuado del sistema de enfriamiento, funcionamiento inadecuado de las maquinas de inyección de plástico, producto final defectuoso, parada parcial de la producción y parada total de la producción, etc. Establecer una escala de valoración que exprese el grado de impacto sobre los efectos no deseados y se asigna un valor de la misma a cada causa, para este caso se determina: 1-impacto mínimo... 5-impacto máximo. (Morales y Rodríguez; 2007)

Tabla 4.2 Matriz causa-efecto, para la selección de la variable mas influyente. **(MODELO)**

Fuente: Morales y Rodríguez, (2007).

Causas	Efectos			Totales
	E1 (% ₁)	E2 (% ₂)	E3 (% ₃)	$\sum(Pts_n * \%_n)$
	Pts ₁	Pts ₂	Pts ₃	

➔ **Establecimiento de las variables más importantes.**

Como se muestra en la sección siguiente, se determinó la ponderación de cada causa anterior, en base al total de la sumatoria de la valoración de los efectos. Las causas que presenten mayor ponderación, son determinadas como las más importantes dentro del proceso, y son aquellas que merecen alto interés de estudio y/o modificación. Esto fue discutido en la sección 5.2.

3.2.3. Propuesta de alternativa de mejora con la finalidad de seleccionar la más adecuada para el aumento de la eficiencia del sistema actual.

El objetivo de esta etapa consistió en establecer las propuestas que proporcionen mejoras en el sistema de enfriamiento, disminuyendo en gran medida los efectos no deseados que fueron analizados previamente.



➔ **Análisis de los resultados obtenidos en la evaluación del sistema de enfriamiento.**

Como ya ha sido discutido, se analizaron aparte de las causas, los resultados cuantificados del sistema, mostrados en el apéndice C, como tablas de resultados y los cuales fueron discutidos en la sección 5.1, se evaluaron las posibles mejoras en esos resultados. Se realizó un análisis de las condiciones requeridas por cada equipo y las obtenidas en cálculos previos.

➔ **Discusión de posibles alternativas de mejora bajo el asesoramiento de personal calificado.**

Se procedió a arrojar posibles alternativas dentro del sistema, discutiendo tanto con el personal que labora en la empresa y conoce a exactitud el sistema, como también con los profesores o tutores de la investigación, que con conocimiento de transferencia de calor y procesos ayuden a implantar posibles mejoras, estas alternativas se muestran en la sección 5.3, arrojando una alternativa para cada uno de los sistemas.

➔ **Generación de alternativas de mejora con amplia posibilidad de ejecución.**

Según Díaz (2005), partiendo de las causas reales identificadas en objetivos anteriores, se realizó una investigación de las nuevas tecnologías en el campo de sistema de enfriamiento, mediante investigaciones o cotizaciones de algunas compañías, catálogos o páginas Web. Así mismo se fijaron posibles mejoras de elaboración probable dentro del sistema. Se analizaron las ventajas y desventajas de la alternativa. Se realizó una evaluación cuantitativa que mejore los resultados obtenidos en el primer objetivo, en cuanto a eficiencia, realizando nuevos balances de energía, cálculos de nuevas cargas térmicas, etc.



➔ **Desarrollo de una matriz de ponderación para la selección alternativa más adecuada.**

Luego de arrojar posibles alternativas de mejora, en la sección 5.3 se realizó una comparación, en una matriz, estableciendo criterios como: economía, factibilidad técnica, operabilidad y seguridad, entre otros. Igual que el caso anterior, cada criterio tendrá un porcentaje de importancia, y la sumatoria de todos ellos debe ser iguala 100. Luego se asigna una puntuación del 1-5, para este caso, a cada criterio con respecto a las alternativas propuestas; esta puntuación se multiplica con la ponderación del respectivo criterio. La alternativa seleccionada es la que tenga mayor puntuación del producto anterior. La alternativa seleccionada fue mostrada en la sección 5.3.

4.2.4. Propuesta de un rediseño al sistema de enfriamiento en el cual se involucre la alternativa seleccionada.

A través de la evaluación de la propuesta seleccionada y el establecimiento de variables de interés a modificar, se procedió a introducir esta propuesta en los procesos, con el fin de obtener un esquema del rediseño deseado, para el logro de esto:

➔ **Estudio detallado de las principales características de la propuesta seleccionada.**

Se consideran ciertos aspectos como: ubicación, reestructuración de la red de tuberías, condiciones de operación, etc.

➔ **Definición de los parámetros de diseño de los equipos que conforman el sistema planteado.**

Mediante un nuevo balance de energía y aplicación de modelos matemáticos se determinan las nuevas condiciones mejoradas de operación.



➔ **Diseño de las condiciones de operación que debe mantener el sistema**

Una vez que se hayan determinado las condiciones de operación óptimas para mejora del sistema, se reestructuran y adaptan las nuevas variables del sistema, diseñando para ello los mejores equipos o accesorios: como bombas, diámetros de tuberías, etc.

➔ **Elaboración de los nuevos diagramas de instrumentación y tuberías, tomando en cuenta la reestructuración alternativa.**

Mediante la elaboración de un nuevo diagrama de flujo, se realizó un esquema con la nueva configuración del sistema, mostrado en la sección 5.4, modificando y señalando específicamente aquellos cambios propuestos, (tuberías, bombas, enfriadores, etc.). Con el fin de mostrar el nuevo sistema mejorado y de mayor eficiencia.

4.2.5. Determinación de la factibilidad económica de la propuesta, para obtener una evaluación económica de su aplicación para la empresa.

Esta fase se fundamenta en la introducción de criterios de rentabilidad económica que permitieron establecer si la propuesta es rentable o no, basada en la producción de envases plásticos.

Para la evaluación de la rentabilidad de la alternativa, se establecen:

➔ **Costo de los equipos.**

➔ **Costos generados al aplicar los cambios de las alternativas generadas.**

➔ **Costos operacionales.**

Según Cabrera y Santander (2002), luego de obtener estos costos asociados a la alternativa seleccionada, se realiza una evaluación de rentabilidad del proyecto, utilizando criterios asociados a este tipo de evaluación como: valor actual neto y tasa interna de retorno. Es necesario determinar un plan de producción de la planta de plásticos en un periodo de tiempo, el cual se basa en los datos suministrados por



operarios de la planta en cuanto a capacidad de las máquinas y estadísticas de la empresa. Junto con esto, se calculan los flujos monetarios para cada año, allí se consideran los costos operacionales y la inversión inicial, todos los costos asociados y la depreciación de los equipos, etc., se determinan los costos de producción para las condiciones futuras.

Para el flujo monetario se tiene:

$$F_t = CF_t + C_{opt} \quad (4.11)$$

Donde:

F_t : flujo monetario, [US \$].

CF_t : capital fijo, [US \$].

C_{opt} : costos operacionales, [US \$/año].

Posteriormente se determinó el valor actual neto y la tasa interna de retorno del proyecto con la utilización de una hoja de cálculo desarrollada en Excel, el cual calcula directamente estos valores, a partir de los calculados anteriormente. El primero de estos indicadores representa la rentabilidad de un proyecto en forma de una cantidad de dinero en el presente, que es equivalente a los flujos monetarios netos del proyecto a una determinada tasa mínima de rendimiento. (Morales y Rodríguez; 2007).

Estos resultados son mostrados y discutidos en la sección siguiente, mostrando la factibilidad de la propuesta, además el cálculo realizado se muestra en el CD anexo a este trabajo.



V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados y discusión de cada uno de los objetivos planteados, para el mejoramiento de las condiciones de los sistemas de enfriamiento, así como las posibles causas que justifiquen el comportamiento de los equipos, además del planteamiento y la selección de las distintas alternativas de solución.

5.1. Diagnóstico de la situación actual de las condiciones de operación de los sistemas de enfriamiento, para determinar el recorrido del fluido, los equipos que pertenecen al sistema y las variables involucradas durante la operación de las máquinas de inyección de plástico.

→ Inspección visual, determinación cualitativa de la operación y posibles fallas del sistema.

Inicialmente se realizó una inspección visual a la planta de producción de envases plásticos y a su planta de enfriamiento de agua, con el fin de reconocer exactamente los equipos que pertenecen al sistema, el funcionamiento de cada uno de ellos dentro de la planta, la distribución o posición de éstos, la distribución de la red de tuberías que los unen para formar cada sistema, así mismo, reconocer inicialmente los puntos de interés a estudiar, posibles fallas, recorrido de los fluidos y la relación que existen entre cada equipo del sistema, entre otras cosas. Al igual que las investigaciones anteriores como Cabrera y Santander (2002) y Peña (2005), se considera a esta etapa de gran importancia pues durante esta se levantaron hipótesis del funcionamiento actual tanto del sistema de producción de envases como de su sistema de enfriamiento de agua.

Ante esta inspección realizada, al igual que investigaciones anteriores, como la de Cabrera y Santander (2002), lo primero que se observó es la mala distribución de las redes de tuberías y posiciones de equipos dentro del sistema de enfriamiento; los ramales de tuberías están formados por tramos de distintos diámetros, ocasionando



expansiones o contracciones innecesarias dentro del sistema y de las cuales se sabe que causan altas caídas de presión dentro del mismo, esta mala distribución ocasiona, en muchos casos, que no sea posible el acceso de los operarios a distintos puntos del sistema por falta de espacio físico dentro del mismo. También se observó que las tuberías presentan, en algunos casos, alto grado de corrosión, debido a que las capas de óxido cubren casi en un 70% la superficie de las tuberías. Se observó además la poca presencia de equipos de medición a lo largo de toda la planta, es decir, se cuenta por ejemplo, con muy pocos medidores de presión o temperatura, ni siquiera en los puntos de alto interés. Así mismo, tampoco existe un seguimiento adecuado de los caudales dentro del sistema. La planta cuenta, hoy día, con numerosos equipos, que para el tiempo de estudio de esta investigación, estaban parados en su funcionamiento, por ejemplo, una numerosa cantidad de máquinas de inyección no utilizadas, bombas instaladas en el proceso pero sin funcionamiento, enfriadores, entre otros. Se pudo observar además, algunos causantes de posibles variaciones de temperatura, presión o caudales dentro del sistema, como son los numerosos cambios de dirección de los fluidos, que como se sabe, debido a la fricción que ocasionan en el fluido, se pueden presentar caídas de presión, aumento de temperatura y variaciones en la velocidad de los flujos. Se observó además que el sistema no cuenta con válvulas de regulación de flujo que permitan controlar el suministro de agua a los equipos y que permita asegurar que el caudal de entrada sea el requerido por los mismos. Como sustento de estas observaciones, en los Anexos de esta investigación se muestran algunas fotos de los equipos, de los distintos sistemas de enfriamiento, en las que pueden observarse lo descrito anteriormente.

En cuanto a su estructura física, los enfriadores no presentan deformaciones, aunque si algunas abolladuras quizás irrelevantes, caso contrario para las torres de enfriamiento en las cuales se observa algunas resquebrajaduras que ocasionan pequeñas fugas, esto puede deberse en un principio, al tiempo de uso del equipo sumado a la severidad de operación de las mismas, las cuales se encuentran fuera de



planta y están a la merced de la variabilidad de las condiciones ambientales, Esto coincide con los resultados obtenidos por la evaluación visual de Peña (2005).

En el conocimiento pleno del sistema, se reconoció la existencia de distintos circuitos individuales para cada grupo de máquina, tanto en su enfriamiento del molde como en su enfriamiento de aceite. Es decir, como se mencionó en la sección III, correspondiente a la descripción del proceso, existen circuitos cerrados conformado por distintos equipos, para obtener básicamente dos tipos de aguas: agua heladas para el enfriamiento de los moldes y aguas frías (un poco menores a temperatura ambiente), para el enfriamiento del aceite de las máquinas de inyección.

Dentro de los equipos principales pertenecientes al sistema se tienen: 12 máquinas de inyección distribuidas en distintas marcas como tres de tipo Engel, siete de tipo Husky y dos Reed y KM, (todas en funcionamiento), tres enfriadores, torres de enfriamiento de tipo evaporativas, y dos torre de enfriamiento convencionales, además de números sistemas de bombeos y tanques de almacenamiento. Es importante destacar que principalmente el enfriamiento de los moldes se realiza con agua procedente de los enfriadores o chiller, el enfriamiento del agua que para los condensadores de los enfriadores o chiller, proviene de agua de las torres convencionales, y el enfriamiento del aceite se realiza a través de agua recirculante de las torres de tipo evaporativas. Estos sistemas difieren un poco de las investigaciones anteriores, ya que en el año 2002 Cabrera y Santander, mostraron un sistema en el cual no existían torres de enfriamiento de tipo evaporativas. Así mismo la evaluación mostrada por Peña, (2005), señaló que existían mas de dos maquinas de inyección de tipo Reed y KM.

Determinación de la eficiencia de los sistemas de enfriamiento.

Una vez identificadas las etapas del proceso y sus equipos constituyentes se procedió a la determinación de la carga térmica de cada uno de los equipos así como la



capacidad de enfriamiento del sistema. A partir de este momento se inicia el análisis a nivel cuantitativo de la condición de operación actual del sistema de enfriamiento.

ENFRIAMIENTO DE MOLDES: Para los sistemas de enfriamiento del molde inicialmente, se determinaron las demandas energéticas o cargas térmicas producidas en cada una de las máquinas, que no es más, que el calor retirado de un fluido de un proceso (molde) y absorbidos por el agua para este caso, por lo tanto, mediante la aplicación de balance de energía y la aplicación de modelos matemáticos se obtuvo lo descrito en la parte metodológica de esta investigación. En este balance las pérdidas de calor al ambiente se anulan, como se mostró en la Figura 4.1 de la sección anterior, debido fundamentalmente a que los intercambiadores operan con temperaturas relativamente bajas en su superficie externa, por lo tanto, se asume que las pérdidas de calor son despreciables, esto coincide con las investigaciones realizadas por Díaz (2005).

El modelo matemático para el cálculo de la demanda energética o carga térmica es el de calor sensible, como se verifica en la ecuación 2.11 de la sección 2.7.2, se aplicó éste, ya que en general ocurre solo una variación de la temperatura del agua utilizada para enfriar los moldes, sin cambios de fase y a flujo constante. Luego del establecimiento de los modelos matemáticos a utilizar, se determinaron las variables involucradas y se establecieron los puntos más adecuados para efectuar las mediciones. Por lo tanto se procedió a realizar mediciones de temperatura a entrada y salida del intercambio térmico y el caudal que pasa por cada uno de los tramos. Las mediciones se realizaron durante cinco (5) semanas, para realizar la evaluación a diferentes condiciones.

Para la determinación del caudal que pasa por el enfriamiento de los moldes, se utilizó la relación entre el tiempo de recolección de un volumen específico (tobo y cronómetro), esta recolección de datos se realizó según la metodología explicada en el capítulo anterior. Durante la realización de este procedimiento, se observó que el agua



que circula por los moldes posee un alto grado de ensuciamiento, con una apariencia muy turbia, la cual genera incrustaciones en las tuberías, lo que ocasiona una disminución del diámetro de las mismas, afectando el caudal. Por lo anterior, cuando se quisieron medir los caudales a través de distintos puntos del sistema, con un medidor de flujo ultrasónico, no se pudo obtener un resultado, debido a la calidad de agua antes mencionada y el alto grado de incrustación que se asume que tienen las tuberías internamente debido a sólidos suspendidos del agua de enfriamiento. Por tanto los datos utilizados, como se ha mencionado en oportunidades anteriores, fueron suministrados por personal que labora en la empresa, que han sido tomados en evaluaciones anteriores, estos valores son mostrados en el apéndice B, en las Tablas de datos: B.19, B.20, B.21 y B.22.

En el análisis de los caudales que pasan por los moldes de las máquinas Engel, según los datos obtenidos, se pudo observar que no existe una distribución equivalente o equitativa de ellos, por los tramos de tuberías, aunque las diferencias no son muy altas, como se puede observar en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Caudal que circula por cada una de las máquinas Engel para el enfriamiento del molde.

Maquina Engel	Caudal de agua de enfriamiento en el molde de la máquina, (m³/s)
11	0,0013
12	0,0014
15	0,0017

La distribución de estos caudales, se realiza a través de la ramificación de una tubería central que viene desde el tanque de almacenamiento, esta tubería va distribuyendo el agua por las distintas tuberías de 2 pulg conectadas a los moldes. En un principio básico, esta distribución debería ser equitativa ya que las condiciones son las mismas para cada ramal. Al no ocurrir esto, como se observa en la tabla anterior, se puede entender que las tuberías presentan distintos grados de obstrucción que no



permiten el paso, por partes iguales, en cada rama de tubería, siendo la de mayor obstrucción la de la máquina 11 y la menos obstruida la 15. Esto mismo pudo obtenerse en el análisis cuantitativo de la evaluación de Cabrera y Santander (2002), la cual presentó también una variación de al menos un 5% entre los caudales de cada rama.

Tabla 5.2. Caudales de agua de enfriamiento que circulan por los moldes de las máquinas

Máquinas Husky	Caudal (m³/s)	Máquinas Reed y KM	Caudal (m³/s)
1	0,0008	1	0,0018
2	0,0009		
3	0,0005		
7	0,0008		
8	0,0012	2	0,0019
9	0,0004		
10	0,0011		

Lo mismo ocurre para los caudales que circulan por las distintas máquinas de las marcas: Husky, Reed y Krauss Maffei (KM), como se muestra en la Tabla anterior 5.2. Analizando lo anterior, para el caso de las máquinas Husky, se observaron caudales pequeños para cada uno de ellos, en vista de que el enfriador correspondiente a ellos está cercano a las máquinas, sin embargo se notan algunas discrepancias, que pueden ser relacionadas de igual manera con las obstrucciones, ya que cuando se realizó la medición del caudal experimentalmente en una de las máquinas, el agua que salía por los moldes era muy turbia y con una gran cantidad de sólidos suspendidos, esto puede deberse a que el circuito cerrado es muy pequeño y el ensuciamiento se encuentra concentrado en un espacio menor. Contrario a esto las máquinas del sistema Reed y KM, presentan un agua un poco más limpia y con menos sólidos, por lo tanto las obstrucciones dentro de su tubería son menores y esto conlleva a poseer dentro de su sistema un caudal más elevado. Esto último puede deberse a que el agua de esta



máquina se transporta por un circuito más largo, y que además existe poca producción a través de este grupo de máquinas. Estos resultados se mantienen desde investigaciones anteriores, en donde las obstrucciones de las tuberías ocasionan las variaciones de los caudales, sin embargo, en esta investigación la variación es mayor, debido al paso de los años.

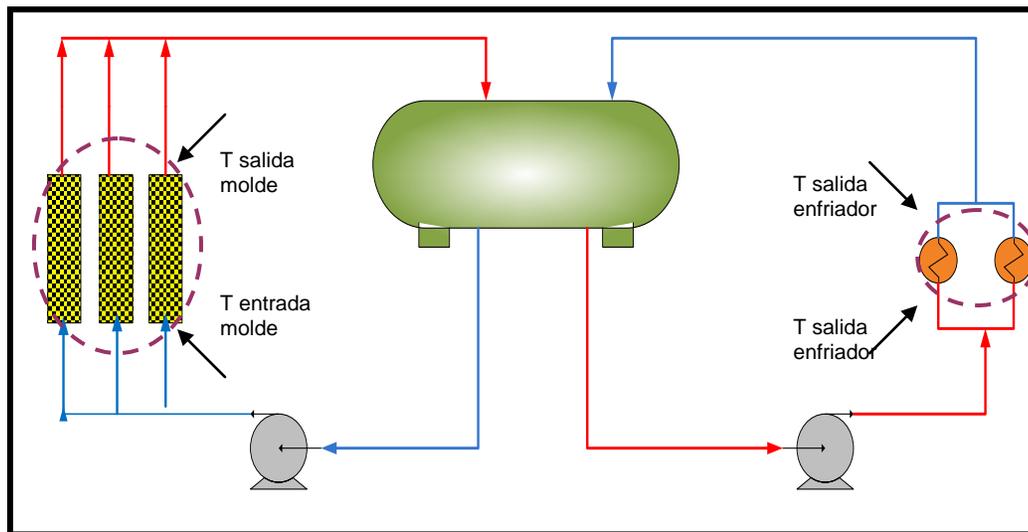


Figura 5.1. Puntos de evaluación de Temperatura y caudales dentro del sistema Engel.

En la recolección de las temperaturas del sistema, no se presentó un mayor problema. Como se mencionó en la metodología, se utilizó un termómetro infrarrojo que arroja un valor aproximado de la temperatura interna del fluido que pasa por ese punto. De esta manera se tomaron datos de temperatura del agua a la entrada y a la salida del intercambio térmico en el molde y en los enfriadores como se muestra en la Figura 5.1, estos valores son reportados en las tablas del apéndice B, referente a las tablas de datos.

El principio básico de la determinación de la eficiencia del sistema de enfriamiento de molde, se basa en la relación de las cargas térmicas generadas en el enfriamiento del mismo, y la capacidad de enfriamiento del equipo al que le corresponde retirar el calor absorbido por el agua (carga térmica), para así determinar



el porcentaje de aprovechamiento de la capacidad de enfriamiento de cada equipo. Mediante la utilización de programas como Excel, se pudieron obtener los resultados a evaluar, mostrados en el apéndice C, como tablas de resultados, y de esta misma manera, se logró crear una hoja de cálculo, que sin importar las condiciones o cuanto varíen éstas, puede determinar ambos parámetros. Es decir, hasta este punto, la investigación realizada, ha logrado crear para la empresa, una herramienta de cálculo, que permite que cualquier operario que tenga acceso a ella, pueda introducir los valores de temperatura y flujo de los distintos puntos y obtener tanto la carga térmica como la capacidad de enfriamiento, y así mismo el aprovechamiento de esta.

Para la determinación de las cargas térmicas en el enfriamiento de moldes se utilizó como ya se explicó anteriormente, la ecuación de calor sensible, mostrada en la sección 2, sin embargo, como esta carga térmica debe evaluarse por cada uno de los sistemas; para el caso del sistema Engel deben sumarse las cargas generadas por cada máquina para determinar si los enfriadores pertinentes pueden despojar esa carga generada, de igual forma ocurre para el sistema Reed y KM; en el caso de las Husky cada máquina posee su enfriador, por lo tanto no deben sumarse.

Ahora la capacidad de enfriamiento de los enfriadores del sistema, estará dada de igual forma por la aplicación del modelo matemático de calor sensible, ya que también, es un intercambio de calor entre un fluido frío y un fluido caliente, ocasionando cambios de temperatura. El flujo de agua que sale del intercambio con los moldes, entra al evaporador del enfriador para despojarse nuevamente de este calor absorbido, se supone que éste tiene un funcionamiento similar a un intercambiador que posee un serpentín, por ejemplo, el agua pasa por los tubos del evaporador, intercambiando calor con el refrigerante (frío) que pasa por la coraza. De igual forma se tomaron datos de temperatura de entrada y salida del agua en el evaporador y se contó con los datos de flujo, suministrados por el personal, todos estos valores son mostrados en el apéndice B, para determinar esa capacidad de enfriamiento. Una vez obtenidos estos valores, se



compararon para así saber si los equipos tienen la capacidad de remover el calor absorbido en el proceso, y de ser capaces se realizó un análisis de cuanto de esa capacidad está siendo aprovechada, para plantear posteriormente posibles y futuras mejoras, en cuanto al sistema a fin de obtener mejor rendimiento de las máquinas de inyección. Esto siguió la misma metodología de la investigación realizada por Díaz (2005), que expone la utilización de la ecuación de calor sensible, para la determinación de la carga térmica generada y la capacidad de enfriamiento, reflejada como una capacidad para retirar calor.

Para el grupo de máquinas Engel se estudió, la capacidad de enfriamiento que poseen los enfriadores 6 y 7 en total, y ésta se evaluó frente a la carga térmica que deben remover, con esta relación se determinó cuanto de esta capacidad está siendo aprovechada para la recuperación del agua, que nuevamente retorna al enfriamiento de los moldes. Los resultados obtenidos del análisis se presentan en la siguiente Tabla 5.3, donde se reporta la carga térmica a remover generada por el grupo de las tres máquinas, la capacidad de enfriamiento del sistema de Enfriadores 6 y 7 así como también el aprovechamiento de este sistema.

Tabla 5.3. Relación entre la carga térmica generada y la capacidad de enfriamiento sistema, para los moldes de las máquinas ENGEL.

Carga térmica total (Kcal/h)	Capacidad de enfriamiento del sistema (Kcal/h)	Aprovechamiento de la capacidad de enfriamiento (%)
32732,152	37560,567	87,145

Como se puede observar, en la tabla anterior, el sistema de enfriamiento formado por los dos Enfriadores ecológicos 6 y 7, tiene capacidad suficiente para retirar el calor del agua generado en los distintos intercambios de calor durante el enfriamiento de moldes de las máquinas Engel, con esto pudiera decirse que el sistema de enfriamiento como tal, es eficiente, ya que cumple su función. No obstante esto no



demuestra eficiencia en cuanto a la producción de envases plástico, ya que aún queda aproximadamente un 13% de capacidad de enfriamiento no aprovechada, que pudiera utilizarse para mejorar el intercambio entre el molde y el agua disminuyendo los ciclos de producción y aumentando el número de envases producidos al día. Es decir, se puede aumentar el flujo de agua que pasa a través de los moldes de las máquinas, hasta igualar la carga térmica generada con la capacidad de enfriamiento y aprovechar el 100% del enfriamiento permitido; así mismo, al aumentar el flujo, la rapidez de enfriamiento es mayor, trayendo como consecuencia, la disminución del ciclo de producción.

De igual manera se realiza un análisis entre los valores obtenidos, para las máquinas Husky, con la salvedad, de que la carga térmica generada por las máquinas se evalúa de forma individual ya que cada una posee su enfriador puntual, para el mismo fin anterior. En la Tabla 5.4 se observan los resultados obtenidos del análisis.

Tabla 5.4. Relación entre la carga térmica generada y la capacidad de enfriamiento del sistema, para los moldes de las máquinas HUSKY.

Maquina	Carga térmica total (Kcal/h)	Capacidad de enfriamiento del sistema (Kcal/h)	Aprovechamiento de la capacidad de enfriamiento (%)
1	6266,38	6247,32	100,30
2	20501,51	18581,17	110,33
3	3911,23	4978,70	78,55
7	3417,72	5127,57	66,65
8	14521,71	15375,72	94,44
9	11674,93	12814,28	91,10
10	7829,36	8612,40	90,30

De los resultados mostrados anteriormente vale la pena destacar el estudio de las máquinas 1 y 2, la carga térmica a liberar supera la capacidad de enfriamiento de su respectivo enfriador, en el caso de la máquina 2, se requiere al menos de un 10% más



de capacidad de enfriamiento para satisfacer la demanda de calor que llega al mismo. Esto que ocurre, puede deberse a varios factores, entre ellos se tiene: un caudal mayor al requerido por el enfriador, alto grado de incrustaciones o sólidos suspendidos que aumente la carga generada y finalmente, entre otros, el mal funcionamiento del condensador del equipo de enfriamiento, más adelante se hará la evaluación de esto, para determinar si esta es una causa posible y de interés.

Contrario a esto ocurre en los demás sistemas puntuales, en donde la capacidad de enfriamiento supera la carga térmica a remover, haciéndose eficientes en su funcionamiento, pero de igual forma existe entre un 6% y un 34% de capacidad de enfriamiento no aprovechada. Tal cual como se propuso en el sistema anterior, si se aumentaran los caudales que circulan por el enfriamiento de molde y por los evaporadores del sistema de enfriamiento del molde podría aprovecharse un 100% de esa capacidad, y puede ser beneficioso para la obtención del producto.

Así mismo se realizó la evaluación para el sistema de máquinas Reed y KM, presentado en la Tabla siguiente 5.5. Vale destacar, que este sistema, inicialmente contaba con al menos 6 máquinas de inyección en funcionamiento. Para el momento de esta evaluación, apenas funcionaban dos. Es importante destacar esto, ya que los sistemas de bombas no han sido modificados y el sistema de enfriamiento sigue funcionando, en función, valga la redundancia, de enfriar la carga térmica generada por esa cantidad inicial de máquinas instaladas.

Tabla 5.5. Relación entre la carga térmica generada y la capacidad de enfriamiento del sistema para los moldes de las máquinas Reed y KM

Carga térmica total (Kcal/h)	Capacidad de enfriamiento del sistema (Kcal/h)	Aprovechamiento de la capacidad de enfriamiento (%)
25211,65	103036,62	24,46



Como puede verse, la capacidad de enfriamiento de este sistema, tiene la posibilidad de enfriar al menos tres veces más las cargas térmicas generadas. Esto se debe a lo mencionado anteriormente, referente a la pocas máquinas en funcionamiento de este sistema. Puede deberse además a un excesivo flujo de agua a través de los evaporadores o un excesivo enfriamiento del agua del condensador que retira demasiado calor alterando el sistema.

Este análisis, se realizó siguiendo la metodología de la investigación de Díaz (2005), como se ha mencionado anteriormente, sin embargo en las investigaciones anteriores de Cabrera y Santander dentro de la misma industria, por ejemplo, no realizan este análisis térmico, por lo tanto es difícil establecer una comparación.

CONDENSADORES DE LOS ENFRIADORES: Como se ha mencionado en oportunidades anteriores, los enfriadores cuentan con un sistema de cuatro equipos importantes, tal como se muestra en la Figura 5.2, y dos fluidos: el evaporador como ya se ha visto se encarga de enfriar el fluido (agua), transfiriendo calor del agua al refrigerante, posteriormente este refrigerante pasa por un compresor causando nuevamente un aumento de temperatura para el refrigerante, en el condensador se recuperan las propiedades de este refrigerante, bajando su temperatura mediante intercambio con agua fría. Posteriormente se expande para enfriarse aun más en una válvula de expansión y retorna al evaporador.

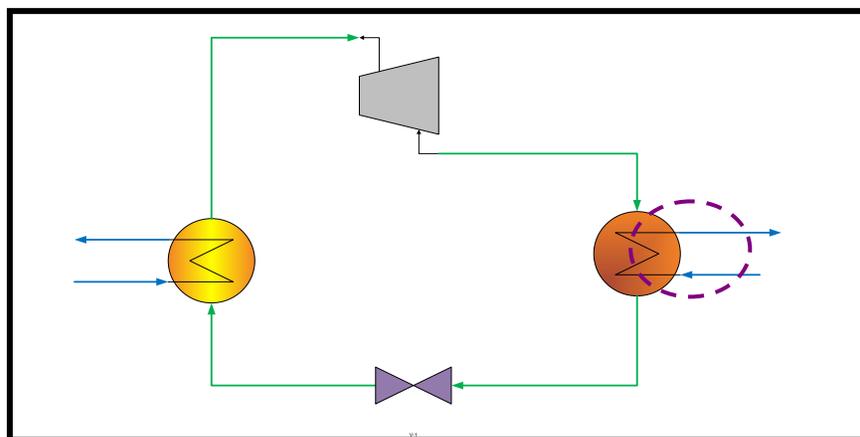


Figura 5.2. Funcionamiento de un Enfriador y volumen de control para la evaluación



Es por esto que el agua que entra a los condensadores de los enfriadores, es un punto de interés, ya que debe ocurrir un intercambio adecuado en el condensador para poder retirar del refrigerante, tanto el calor adquirido en el evaporador como en el compresor. Por tanto, se cuenta con un sistema de enfriamiento de agua, que mantenga la misma a una temperatura un poco inferior a la ambiente, que bajo estas condiciones entre a los evaporadores y luego de adsorber el calor retorne a su sistema de enfriamiento pertinente para su recuperación. Este sistema cuenta básicamente con el enfriamiento mediante el uso de torres de enfriamiento convencionales. La distribución de las ramas de tuberías, al igual que los demás sistemas, presenta muchísimas desviaciones de dirección. Esta formado por tuberías no recubiertas por aislante, contrario a las tuberías de enfriamiento de los moldes. La capacidad de enfriamiento de este sistema de torres se evaluará mas adelante.

Para determinar la eficiencia del enfriamiento del refrigerante en los condensadores, se evaluó la capacidad de enfriamiento de los mismos, en función del calor generado en el evaporador y un tanto más de calor generado en el compresor. Lamentablemente no se pudo cuantificar el tanto más de calor producido en el condensador, por falta de medidores de presión en los mismos. Por lo tanto, para definir eficiente al sistema Evaporador-Compresor-Condensador, esta capacidad de enfriamiento calculada debe ser mucho mayor a la carga térmica generada por el evaporador del mismo enfriador. Vale la pena destacar, que esta capacidad de enfriamiento, más adelante, se comportará como una carga térmica para el enfriamiento en las torres convencionales.

De igual forma a las anteriores, esta capacidad de enfriamiento se evaluó mediante el uso de la ecuación de calor sensible, pues las condiciones para la aplicación de la misma se mantienen, ya que no existen cambios de fase durante el proceso de enfriamiento, es a flujo constante y ocurre solo una variación de la temperatura en los fluidos. Tomando valores de temperatura de entrada y salida, y flujo



de agua en el volumen de control mostrado en la Figura 5.2. Obteniéndose entonces, luego del cálculo correspondiente y la evaluación, los siguientes valores mostrados en la Tabla 5.6, para el sistema Engel y el sistema formado por Reed y KM.

Tabla 5.6. Relación evaporador-condensador, dentro de los enfriadores del sistema Engel (6 y 7), y para el sistema Reed y KM (4 y 5)

Nº Enfriador	Carga térmica del evaporador, (Kcal/h)	Capacidad de enfriamiento del condensador, (kcal/h)	Aprovechamiento de la capacidad de enfriamiento del condensador por el evaporador, (%)
6	17672,71	28152,18	62,56
7	19887,85	25160,21	79,04
4	52737,75	71278,71	73,98
5	50298,86	66532,77	75,60

Se puede observar que cada condensador tiene la capacidad para enfriar el calor del evaporador, y deja aún una capacidad para enfriar o eliminar el calor generado por los compresores de al menos un 21%.

Al relacionar este resultado con los obtenidos anteriormente en la evaluación del enfriamiento de moldes, se resalta el buen funcionamiento de los enfriadores, ya que tanto el evaporador como el condensador de los mismos están funcionando de manera eficiente como equipo. Por tanto, si se aprovechara el 100% de la capacidad de enfriamiento de ellos, mediante modificaciones del sistema como se ha dicho anteriormente, se obtendrán resultados favorables en la producción.

Para la evaluación del funcionamiento de los enfriadores puntuales del sistema Husky, se realizó el mismo análisis anterior. Comparándose como funciona el condensador dentro del enfriador. Como se muestra en la Tabla siguiente 5.7, los condensadores apenas logran enfriar el calor proveniente del evaporador, dejando una capacidad de enfriamiento mínima, para los efectos del compresor. Como se vio en la



discusión del enfriamiento de molde de este sistema, alguno de los enfriadores no están cumpliendo su función y se debe a esta mala eficiencia del condensador.

Tabla 5.7. Relación evaporador condensador dentro de los enfriadores puntuales del sistema de máquinas Husky.

Nº enfriador	Carga térmica del evaporador, (Kcal/h)	Capacidad de enfriamiento del condensador, (kcal/h)	Aprovechamiento de la capacidad de enfriamiento, (%)
1	6247,32	6837,49	91,368
2	18581,17	19445,06	95,55
3	4978,70	6837,49	72,81
7	5127,57	7122,78	71,98
8	15375,72	16025,43	95,94
9	12814,28	12821,09	99,94
10	8612,40	8903,16	96,73

En los diez (10) enfriadores, se tiene que el condensador alcanza a remover toda la carga térmica producida en el evaporador, dejando menos del 10% de capacidad de enfriamiento, en la mayoría de los casos, para retirar el calor que pueda generarse en el fluido refrigerante al pasar por el compresor. Es posible que el compresor de cada uno de estos equipos requiera más de la capacidad de enfriamiento restante (10%). Ocasionando con esto el mal funcionamiento del equipo y disminuyendo su capacidad de enfriamiento de agua. Un ejemplo de esto es lo ocurrido en la maquina 9, en donde el enfriamiento del molde estaba utilizando más de un 90% de la capacidad de enfriamiento del evaporador, lo cual en otros casos, pudiera considerarse como algo positivo, pero en vista de que casi el 100% de la capacidad de enfriamiento del condensador de este equipo, es utilizado únicamente para remover el calor generado en el evaporador, dejando casi nada de capacidad para remover el calor en el



compresor; es posible que se esté estrangulando dentro del equipo la capacidad de enfriamiento del evaporador, es decir, que el equipo no este funcionando correctamente, aun cuando logra enfriar el agua de los moldes.

El calor generado por todos los condensadores del sistema, es retirado de éste mediante la utilización de torres de enfriamiento convencionales, que además son utilizadas para retirar distintos calores de varios sistemas, es posible que no se este enfriando lo suficiente esta agua de retorno a los condensadores, ocasionando su mal funcionamiento, esto que se mencionó anteriormente será analizado mas adelante.

ENFRIAMIENTO DE ACEITE: las máquinas de inyección utilizan aceites lubricantes para el cilindro de inyección, la fricción que ocurre durante esta etapa aumenta la temperatura del aceite, ocasionando una variación en las propiedades del mismo, restándole viscosidad. Por tanto, se utiliza un sistema de enfriamiento de aceite, similar al enfriamiento de molde. Las máquinas de inyección poseen en su interior un intercambiador sencillo, para el enfriamiento del aceite mediante la utilización del agua; el aceite pasa a través del tubo interno del intercambiador y por la coraza el agua fría. El calor que se genera en este sistema se determinó como un calor sensible igual que los casos anteriores, ya que no existe cambio de fases. La eficiencia de este sistema es de gran importancia, puesto que si el aceite de las máquinas pierde sus propiedades puede causar un mayor deterioro en el cilindro de inyección y así mismo una inyección defectuosa ocasionando problemas de producción.

La recuperación del agua procedente del intercambio de calor se dirige a un sistema de enfriamiento, conformado por torres de enfriamiento. En el caso de las máquinas Engel y Husky el calor es retirado en una torre evaporativa (identificadas como torre 2 y torre 1 respectivamente). Para las máquinas Reed y KM, este calor se retira en torres convencionales. El análisis de la eficiencia de estos sistemas, de igual forma a las anteriores, se basó en hallar la relación entre la capacidad de enfriamiento (de las torres para este caso) y la carga energética generada en el enfriamiento de aceite.



El funcionamiento de las torres evaporativas se explicó en oportunidades anteriores, en resumen, éstas poseen un serpentín de tubos dentro de ellas, por donde pasa el fluido a enfriar, en este caso el agua procedente del enfriamiento del aceite, mientras que cae sobre ellos agua fría y que en contacto con el aire, enfrían los tubos.

Para la determinación de la capacidad de enfriamiento de este sistema, en función del enfriamiento de aceite, se evaluó la torre en dos partes: una, la capacidad de enfriamiento dentro de los tubos (tomando en cuenta un calor sensible que en este caso es despojado), y otra, la capacidad de enfriamiento de los aspersores de la torres, para remover el calor liberado por los tubos. Este último cálculo se realizó considerando este sistema de aspersores bajo el mismo funcionamiento de una torre convencional y siguiendo la metodología que se muestra en el capítulo anterior. Básicamente, se espera que el calor absorbido por el agua en el enfriamiento de los moldes (carga térmica), sea menor o igual al calor liberado a través de los tubos de la torre (capacidad de enfriamiento).

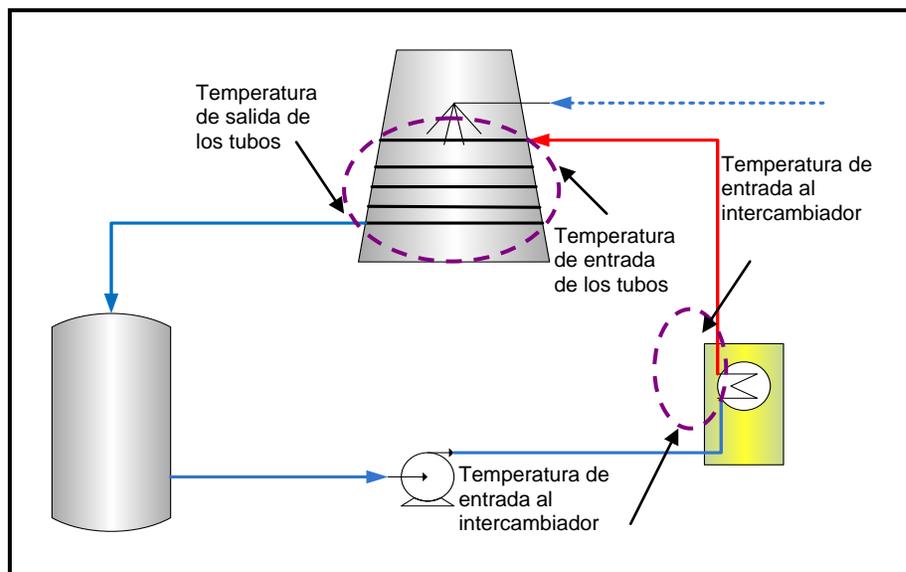


Figura 5.3. Sistema de enfriamiento de aceite de las máquinas Engel y Husky, balances de energía realizados.

La Figura 5.3, muestra los balances de energía realizados dentro del sistema y las temperaturas tomadas. Para el caso de las velocidades de flujo en el enfriamiento



de aceite, se utilizaron de igual forma a los casos anteriores, los datos suministrados por personal de la empresa, mostrados en las Tablas B.19, B.20, B.21 y B.22, como se ha mencionado anteriormente. En el caso del flujo que pasa a través de los tubos de la torre, se asumió que este, era igual a la sumatoria de los flujos máxicos que salen de cada intercambiador, ya que todos desembocan en una tubería central, bajo las mismas condiciones de ramificación, estos valores de flujos máxicos se encuentran reportados en el apéndice C, referente a los resultados obtenidos. En este caso se desprecian las pérdidas de velocidad de flujo por el recorrido.

Para le grupo de máquinas Engel se obtiene que el flujo a través de cada intercambiador de calor es respectivamente para las máquinas 11,12 y 15: 1,8906 kg/h, 2,187 kg/h y 1,590kg/h, por tanto, el flujo total de entrada a los tubos de la torre será de **5,669 kg/h**. La variación de cada uno de ellos se debe igual que en caso anteriores, a incrustaciones en las tuberías. A partir de estos valores y los valores de temperatura en ambos puntos del proceso, mostradas en el Apéndice B, se tienen los siguientes resultados de carga térmica total generada por las máquinas Engel y la capacidad de enfriamiento a través de los tubos de la torre 2, mostrados en la Tabla 5.8.

De igual manera ocurre para el enfriamiento de aceite de las máquinas Husky, el flujo total de entrada a los tubos de la torre fue de 10,95 kg/s, obtenido igual que en el análisis anterior. Vale destacar que el flujo total del sistema Husky es mucho mayor, ya que es un mayor número de máquinas de inyección. Al igual que en el sistema anterior, existe una variación entre los caudales de cada rama que se deben principalmente a las incrustaciones de cada tramo de tubería. Los resultados del estudio del sistema de enfriamiento se presentan en la Tabla 5.9.



Tabla 5.8. Cargar térmica generada durante el enfriamiento de aceite de las máquinas Engel y capacidad de enfriamiento de la torre evaporativa 2 a través de los tubos de la misma.

Carga térmica Total en el enfriamiento de aceite, (Kcal/h)	Capacidad de enfriamiento de los tubos de la torre(Kcal/h)	Aprovechamiento de la Capacidad de enfriamiento (%)
68088,79	138005,28	49,33

Tabla 5.9. Cargar térmica generada durante el enfriamiento de aceite de las máquinas Husky y capacidad de enfriamiento de la torre evaporativa 1 a través de los tubos de la misma.

Carga térmica Total en el enfriamiento de aceite, (Kcal/h)	Capacidad de enfriamiento de los tubos de la torre(Kcal/h)	Aprovechamiento de la Capacidad de enfriamiento (%)
193240,7401	219447,293	88,0579284

A través de los tubos de las torres, se obtiene la capacidad de enfriamiento suficiente para retirar la carga térmica absorbida por el agua en el enfriamiento de aceite, tanto de las máquinas Engel, como de las Husky. Teniéndose aun una capacidad de enfriamiento sin utilizar.

Posterior a esto, se evaluó la capacidad que poseen los aspersores para retirar las cargas que deben liberarse por los tubos. La obtención de estos resultados siguió la metodología mostrada anteriormente, en la seccion IV, utilizando los datos tomados del Apéndice B y algunos datos bibliográficos presentes en el apéndice D. Obteniéndose entonces que los aspersores de las torres 1 (Husky) y 2 (Engel), tienen la capacidad de retirar, cada una, respectivamente: **517684,6541 kcal/h** y **592785,094kcal/h**, lo que quiere decir, que los aspersores de la torre tienen capacidad suficiente para enfriar los tubos, logrando liberar todo el calor procedente del enfriamiento del aceite, haciendo



completamente eficiente el sistema de enfriamiento de aceite, garantizando una buena temperatura de entrada en los intercambiadores de las máquinas y la liberación completa del calor.

Se realizó una nueva suposición, que el calor liberado por los tubos de la torre es igual al calor absorbido por el agua de los aspersores, así que el agua que cae de los aspersores se dirige a las torres convencionales para despojarse de ese calor y funcionar nuevamente en un retorno a los aspersores de la torre.

El enfriamiento de aceite de las máquinas Reed y KM, es realizado mediante agua proveniente de las torres convencionales, las cuales se evaluaron al final de este análisis. El calor que se genera en el enfriamiento de aceite de estas máquinas es en total: **59974,704 kcal/h**. Este calor debe poder ser removido por las torres convencionales, pero estas a su vez deben retirar el calor procedente de los condensadores de los enfriadores 6 y 7, de los condensadores puntuales y de los aspersores de las torres evaporativas, que como se dijo anteriormente, será asumido igual al liberado por los tubos.

Para el enfriamiento de agua, que pasa a través de los condensadores de los enfriadores 4 y 5, se cuenta con una tercera torre evaporativa (3) con igual funcionamiento a las anteriores, la capacidad de enfriamiento por los tubos de ésta es igual a **180041,957 kcal/h**, de la cual es aprovechada, aproximadamente, el 80% para retirar la carga total generada por los condensadores 4 y 5, la cual es de 137811,5 kcal/h. Los aspersores de esta torre, poseen a su vez una capacidad de enfriamiento de **661900,95 kcal/h**, por lo tanto, la relación de enfriamiento entre ellos es eficiente.

Las torres de enfriamiento convencionales deben retirar las cargas energéticas provenientes de distintos puntos, la Tabla 5.10 muestra cada una de estas cargas



térmicas a retirar y el total de estas. Como se mencionó en una oportunidad, muchas de esas cargas han sido anteriormente consideradas como capacidad de enfriamiento, según su función, pero de igual forma, el sistema siempre debe ser estable, y aquel flujo que retire calor en un momento, pasará a ser despojado de ese mismo calor nuevamente, para que pueda seguir cumpliendo con su función dentro del sistema y así mismo mantener el equilibrio.

Tabla 5.10. Cargas térmicas a ser despojadas por el sistema de las dos torres de enfriamiento

Procedencia	Carga térmica (kcal/h)
Condensadores 6 y 7 (Engel)	53312,40
Condensadores puntuales Husky	77992,52
Enfriamiento de aceite Reed y KM	59974,70
Aspersores Torre 1	219447,29
Aspersores Torre 2	138005,28
Aspersores Torre 3	180041,95
TOTAL A RETIRAR	728774,1614

Luego de realizar los cálculos correspondientes para cada una de las torres convencionales 1 y 2, la capacidad de enfriamiento de ellas, resultó ser igual a: 290344,22 kcal/h y 291126,85 kcal/h, respectivamente. Esta capacidad se obtuvo, mediante la utilización de datos como temperaturas de bulbo húmedo y seco a la salida y entradas de la torre, velocidades de salida del aire, entre otros. La capacidad del sistema de estas torres, vistas como una unidad es de 581471,07 Kcal/h, lo que quiere decir que no poseen la capacidad suficiente para enfriar o remover las cargas térmicas generadas por los distintos puntos, anteriormente mostrados.

Es por lo anterior entonces, que se presenta el mal funcionamiento de los condensadores de los enfriadores puntuales y la excesiva carga térmica en el



enfriamiento de aceite de las maquinas Reed y KM, ya que como se observa, el calor no es despojado completamente por este sistema de las torres convencionales, y por esto el agua retorna a sus equipos con un poco de carga térmica no liberada y por lo tanto esto ocasiona una acumulación de la carga térmica de los equipos en cuestión.

5.2. Análisis de variables y su impacto en el sistema de producción, con el fin de reconocer aquellas que posean un impacto negativo en el proceso

☞ Identificación de todas las posibles variables que afectan el proceso enfriamiento.

A partir de la condición de operación actual del sistema, mostradas anteriormente en el punto 5.1 de esta sección, y analizar esos resultados, se pueden identificar fácilmente las variables que pueden afectar la eficiencia del sistema de enfriamiento de producción de envases plásticos. Se recurrió además a una tormenta de ideas y a consultar al personal de mantenimiento y de producción para establecer las posibles causas potenciales que ejercen un impacto negativo en el proceso de intercambio de térmico de las diferentes áreas de producción, como pueden ser, por ejemplo:

- Cambios de dirección.
- Caudales.
- Obstrucciones.
- Mano de obra poco capacitada.
- Ausencia de medidores de presión, temperatura y caudal.
- Largos tramos de tuberías.
- Factores ambientales.
- Falta de válvulas de regulación.
- Mantenimiento.
- Materia prima.
- Tratamiento de agua.
- El refrigerante de las máquinas.



Cada una de estas variables afecta de una u otra manera los sistemas de enfriamiento, guardando una relación entre sí. Para la mejor organización de estas variables y determinar cuales de ellas produce mayor impacto, se realizó un diagrama causa- efecto realizando un análisis de las 4 M's, como se muestra en la Figura 5.4.

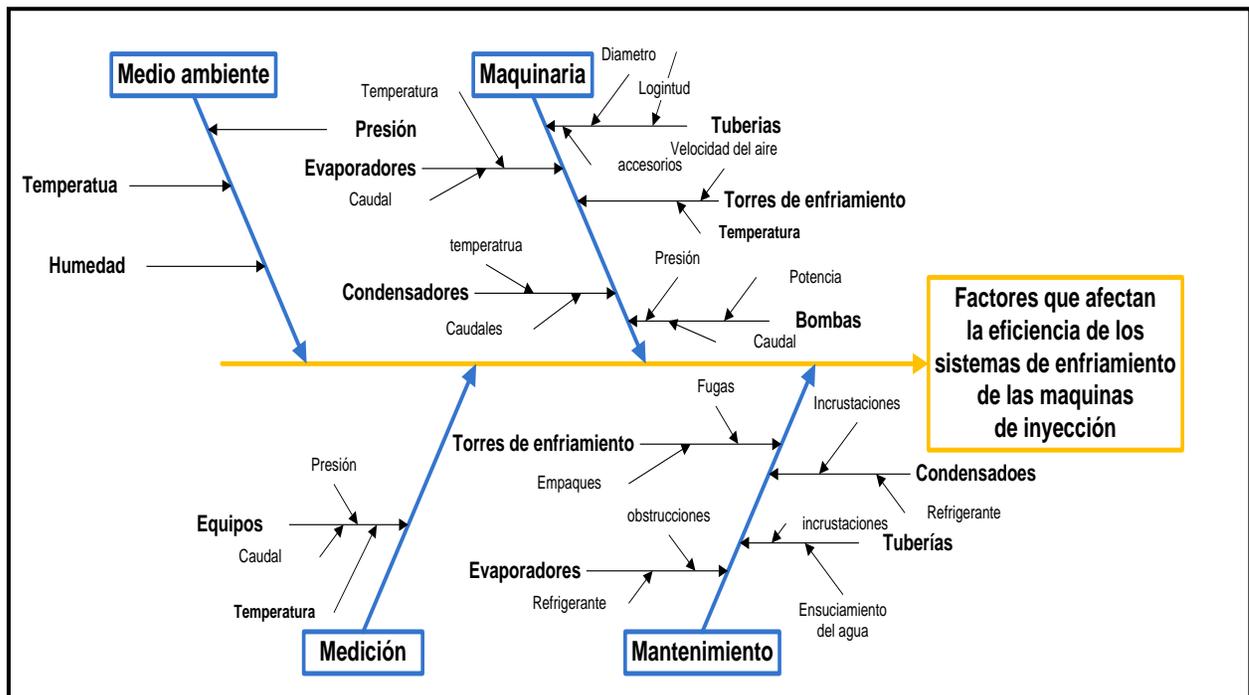


Figura 5.4. Diagrama Causa-Efecto del sistema de enfriamiento de las máquinas de inyección

En este diagrama las ramificaciones de la línea central representan las causas principales o mayores del efecto no deseado, En análisis a la figura anterior, dentro de la eficiencia del sistema de enfriamiento de las máquinas de inyección se consideraron importantes el estudio del medio ambiente, las maquinarias presentes, el mantenimiento del sistema y la medición de distintos valores importantes; todas ellas afectan el sistema de enfriamiento según el análisis siguiente:

Medio ambiente: las condiciones ambientales son variables dentro de cualquier estudio térmico, pero realmente no son relevantes, sin embargo los cambio climáticos que ocurren durante la toma de datos afectan los valores obtenido con respecto a la



temperatura específica en el agua de enfriamiento, que se encuentra en la piscina abierta a donde desemboca el agua enfriada por las torres convencionales. Así mismo, la humedad de este, puede afectar en gran magnitud el deterioro de los equipos que se encuentran a la intemperie, que son muchos. La temperatura ambiente puede interferir en las temperaturas del proceso, es por eso que muchas tuberías son recubiertas por aislantes para eliminar el contacto con el medio ambiente.

Medición: se determinó que existe déficit de instrumentos y/o equipos e medición, además de un personal fijo, que facilite el monitoreo y la verificación de los parámetros de operación del sistema. Asimismo, no se realiza un monitoreo de la acción del tratamiento químico aplicado al agua para evaluar su efectividad en la prevención de la corrosión e incrustaciones en los diferentes elementos del mencionado sistema. Además de esto, si la empresa no cuenta con medidores de temperatura y caudales (como es el caso), principalmente, no se puede tener un control de estas variables dentro del sistema. Por lo tanto, la eficiencia tendería a disminuir, ya que al no controlar estas variables se les está restando importancia dentro del sistema.

Mantenimiento: el mantenimiento de los equipos involucrados en los sistemas de enfriamiento afectan la temperatura del agua utilizada en dichos sistemas, por tanto, es un factor que debe tomarse en cuenta en el análisis de las condiciones de operación, así mismo, se le debe realizar mantenimiento al agua, con la implementación de filtros, para evitar las obstrucciones de los equipos, y así disminuir los tiempos de parada por mantenimiento. Las incrustaciones generadas por el mal mantenimiento de los sistemas pueden invertir el funcionamiento de los equipos.

Maquinaria: este es el factor más importante a evaluar, ya que la actividad de los sistemas de enfriamiento depende del buen o mal funcionamiento de los equipos involucrados en dicho sistema. Para ello es necesario identificar los problemas de la configuración actual de los sistemas de enfriamiento, así como también las fallas de los



equipos involucrados en dichos sistemas. Esto se realiza para proponer las alternativas de solución en dicha planta. Como se muestra en el diagrama causa – efecto, en la Figura 5.4, las maquinarias se ven afectadas por los tramos de tuberías, ya que las malas condiciones de los mismos proporciona un caudal inadecuado a las maquinas, dentro de las maquinarias, se toman en cuenta cada uno de los equipos de enfriamiento como evaporadores, condensadores, torres de enfriamiento, etc. Puede destacarse que la corrosión en las tuberías, torres de enfriamiento y en bombas; además de la acumulación de sedimentos e incrustaciones en el relleno de las torres, en los tanques de almacenamiento de agua, en las tuberías y equipos de intercambio térmico, afectan negativamente el funcionamiento adecuado del sistema de enfriamiento y disminuyen el tiempo de vida útil de los equipos y aumentan el tiempo de producción de envases plásticos.

Igualmente que la investigación realizada por Cabrera y Santander (20029, luego de este análisis, se determinó que la variable que afecta directamente al los sistemas de enfriamiento, es el funcionamiento de las máquinas o equipos que lo conforman. Como se mostró en el análisis anterior de la eficiencia del sistema, cada equipo está relacionado con el otro, a fin de mantener un equilibrio entre las cargas generadas. Por ejemplo, el mal funcionamiento de los condensadores del enfriador puede ocasionar un mal funcionamiento dentro de los evaporadores, y estos a su vez producen una mayor carga térmica en la máquina de inyección tanto en el molde como en el aceite del mismo, y así mismo, cada equipo tiene una parte importante dentro del sistema.

Posterior al análisis, se descarto al medio ambiente como una causa a analizar fuertemente porque no es posible ejercer una acción correctiva sobre el clima de la zona. No obstante, el resto de las causas señaladas en el diagrama causa – efecto no ejercen un efecto de igual magnitud sobre el funcionamiento del sistema de enfriamiento de agua; por lo cual se realizó un análisis cuantitativo a través de consultas y entrevistas no estructuradas que permitan levantar una matriz causa – efecto,



mostrada en la Tabla 5.11, que permita ponderar el peso que ejerce cada causa específica sobre los efectos no deseados.

El establecimiento de las ponderaciones obedece al grado de influencia, desde un impacto mínimo hasta un impacto máximo, que ejercen las causas de primer nivel sobre los efectos indeseados, tales como: el funcionamiento inadecuado del sistema de enfriamiento, funcionamiento inadecuado de las maquinas de inyección de plástico, producto final defectuoso. La puntuación por importancia en cada efecto fue establecido de la siguiente forma: 30% para el funcionamiento inadecuado del sistema de enfriamiento ya que es el caso de estudio, pero el producto final no depende en su totalidad de éste, 50% para el funcionamiento inadecuado de las máquinas de inyección, ya que de ellas depende la obtención de los productos, finalmente 20% para el producto final defectuoso, ya que es uno de los efectos no deseados dentro de la producción pero dependen de muchísimas variable y no todas son controlables. Para estos efectos se determinan las posibles causas de ellos, y se determina cual de ellas posee mayor impacto. Esto fue realizado de manera similar a Morales y Rodríguez (2007). Obteniendo resultados similares en cuanto a la variable mas relevante en los sistemas de enfriamiento.

Las causas a evaluar serán, 1.- caudales inadecuados tanto en el sistema de enfriamiento molde como en el de enfriamiento aceite, 2.- presiones elevadas a la entrada de los equipos, 3.- temperaturas inadecuadas. Ya que todas ellas afectan de distintas maneras tanto a las máquinas de inyección, como a las de enfriamiento y de igual forma, tiene una influencia sobre el producto obtenido, además de estos son las variables que pueden ser controlables por la empresa, por tanto requieren de un mayor estudio, finalmente, se calificaron cada causa según su impacto en el efecto, 5 para un impacto máximo sobre los efectos indeseados y 1 para el menor impacto.



Tabla 5.11. Matriz de selección de la variable o posible causa más relevante sobre la eficiencia de los sistemas de enfriamiento

Causas	Efectos			Totales $\sum(Pts_n * \%_n)$
	E1 (30%)	E2 (50%)	E3 (20%)	
1 (Caudales)	4	4	3	380
2 (Presiones)	3	2	4	270
3 (Temperaturas)	4	2	3	280

Donde:

E1: funcionamiento inadecuado del sistema de enfriamiento.

E2: funcionamiento inadecuado de las maquinas de inyección de plástico.

E3: producto final defectuoso.

Como se muestra en la tabla anterior, Tabla 5.11, el caudal y la temperatura presentan un alto impacto sobre el sistema de enfriamiento ya que las variables involucradas en el son estas. Así mismo el caudal, ejerce un alto efecto sobre el funcionamiento de las máquinas, ya que un caudal elevado, por encima de los parámetros de las máquinas podría hacer que estas se dañaran, finalmente, en cuanto a los productos defectuosos, se tiene que la presión es la causa mas impórtate. Ya que la presión, esta presente en todos los ciclos del moldeo por inyección.

A partir de lo anterior, se estableció como variable o causa mas influyente en, la eficiencia de los sistemas de enfriamiento y producción de envases plásticos, a la existencia de caudales inadecuados a lo largo de los tramos de tuberías y máquinas, que permiten por una parte, la acumulación de las cargas térmicas, ocasionando que estas sean elevadas, y por otra parte que estas cargas no puedan ser removidas o simplemente no pueda ser aprovechado el 100% de la capacidad de enfriamiento de los equipos. Esto mismo se obtuvo, en la evaluación de Cabrera y Santander, que establecieron como la variable que mas afecta el sistema, al caudal.



5.3 Propuesta de alternativa de mejora con la finalidad de seleccionar la más adecuada para el aumento de la eficiencia del sistema actual.

En el análisis anterior de la eficiencia del sistema, se determinó el funcionamiento de cada uno de los equipos, determinado la relación entre cada uno de los valores obtenidos y la eficiencia de la producción de envases plásticos. Aunque la evaluación se realizó en función del sistema de enfriamiento, debe evaluarse la relación que guarda éste con el aumento de la producción de la empresa, para poder demostrar la importancia de mejorar los sistemas.

Como se ha mencionado en oportunidades anteriores, si se disminuyen los ciclos de producción de un envase plástico se podrán obtener mayor cantidad de éstos por día. Esta disminución de ciclos es posible, ya que existen muchos equipos que no están funcionando de manera correcta, o no está siendo aprovechado su funcionamiento al máximo. Un ejemplo pequeño de esto es el del sistema Engel (analizado anteriormente), en donde la capacidad de enfriamiento es mayor a la demanda térmica, tal como debe ser, pero si se aumentara el caudal que va por las máquinas para el enfriamiento del molde, éste tiempo de enfriamiento sería menor, y aunque se incremente la carga térmica, el sistema de los enfriadores tiene capacidad para soportarlo.

A fin de mejorar la eficiencia de los sistemas de enfriamiento, que generen un incremento en la producción de envases plásticos, se plantearon dos modificaciones o propuestas para los sistemas de enfriamiento, basadas en los cálculos anteriores y en su evaluación, y sustentadas por nuevos cálculos, que demuestren la mejora de la eficiencia.



⇔ PROPUESTA # 1.

Como se determinó en el análisis de eficiencia de los equipos, el enfriamiento de los condensadores de los enfriadores puntuales del sistema de máquinas Husky, no está siendo efectivo, y esto se debe, como ya se comentó anteriormente, a que la capacidad de enfriamiento del sistema de torres de enfriamiento convencionales no es suficiente para retirar toda la carga, devolviendo el agua aun con un porcentaje de carga térmica.

Se observó que los equipos que poseen mayor capacidad de enfriamiento, dentro de todos los existentes en la planta, son las torres evaporativas. La industria metalgráfica, cuenta con una cuarta torre evaporativa dentro de su sistema, pero en la actualidad no ha sido puesta en funcionamiento. Lo que se quiere proponer es el aprovechamiento de la existencia de la torre evaporativa 4, para el enfriamiento del agua de los condensadores del sistema de máquinas Husky, como se observa en la Figura 5.5

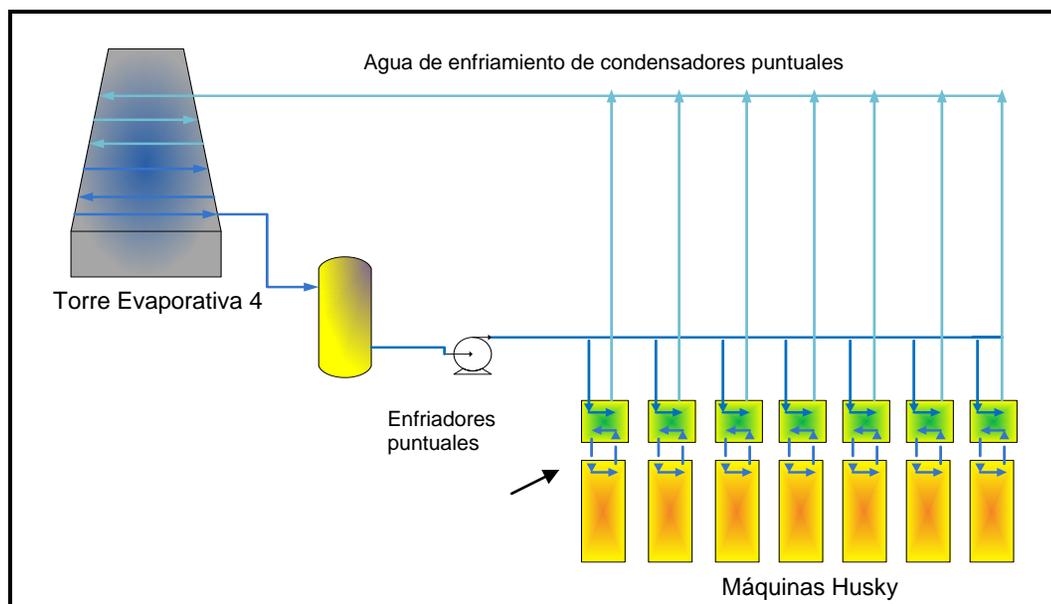


Figura 5.5. Diagrama de flujo del sistema propuesto para el enfriamiento de los condensadores de los enfriadores puntuales de las máquinas Husky.



El sistema que se propone requiere inicialmente un mayor caudal en los condensadores de los equipos, que sea capaz de remover el calor generado por el evaporador y por el compresor, esto ocasionaría un incremento en la carga térmica generada en el agua, ya que a mayor flujo mayor capacidad de absorción de calor. Sin importar que tanto se aumente, (no sobrepasando la capacidad de los condensadores), la torre evaporativa deberá retirar el calor generado. La Tabla 5.12, muestra una comparación de los caudales de operación actuales, con los mínimos requeridos para poder tener en el condensador al menos un 25% de capacidad de enfriamiento disponible para retirar el calor generado también por el compresor del equipo, ya que este valor no se conoce. Ese porcentaje de capacidad de enfriamiento para el compresor se estableció mediante una comparación con el funcionamiento de los demás enfriadores del sistema que están trabajando de manera eficiente. Para este análisis se debe tener en cuenta que la variación de la temperatura (ΔT) se mantendrá constante, ya que los valores de temperatura obtenidos en el sistema no son valores controlables por el personal.

Tabla 5.12. Variación de los caudales de los condensadores de las máquinas Husky a fin aumentar la capacidad de enfriamiento de ellos para la PROPUESTA 1

Caudal actuales de los condensadores (m^3/h)	Caudal mínimo requeridos por los condensadores (m^3/h)
0,0004	0,0005
0,0013	0,0018
0,0004	0,0004
0,0005	0,0007
0,0009	0,0012
0,0009	0,0012
0,0005	0,0007



Como se observa, la variación no es mucha, quizás si las tuberías no estuvieran tan obstruidas, estos fueran los caudales alimentados al sistema. Para operar con estos caudales, se propone la instalación de una o un sistema de bombas centrífuga con mayor capacidad, colocar válvulas de regulación a la entrada de cada condensador, junto con un medidor de caudal (rotámetro) que muestre que el caudal que esta circulando es el correcto, de manera que si el caudal no cumple con lo requerido se abra o se cierre la válvula de regulación.

Si se logra que estos caudales mínimos circulen por los condensadores de los enfriadores, se obtiene una capacidad de enfriamiento mayor a la actual, como se muestra en la Tabla 5.13, con el fin de poseer la capacidad de enfriar las cargas térmicas generadas dentro del enfriador. Una vez logrado esto, se puede garantizar el buen funcionamiento del equipo completo, es decir, el evaporador aumentará su capacidad de enfriamiento en vista de que dentro del equipo se logra la recuperación adecuada del refrigerante, esto no puede cuantificarse en esta evaluación, pero como se dijo anteriormente, comparando el funcionamiento de los demás enfriadores del sistema que no solo enfrían el agua que pasa a través de ellos, sino que además tiene aun mayor capacidad. Lo que se pretende es igualar las condiciones de los equipos con el fin de obtener buenos resultados como los del Sistema Engel, y así disminuir los tiempos de producción al menos en dos segundos.



Tabla 5.13. Capacidad de enfriamiento actual y luego de la implementación de la mejora

Condiciones Actuales		Condiciones luego de la mejora	
Capacidad de enfriamiento de los condensadores (kcal/h)	Aprovechamiento de la Capacidad de enfriamiento por el evaporador (%)	Capacidad de enfriamiento de los condensadores (kcal/h)	Aprovechamiento de la Capacidad de enfriamiento por el evaporado (%)
6837,49	91,36	8546,86	73,09
19445,06	95,55	26923,93	69,01
6837,49	72,81	6837,49	72,81
7122,78	71,98	7122,78	71,98
16025,43	95,94	21367,25	71,95
12821,09	99,94	18519,35	69,19
8903,16	96,73	12464,42	69,09
77992,52458	← Total	101782,1099	← Total

El aumento de los caudales incrementa la carga térmica generada por el calentamiento del agua en el condensador, por lo tanto, se propone utilizar la torre evaporativa 4, y hacer pasar por los tubos de ésta, el agua a enfriar (como se mencionó anteriormente). Se determinó la capacidad de enfriamiento asumiendo que el flujo que entra por los tubos de la torre es la sumatoria de todos los flujos que salen del enfriamiento en los condensadores obteniéndose un flujo másico total de **6,367kg/h**. Para esta evaluación las temperaturas de entrada y salida se asumen como un promedio de las temperaturas de salida y entrada de los condensadores respectivamente, mas o menos 1°C debido a las fricciones dentro de los tramos, es decir, la temperatura de entrada al tubo de la torre, será un promedio de las temperaturas de salida del agua en los condensadores mas un grado (1°C) ocasionado por la fricción, y la salida de del flujo de la torre será un promedio entre las temperaturas de entrada a los condensadores menos un grado (1°C) que se refiere a la elevación de



temperatura por la fricción, suponiéndose, iguales condiciones e incrementos de temperaturas.

Para la evaluación anterior se tiene, bajo estas condiciones asumidas e ideales de operación, que la torre tiene una capacidad de enfriamiento de **149128,02 kcal/h**, suficiente para remover la nueva carga térmica generada en los condensadores.

De esta misma manera, también se está eliminando una carga térmica a liberar por las torres convencionales haciendo posible el enfriamiento efectivo de estas torres. Esta propuesta al igual que la presentada por Cabrera y Santander (2002), involucran la utilización de una torre evaporativa, con el fin de mejorar el sistema de enfriamiento.

⇒ **PROPUESTA # 2.**

Otro problema observado en el análisis cuantitativo del sistema, es la excesiva carga térmica generada en el enfriamiento de aceite, de apenas 2 máquinas, que conforma el sistema de las máquinas Reed y KM. Como se explicó anteriormente, esta carga debe ser retirada mediante torres convencionales, las cuales en la actualidad no poseen la capacidad de enfriamiento requerida para liberar las cargas que entran a ellas. Dejando como consecuencia una carga térmica no removida en el sistema. Es decir, por ejemplo, en el enfriamiento de aceite se genera una determinada carga térmica, pero el agua que la absorbe llevará consigo la generada en ese instante mas la otra que no ha sido removida por las torres. Esto puede ser la causa del valor tan alto de carga térmica liberada en ese sistema de enfriamiento del aceite.

Para mejorar estas condiciones se propone, la propuesta #2, la cual sugiere que el enfriamiento del aceite de la máquinas se realice con agua procedente del enfriamiento de la torre evaporativa que utilizan los condensadores de los enfriadores 4 y 5, como se observa en la Figura 5.6.

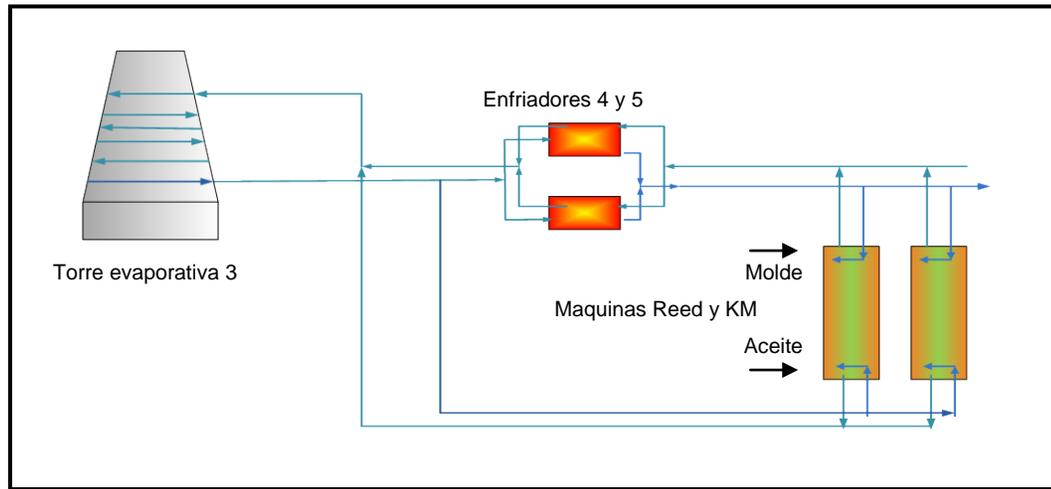


Figura 5.6. Diagrama de flujo para el sistema de enfriamiento de los condensadores 4 y 5 y del aceite de las máquinas Reed y KM

Para lograr que este sistema funcione es necesario realizar, únicamente, una disminución de los flujos en los evaporadores 4 y 5, con el fin de disminuir la carga térmica ahí generada por ellos. La Tabla 5.14, muestra los valores sugeridos de caudal para el sistema en estudio y la capacidad de enfriamiento del mismo, la cual debe ser mayor a 25211,66 kcal/h que se refiere a la carga térmica generada por el enfriamiento de moldes y deber ser removida por los evaporadores.

Tabla 5.14. Capacidad de enfriamiento de los evaporadores de los enfriadores 4 y 5 en la actualidad bajo las condiciones de mejora

Condiciones del sistema actual		Condiciones de la mejora	
Caudal por los evaporadores 4 y 5 respectivamente (m ³ /s)	Capacidad de enfriamiento (kcal/h)	Caudal por los evaporadores 4 y 5 respectivamente (m ³ /s)	Capacidad de enfriamiento (kcal/h)
2,5	52737,75	1,2	25314,12
2,2	50298,86	1,3	29722,05
TOTAL	103036,6204	TOTAL	55036,18



Se observó que luego de la disminución de los caudales, el sistema aun posee la capacidad necesaria para el enfriamiento de los moldes, permitiendo todavía casi un 50% de capacidad de enfriamiento dentro de este sistema, para lograr esta modificación, se propone instalar válvulas de regulación y rotámetros para controlar los flujos de entrada.

Una vez disminuida la capacidad de enfriamiento, que para efectos del condensador, es una carga térmica, se procede a disminuir los caudales actuales dentro de los condensadores para disminuir un poco la capacidad de enfriamiento de los mismos, tanto que aun tenga capacidad para enfriar la carga generada por el evaporador y un 25% de la capacidad de enfriamiento pueda estar determinada para retirar el calor producido por el compresor. Realizando esos cambios de caudal, se presenta en la Tabla 5.15, la nueva capacidad de enfriamiento de cada condensador y el aprovechamiento de ésta, por cada evaporador. En la Tabla 5.16 se observan las condiciones actuales de operación.

Tabla 5.15. Condiciones de operación de los condensadores 4 y 5, luego de la modificación propuesta.

Caudal por los condensadores (m³/h)	Capacidad de enfriamiento (kcal/h)	Aprovechamiento de la capacidad por los evaporadores (%)
0,0020	38459,74	65,81
0,0026	38890,56	76,42

Tabla 5.16. Condiciones de operación de los condensadores 4 y 5 en la actualidad

Caudal por los condensadores (m³/h)	Capacidad de enfriamiento (kcal/h)	Aprovechamiento de la capacidad por los evaporadores (%)
0,0037	71278,71	73,98
0,0044	66532,77	75,60



A través de las tablas anteriores 5.15 y 5.16, se puede observar que luego de la modificación de los caudales, se disminuye la capacidad de enfriamiento como se esperaba, pero el aprovechamiento de la capacidad de enfriamiento sigue siendo eficiente ya que se permite retirar también el calor generado por los compresores, de ésta manera se garantiza el buen funcionamiento de los equipos.

Como ya se ha dicho, esta capacidad de enfriamiento es un carga térmica para la torre evaporativa 3, pues a través de sus tubos se debe retirar este calor. Ahora la torre evaporativa trabajaría con un flujo másico igual a 9,4550 kg/h, correspondiente al nuevo flujo de los condensadores y el flujo que pasa por el enfriamiento de aceite, y la temperatura de entrada sería un promedio entre la temperatura de salida del agua en el enfriamiento de aceite y la salida de los condensadores más un grado supuesto por el aumento debido a la fricción; de igual forma para la temperatura de salida de la torre, se asume que debe salir a la temperatura promedio entre las salidas de los dos puntos anteriores, esto asegura dentro de los tubos una capacidad de enfriamiento de **138711,7376 kcal/h**. Si se realizan las modificaciones anteriores, se utilizará aproximadamente un 40% de esa capacidad de enfriamiento de la torre para el enfriamiento eficiente (como ya se mostró) de los condensadores 4 y 5, y un 43,3% de la capacidad de enfriamiento se utilizará para retirar la carga energética generada en el enfriamiento del aceite, quedando todavía un porcentaje de capacidad de la torre 3 no aprovechado, además este calor puede ser removido perfectamente por los aspersores de esta torre. De igual manera a la anterior, se está retirando una carga energética a ser liberada por las torres de enfriamiento.

Con respecto a la producción también se lograría un aumento en ella, debido a que el buen funcionamiento de los enfriadores garantizaría un eficaz enfriamiento en los moldes que puede verse reflejado con la disminución del tiempo o ciclo de producción de un envase plástico.



En resumen, las ventajas y desventajas de estas propuestas, se muestran en la Tabla siguiente 5.17, la cual será útil para la selección de la propuesta mas adecuada, para el aumento de la producción de envases plástico en función del mejoramiento de los sistemas de enfriamiento.

Tabla 5.17. Ventajas y desventajas de las propuestas

Propuesta	Ventaja	Desventaja
1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utiliza equipos ya existentes dentro de la empresa. ▪ Asegura el mejoramiento o aumento de producción de envases plásticos de 7 máquinas ▪ Aplicación sencilla ▪ Asegura el buen funcionamiento de los enfriadores. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mayores costos de instalación. ▪ Mayor generación de calor a nivel de aspersores, calor que se dirige a las torres convencionales. ▪ Mayores costos de mantenimiento
2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Requiere de la adquisición de pocos equipos y la mayoría esta dentro de la empresa. ▪ Sencillo de implementar ▪ Asegura la eficiencia de los enfriadores ▪ Asegura el mejoramiento o aumento de la producción de envases plásticos de 2 máquinas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No garantiza la mejora en la producción de envases plásticos. ▪ Costos por la adquisición de válvulas rota metro y sistemas d bombas.

Se realizó entonces un matriz de selección, mostrada en la Tabla 5.18, en donde los parámetros de evaluación serán: Rendimiento, que se refiere a la garantía del aumento en la fabricación productos. Costo de la instalación, establece comparaciones en cuanto al costo neto del equipo a instalar y de su instalación, (vale destacar que la mayoría de los equipos para ambas propuestas están en la empresa). Y por ultimo factor factibilidad técnica, que se refiere a la complejidad de la distribución de la red de



tuberías en ambas propuestas, así como también el correcto funcionamiento de los equipos de acuerdo a las condiciones de diseño de los mismos.

Se establecieron porcentajes de importancia de cada parámetro de evaluación, siendo estos: 45% para el rendimiento, siendo este el más alto ya que lo que se quiere es un aumento en la producción, un 30% para los costos, ya que es un parámetro importante también, pues de él depende en gran parte su factibilidad económica y 25% para la factibilidad técnica. Cada uno de estos parámetros será llamado dentro de la matriz, como A, B y C respectivamente. Finalmente se procedió a calificar las alternativas según los parámetros planteados, calificándose de 1 a 5, la calificación se basa en cuantificar el resultado favorable para el sistema.

Tabla 5.18. Matriz de selección de la alternativa de mejora más adecuada para el sistema

Alternativa o propuesta	Parámetros de Evaluación			Totales
	A (50%)	B (30%)	C (25%)	$\sum(\text{Pts}_n * \%_n)$
# 1	5	3	4	440
# 2	3	2	3	285

Para el primero de los parámetros, se consideró que una puntuación alta es algo positivo, es decir el rendimiento en el aumento de la producción es importante, caso visible en la propuesta uno, que garantiza un aumento de la producción en 7 máquinas; para el caso de los costos, una puntuación elevada refleja bajo costos en la aplicación de la propuesta, lo que ocurre en ambos casos ya que la mayoría de los equipos de las propuestas ya existen dentro de la empresa; finalmente, para la factibilidad técnica, una puntuación elevada indica poca complejidad en la instalación de la propuesta.

A través de los resultados de la matriz de selección anterior, se seleccionó como la alternativa más adecuada para el mejoramiento de la producción de envases plásticos, y mejoramiento del sistema de enfriamiento de envases plásticos de la industria metalgráfica, la alternativa o Propuesta # 1. Ya que el rendimiento de la producción es mayor debido a que existe mayor número de máquinas de inyección



involucradas, el costo es menor porque requiere de menos equipos, aunque ambos son bajos en este parámetro pues solo se plantea una modificación del arreglo sin mayores equipos nuevos esto se aplica también para la factibilidad técnica.

5.4. Propuesta de un rediseño al sistema de enfriamiento en el cual se involucre la alternativa seleccionada.

Esta sección corresponde, a la realización de un análisis mas profundo de la propuesta seleccionada, PROPUESTA # 1. La cual señala la utilización de una nueva torre evaporativa, que la Industria Metalgráfica ya posee, restando así un costo inicial de implantación de la propuesta.

Esta propuesta como ya se mencionó, garantiza una mejora en la producción de envases plásticos del grupo de siete (7) máquinas pertenecientes al grupo Husky. Como se mostró inicualmente, en la actualidad, los enfriadores puntuales de las máquinas no están funcionando de manera correcta, ya que internamente el condensador no tiene la capacidad para retirar todo el calor absorbido por el refrigerante, en el evaporador, ni el incremento de temperatura generado por el compresor, causando así un enfriamiento poco eficaz, que se ve reflejado en el tiempo de producción de las máquinas (35s por envase aproximadamente), ya que si el enfriador no retira completamente el calor generado en el enfriamiento del molde, el agua siempre va a tener un calor que no permite que el agua alcance las temperaturas adecuadas para un mejor enfriamiento. Lo que se propuso anteriormente, es mejorar el enfriamiento de los condensadores, para aumentar la eficiencia del evaporador de los enfriadores.

Esto se logrará haciendo pasar el agua de los condensadores por una torre evaporativa, que como se mostró anteriormente cuenta con suficiente capacidad de enfriamiento (las características de la misma a nivel de diseño se encuentran en los apéndice E), inicialmente se requiere un aumento en el caudal de los mismos que



garantice un enfriamiento eficaz en el condensador, para lograr esto, se requiere de la instalación de una bomba de mayor capacidad, posterior a esto, se deben instalar rotámetros y válvulas de regulación, para monitorear el caudal que pasa por los mismos y garantizar que sea el adecuado, en la Tabla 5.12, se mostraron los valores adecuados de los caudales, luego de esto la bomba nueva, debe transportar el fluido a la torre a través de los tubos de la misma, como se mostró en la figura 5.5, que representa el diagrama de flujo de la propuesta seleccionada. Además debe tenerse un tanque de almacenamiento de agua inmediato a la salida de la torre que garantice el abastecimiento de agua para cualquier instante.

En el análisis anterior se mostraron los valores de carga térmica generados, y las mejoras realizadas al sistema de manera cualitativa y cuantitativa. Las condiciones de operación de este nuevo sistema deben ser para la torre los mostrados en la siguiente Tabla 5.19, de esta manera se garantizan resultados óptimos como se mostró anteriormente, logrando un equilibrio en el sistema.

Tabla 4.19. Valores mínimos de operación establecidos para la torre de enfriamiento 4, para la eficiencia de la propuesta

Parámetros	Valores mínimos
Flujo másico por los tubos (kg/h)	6,3675
Temperatura de entrada (°C)	35,5
Temperatura de salida (°C)	29,0

En el análisis anterior se mostraron los valores de carga térmica generados, y las mejoras realizadas al sistema de manera cualitativa y cuantitativa. Las condiciones de operación para la torre 4, de este nuevo sistema, son los mostrados en la Tabla anterior 5.19, de esta manera se garantizan resultados óptimos como se mostró anteriormente, logrando un equilibrio en el sistema, obteniendo una reducción de tiempo en el ciclo de las máquinas de inyección de al menos 2 segundos.



5.5. Determinación de la factibilidad económica de la propuesta, para obtener una evaluación económica de su aplicación para la empresa.

Para realizar dicha evaluación económica se establece el Plan de Producción y los Flujos Monetarios en un período de cinco (5) años y se calcula la rentabilidad a través de un modelo de evaluación económica.

El plan de producción se calcula considerando el incremento esperado por la mejora obtenida en la capacidad de enfriamiento del sistema que de acuerdo a los resultados señalados anteriormente. Con la mejora propuesta se espera disminuir el tiempo promedio de producción de 35 segundos a 32 segundos por envase en siete máquinas, es decir que se logra una producción adicional de aprox. 1.000 envases por día, es decir 350.000 envases adicionales por año.

Si la producción actual es de aprox. 7.000.000 envases anuales, la producción esperada para el primer año de después mejorar el sistema de enfriamiento es de 7.350.000 envases, tomando como días laborales al año igual a 350 días. Debe destacarse que el costo por envase en la actualidad, gira al rededor de 1,57\$. (Considerándose gaveras, pailas y otros).

Los ingresos totales al año, estableciendo un precio promedio por envases de 2,30 \$, según información de la empresa, se muestran en la siguiente Tabla 5.20, asumiendo el aumento de la producción prevista y un 15% anual sobre el precio del producto.

Tabla 5.20. Ingreso anual esperado, determinado en función del aumento de la producción esperado y el precio de cada envase

Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
19440750,05	22356863, 27	25710392,36	29566951,08	340001993,10

Para los años posteriores se establecen las siguientes premisas:

☞ No se establece incremento de producción en los años siguientes debido a que se estudia solamente el efecto de la mejora en el sistema de enfriamiento sobre la



producción. Por lo tanto cualquier incremento adicional se deberá a otras decisiones de la empresa y no pueden cuantificarse ni estimarse.

- ☛ Incremento en los precios de los envases en un 15% en cada uno de los cinco años considerados.

- ☛ Incremento de los costos de materia prima en un 15%

- ☛ Incremento de sueldos y salarios en un 20%

- ☛ Incremento de los servicios y otros gastos en un 10%

(Estos incrementos se basan en un porcentaje mínimo de inflación anual)

☛ DETERMINACIÓN DE LOS FLUJOS MONETARIOS

Inversión inicial: representa el capital básico para poner en marcha el proyecto y considera los siguientes costos, mostrados en la Tabla 5.21

Tabla 5.21, Costo estimado de los nuevos equipos, para la implantación de la propuesta

Máquinas o equipos	Costo (US\$)
Bomba centrífuga	20.000
Tanque de almacenamiento	3.000
Tuberías y mangueras	4.000
Accesorios e imprevistos:	35.000

Total inversión en equipos y accesorios: **\$ 62.000**

Para la instalación de los equipos anteriores se estima un costo total de 10.000\$, repartidos en:

- ☛ Instalaciones eléctricas: \$ 3.000

- ☛ Obras civiles: \$ 2.000

- ☛ Mano de obra: \$ 5.000

Además se recomienda la realización de un Overhaul (que se refiere a una revisión o reparación con el fin de acondicionar el equipo para que funcione); en la torre de enfriamiento existente, que significa una revisión completa del equipo y un



seguimiento de su funcionamiento por expertos o personal capacitado, que tendrá un costo adicional, de 10.000\$

Materia prima: Considera la materia prima necesaria para la producción actual más la requerida para cubrir el incremento de producción propuesto. La materia prima para esta producción como se ha mencionado anteriormente es el polietileno de baja densidad y Master Bach.

El costo de la materia prima por envase y el costo anual, se presenta en la siguiente Tabla 5.22, estos valores fueron suministrados por personal de la empresa.

Tabla 5.22. Costo de la materia prima en el año 1 de producción.

Materia prima	Costo (\$/Envase)
Polietileno	1,06
Master Bach	0,05

La proyección a cinco años de los costos por materia prima serían los mostrados por la Tabla 5.23, según las premisas anteriormente establecidas,.

Tabla 5.23. Costos anuales por materia prima, considerando el incremento de 15% anual

Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
9361391,32	10765600,02	12380440,02	14237506,02	16373131,92

Sueldos y salarios: Se toma en cuenta el costo de la nómina de todo el personal que trabaja en la Planta de Plástico; esto incluye obreros en general, personal administrativo, ingenieros, supervisores, matriceros, electricistas y mecánicos. Se considera un incremento de los sueldos y salarios del 20% en los próximos 5 años, tal como se muestra en la Tabla 5.24, de acuerdo a la estadística real de los últimos años e incluye la previsión por Prestaciones Sociales y Beneficios contractuales.



Tabla 5.24. Incremento anual en los sueldos y salarios

Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
1914826,46	2297791,75	2757350,10	3308820,12	3970584,14

Mantenimiento: comprende los costos relacionados con los repuestos de las maquinas de inyección y demás equipos que funcionan en la planta, insumos y contrataciones de compañías externas para realizar labores de mantenimiento y limpieza para aquellos equipos en donde el personal técnico no esté capacitado para hacerlo. Los datos considerados son tomados de la experiencia y estadística de los años anteriores.

Servicios: comprende los gastos relacionados con los servicios básicos de agua, energía, limpieza y mantenimiento utilizados por la planta de plástico.

Los costos actuales de servicios son los siguientes:

- ☛ Agua: \$ 0.002 por envase
- ☛ Electricidad \$ 0.091 por envase
- ☛ Teléfono: \$ 0.010 por envase
- ☛ Otros: \$ 0.011 por envase

Total costos por servicios básicos: \$ 0.114

En la siguiente Tabla 5.25, se muestra la proyección de los costos totales por servicio, en los próximos 5 años.

Tabla 5.25. Costo anual por servicios básicos, [\$].

Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
921690, 65	1013859,26	1115245,43	1226769,38	1349446,07

Ingresos brutos: Según Hernández (2005) Representa el producto de las ventas de los envases plásticos producidos multiplicado por el precio de venta. En todos estos cálculos no se incluye el IVA, ya que el mismo no pertenece a la empresa por corresponder a un impuesto gubernamental.



$$IB = P_v * Q \quad (5.1)$$

Donde:

IB: ingresos brutos, [\$].

Pv: precio de venta, [\$/unidad].

Q: volumen e ventas.

Depreciación: se refiere a la pérdida de valor del equipo a través del tiempo, debido a su deterioro y desgaste, Debido a que el costo de los equipos a instalar es muy bajo respecto a los ingresos y demás costos operativos, no se considera para esta evaluación el costo por depreciación de los mismos, por considerar que la misma no afecta el flujo monetario.

⇒ INDICADORES FINANCIEROS:

Para esta evaluación económica se utiliza el modelo en el cual se determinan los siguientes indicadores financieros, los resultados se reportan en la tabla 5.26

Valor actual Neto (VAN): Representa la cantidad de dinero que sería necesaria invertir en la actualidad para obtener los flujos de caja previstos a un determinado interés, se dice que el proyecto es rentable si este parámetro es positivo y mayor a la unidad (1). Es decir si el valor de VAN es mayor a 1 conviene invertir en el presente proyecto, si es menor, no.

Tasa interna de retorno (TIR): expresa el beneficio neto anual que se obtiene en relación con la inversión pendiente por recuperar al comienzo de cada año. Esta relación, se suele expresar en porcentaje y representa el interés anual que genera la inversión. Se dice que el proyecto es factible cuando su TIR es mayor 10% que es la tasa de interés impuesta por entidades financieras de carácter comercial. Es la tasa para la cual obtendríamos un VAN=0. A su vez es comparable con depositar el capital en un banco a dicha tasa.



Relación beneficio/costo: Si el resultado es un valor superior a uno obtendrá ganancias reales, si es inferior a uno obtendrá pérdidas. Los valores de los indicadores financieros calculados para la ejecución de este proyecto se encuentran en la Tabla 5.25. Los valores obtenidos por los indicadores financieros se presentan a continuación.

Tabla 5.26. Indicadores financieros obtenidos en la evaluación económica para la implementación de la propuesta #1.

Indicador	Valor
VAN	2,89
TIR	186%
Relación beneficio/costo	1,46

Por lo mostrado anteriormente, con la utilización de un programa de evaluación económica que calcula estos valores obtenidos, se tiene que la implementación de esta propuesta factible y rentable para la Industria Metalgráfica S.A. Esta propuesta al igual que la presentada por Peña (2005) y Cabrera y Santander (2002) es factible, y beneficiosa para la empresa.



A continuación se presentan las conclusiones obtenidas de acuerdo a los análisis realizados en capítulos anteriores, así como también las recomendaciones que facilitarán el cumplimiento de los objetivos planteados, con miras a mejorar la eficiencia del proceso de producción de envases plásticos de la Industria Metalgráfica S. A., mediante el mejoramiento de su sistema de enfriamiento.

⇒ **CONCLUSIONES.**

1. El sistema de enfriamiento presenta una distribución inadecuada en su arreglo de tuberías, con una gran cantidad de accesorios y cambios de direcciones que afectan el caudal que pasa por ellas.
2. Las tuberías que se dirigen a las máquinas de los distintos sistemas, presentan en su mayoría, incrustaciones, que se visualizan debido a la turbidez y suciedad que presenta el agua del sistema
3. Dentro de la industria no existe un correcto seguimiento para la determinación de las condiciones de operación de cada una de las máquinas.
4. Mediante esta evaluación se logró crear una herramienta, u hoja de cálculo de Excel, que permita determinar la eficiencia de cualquier sistema de enfriamiento.
5. Las tuberías de entrada y salida a las máquinas o equipos de enfriamiento, carecen de medidores de temperatura, presión y caudal, que permitan medir estas variables tan importantes dentro del sistema; así como también se presenta la carencia de válvulas que permitan la regulación de los caudales requeridos por el equipo.



6. EL aprovechamiento de la capacidad de enfriamiento del sistema de enfriadores 6 y 7, por el sistema de máquinas Engel, fue de 87,14%, es decir aun puede ser aprovechado un 13% para el enfriamiento del agua.
7. Los Enfriadores 6 y 7, del sistema Engel, están funcionando de manera eficiente, ya que el condensador de cada uno de los enfriadores tiene una capacidad de enfriamiento igual a 28152,18 Kcal/h y 25160,21 Kcal/h, respectivamente, suficiente para retirar el calor generado internamente, por el evaporador y el compresor del mismo. Ya que los evaporadores solo utilizan el 62 y 79%, respectivamente, dejando al menos un 20% para retirar la carga del compresor.
8. Las torres evaporativas, son los equipos, dentro del sistema, que poseen mayor capacidad de enfriamiento de agua a temperatura y presión ambiente, en el orden de los 140.000 Kcal/h, a través de los tubos de las mismas, y por los aspersores la capacidad de enfriamiento es alrededor de 520.000 Kcal/h aproximadamente.
9. El enfriamiento de aceite de las máquinas Reed y KM, generan una elevada carga térmica, igual a 59.974,704 Kcal/h, en comparación a los demás equipos, y esto se debe a que el caudal que pasa por cada una de ellas es muy alto, debido a la gran cantidad de máquinas en parada.
10. Los enfriadores puntuales del sistema Husky, están funcionando de manera ineficiente, debido a que los evaporadores de los enfriadores aprovechan al menos un 91% de la capacidad de enfriamiento del condensador, revirtiendo el efecto de refrigeración de los mismos, ya que no se retira completamente el calor del compresor, que es al menos un 25 % de la capacidad de enfriamiento del condensador.
11. La capacidad de enfriamiento total del sistema de torres convencionales es de 581471,08 kcal/h. y requieren enfriar 728774,16 kcal/h.



- 12.** Las torres convencionales presentes en el sistema de enfriamiento, poseen una capacidad de enfriamiento igual a 581.471,07 Kcal/h, la cual no es suficiente para retirar el calor generado por los distintos puntos del sistema que pretenden liberar su carga térmica en ellas, esta carga térmica es igual a 728.774,161 Kcal/h. por lo tanto se requiere de al menos un 25% mas de capacidad de enfriamiento, en las torres.
- 13.** Si se utiliza la torre Evaporativa 4, presente en las instalaciones de la planta, se podrá obtener un funcionamiento más efectivo de los condensadores puntuales del sistema Husky.
- 14.** La eficiencia de las Maquinas Reed y KM, aumentaría solo con una disminución del 15% del caudal por cada uno de sus intercambios, tanto del molde como del aceite.
- 15.** El sistema de enfriamiento de la Industria Metalgrafica S.A, mantiene un equilibrio, ya que existe una recirculación en cada una de las agua del proceso, es decir que una parada de planta ocasionaría el desequilibrio de todo el sistema.
- 16.** La propuesta establecida, es factible generando un aumento de la producción y así mismo de la ganancia de la empresa, con un bajo costo de inversión.



⇔ RECOMENDACIONES.

1. Implantar la alternativa seleccionada, ya que el sistema Husky no esta funcionando de manera correcta como ya se mostró, de no mejorarse pudiera causar un deterioro mas rápido en los equipo, si se implanta, se lograra mejorar la eficiencia de los equipos de enfriamiento y lograr un aumento de la producción disminuyendo los ciclos de producción.
2. Realizar un seguimiento al sistema de tratamiento químico para el agua, ya que el agua presenta suciedad y turbidez, si no se realiza puede seguir ocasionando incrustaciones y deterioro en los equipos. Por tanto, esto se recomienda a fin de mejorar la calidad del agua del sistema y disminuir las incrustaciones que se generen con el tiempo.
3. Colocar medidores de presión y temperatura a la entrada y salida de cada uno de los equipos o máquinas del sistema, ya que en la actualidad existe gran escasez de estos, por lo tanto, si se toma esta precaución se permitirá realizar rápidamente un seguimiento y monitoreo de la operación de cada equipo.
4. Hacer uso de la herramienta de cálculo diseñada, para la determinación de la eficiencia de los sistemas del enfriamiento y así mismo determinar condiciones mas adecuadas para resultados más óptimos. Ya que la industria, hoy en día no cuenta con un programa que determine las condiciones de operación actuales ni las adecuadas. Si se utiliza ésta, podrá monitorearse cada cierto tiempo el funcionamiento del sistema.
5. Disminuir las cargas sobre las torres de enfriamiento convencionales a fin de obtener un mejor funcionamiento de las mismas, ya que de no hacerse, éstas estarán funcionando de manera ineficiente y podría revertirse su funcionamiento.



(a)

(b)

Figura 1. (a) Tuberías con alto grado de corrosión externa en el enfriador 4. (b) imagen de una red de tuberías con arreglo con muchos accesorios y desviaciones



(a)

(b)

Figura 2.: Equipos del sistema Engel, (a) Enfriadores ecológicos 6 y 7. (b) tanque elevado de almacenamiento de agua



Figura 3.: Enfriador puntual del sistema Husky



Figura 4.: Torres Convencionales del sistema de enfriamiento abierto



REFERENCIAS

1. Balance de energía (2007). [Documento en línea]. Disponible en: <http://procesos.netfirms.com/informe/node8.html>.
2. Balance térmico de un enfriador, (2008). [Documento en línea]. Disponible en: <http://html.rincondelvago.com/balance-termico-de-enfriador-de-agua.html>.
3. Bombas Centrifugas (2008). [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.unet.edu.ve/~maqflu/doc/LAB-1-95.htm>. [Consulta: diciembre 2007].
4. Brown, T (1998). *Química General*. (5ta Edición). México: Prentice-Hall Hispanoamericanas, S.A.
5. Cabrera, F y N. Santander (2002). *Mejoramiento de los sistemas de enfriamiento de los equipos de inyección de plástico de la empresa Metalgráfica S.A.* Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería Química. Universidad de Carabobo. Valencia.
6. Carpintero B. y col (2006). *Torres de enfriamiento de tiro mecánico, y Operaciones básicas de separación*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.iq.uva.es/separacion/archivos/Tiroforzado.doc>. [Consulta: 2008, febrero 25].
7. Centelles, Francisco (1999). *Una solución al problema del enfriamiento de agua industrial*. Plásticos Universales. Tecnirama. España. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/Articulo.asp?A=5831>



8. Delfín, J (2006). *Intercambiadores de calor*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.geocities.com/MadisonAvenue/6883/trabajos/6intercambiadores/intercambiadores98.htm>. [Consulta: octubre, 2008].
9. Díaz, Yngrid (2005). *Evaluación energética en el sistema de enfriamiento de la Planta de sulfonación de Clariant Venezuela*. Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería Química. Universidad de Carabobo. Valencia.
10. EDUTEKA (2006), *Diagrama causa –efecto*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.eduteka.org/DiagramaCausaEfecto.php>
11. El Plástico (2008). [Documento en línea]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1stico>. [Consulta: 2008 enero].
12. Enfriador de Agua (2008). [Documento en línea]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Enfriador_de_agua.
13. Escalona, Ivan (2006). *Métodos de evaluación financiera en evaluación de proyectos*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos16/metodos-evaluacion-economica/metodos-evaluacion-economica.shtml>
14. Fluidos en movimiento y ecuación de Bernoulli (2008). [Documento en línea]. Disponible en: http://www.ulpgc.es/hege/almacen/download/5/5211/Fluidos_ideales.doc.
15. Funcionamiento de una Torre Evaporativa (2008). [Documento en línea]. Disponible en: http://www.evapco.com/atw_principle.asp. [consulta: 2008, marzo 10].



16. Gutiérrez, T (2004). Bombas Centrifugas. [Documento en línea]. Disponible en: <http://html.rincondelvago.com/bombas-y-sus-aplicaciones.html>. [Consulta: 2008, Enero 16].
17. Himmelblau, D. (1997). *Principios básicos y cálculos en ingeniería química* (6ta edición). México: Prentice-Hall Hispanoamericanas, S.A.
18. Maquinas de inyección, (2008). [Documento en línea]. Disponible en: http://www.mateusole.net/castellano/ocasion/ocasion_iny.asp. [Consulta: enero, 2008].
19. McCabe, W y Smith, J (2002) *Operaciones unitarias en ingeniería química* (2da edición). México: McGrawHill.
20. Meléndez, J. (1997). *Mecánica de fluidos. Flujo compresible y flujo incompresible* [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos15/mecanica-fluidos/mecanica-fluidos.shtml>
21. Moldeo por inyección, (2006). [Documento en línea]. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_por_inyecci%C3%B3n. [Consulta: 2007, noviembre 21].
22. Morales, A. y Picon, M (2006). *Efecto de la configuración de redes en el área total de intercambio de calor en sistemas de enfriamiento*. Revista Mexicana de Ingeniería Química, Universidad Autónoma Metropolitana. D.F., México. [Documento en línea]. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=62009915>.
23. Morales, O y Rodríguez, I. (2007). *Mejoramiento del sistema de enfriamiento de agua en Interamericana de Cables Venezuela S.A.* Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería Química. Universidad de Carabobo. Valencia.



24. Netto, R (2006). Dinámica de fluidos, (2008) [Documento en línea]. Disponible en: www.fisicanet.com.ar/.../ap01_hidrodinamica.php. [Consulta: enero 2008].
25. Número de Reynolds, (2008). [Documento en línea]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_de_Reynolds. [Consulta: 2007, diciembre].
26. Peña, Mariela (2005). *Evaluación del sistema cerrado de enfriamiento de las máquinas de inyección de plástico de la Industria Metalgráfica S.A.* Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería Química. Universidad de Carabobo. Valencia.
27. Perry, R y otros (1992). *Manual del Ingeniero Químico* (5ta edición Volumen 3) México: McGrawHill.
28. Serna, M y Jiménez, A (1999). *Diseño óptimo de enfriadores*. Instituto Tecnológico de Celaya. Celaya, México. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.udg.mx/amidiq2007/documentos/LIBRO%20DE%20RESUMENES.pdf>
29. Silva, J. (2001) *Transporte de momento para ingenieros de procesos*. Valencia, Venezuela: Universidad de Carabobo, Escuela de Ingeniería Química.
30. Streeter, V (1971). *Mecánica de fluidos* (4ta edición). México: McGrawHill.
31. Tapia, N. (2007). *Transferencia de Calor*. [Documento en línea], disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos15/transf-calor/transf-calor.shtml>. [Consulta: agosto 2007].
32. Treybal (1998). *Operaciones de Transferencia de masa*. (2da Edición). México: McGrawHill.



33. Torres, I. (1997). *Mecánica de fluidos*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos12/mecflui/mecflui.shtml>.
34. Torres, V. (2008). *La ecuación de continuidad*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.slideshare.net/vicentz/la-ecuacin-de-continuidad/>
35. Welty, J y col (1991). *Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa* (1era edición). México: Editorial Limusa, S.A.
36. Yunus A. (1998). *Transferencia de Calor*. (2da edición). México: McGraw Hill.