

PROPUESTA PARA OPTIMIZAR SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EN MOLDE  
DE TERMOFORMADO 199001 PARA LA EMPRESA MULTIDIMENSIONALES  
S.A.

JOSÉ ÁNGEL CRUZ CADENA

JONATÁN ANDRÉS PINZÓN OSORIO

ESCUELA TECNOLOGÍA INSTITUTO TÉCNICO CENTRAL

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

BOGOTÁ

2016

PROPUESTA PARA OPTIMIZAR SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EN MOLDE  
DE TERMOFORMADO 199001 PARA LA EMPRESA MULTIDIMENSIONALES  
S.A.

JOSÉ ÁNGEL CRUZ CADENA

JONATÁN ANDRÉS PINZÓN OSORIO

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero en Electromecánica

Asesor: Jhon Alejandro Galindo Archila - Ingeniero Mecánico

ESCUELA TECNOLÓGICA INSTITUTO TÉCNICO CENTRAL

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

BOGOTÁ

2016

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

JURADO

---

JURADO

“El Instituto Técnico Central – Escuela Tecnológica, no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus Trabajos de Grado, buscará en el contenido del Trabajo de Grado el desarrollo de procesos para solucionar problemas que afectan la calidad de vida en la sociedad y que no se publique nada contrario a sus dimensiones éticas, moral, intelectual, física, estética y polémicas puramente personales, antes bien, se vea en ellas en anhelo de buscar la equidad, la democracia y el respeto a los derechos humanos”

Bogotá 01 de Febrero del 2017

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	22
1.1 ANTECEDENTES .....	22
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	23
1.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA. ....	23
1.2.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	25
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	27
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	29
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	29
1.5 ALCANCE Y LIMITACIONES .....	30
1.5.1 ALCANCE. ....	30
1.5.2 LIMITACIONES.....	31
2. MARCO TEORICO .....	32
2.1 ¿QUE ES EL TERMOFORMADO? .....	32
2.1.1 PROCESOS DE MOLDEADO. ....	33
2.1.1.2 Moldeado por presión positiva.....	35
2.1.1.3 Moldeado con preformador. ....	37
2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LA LÍNEA.....	38
2.3 EQUIPOS USADOS EN EL TERMFORMADO .....	40
2.3.1 TERMOFORMADORA. ....	40
2.4 COMPONENTES Y DESCRIPCIÓN DEL MOLDE .....	43

2.4.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL MOLDE.....	44
2.4.1.1 Tiempos del molde. ....	45
2.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS TECNOLOGÍAS .....	47
2.5.1 TECNOLOGÍA ILLIG.....	47
2.5.2 MOLDE ILLIG. ....	48
2.5.3 ANÁLISIS DE FLUIDOS AL INTERIOR DEL MOLDE. ....	50
 3. MARCO METODOLÓGICO .....	 52
3.1 TIPO DE ESTUDIO .....	52
3.2 UNIDAD DE ANÁLISIS .....	52
3.3 UNIDAD DE ESTUDIO .....	52
3.4 UNIDAD DE TIEMPO .....	53
3.5 UNIDAD GEOGRÁFICA .....	53
3.6 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	53
3.7 PARTICIPANTES.....	53
3.9 MUESTRA.....	54
3.10 INSTRUMENTOS Y EQUIPOS.....	54
3.10.1 INSTRUMENTOS. ....	54
3.10.2 EQUIPOS.....	54
 4. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	 55
4.1 CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN DEL MOLDE 199001 .....	55
4.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA 1.....	59
4.1.2 DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA 2. ....	61
4.1.2.1 Calculo del Diámetro Equivalente de los Anillos de Refrigeración. ....	64
4.2 TUBERÍA EN PARALELO DEL CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN DE LAS LÍNEAS DEL MOLDE ILLIG.....	 70
4.2.1 PRIMER MÉTODO DE TUBERÍA EN PARALELO DEL CIRCUITO. ....	71
4.2.1.1 Caudal de entrada al Molde ILLIG.....	72

4.2.1.2 Viscosidad Cinemática. ....	73
4.2.1.3 Número de Reynolds.....	74
4.2.1.4 Factor de fricción equivalente.....	75
4.2.1.5 Ecuación general de la energía. ....	76
4.2.1.6 Pérdidas de cabeza en cada línea. ....	77
4.2.1.7 Flujo volumétrico en cada ducto. ....	81
4.2.1.8 Nuevo Valor Iterativo del Factor de Fricción. ....	83
4.2.2 SEGUNDO MÉTODO DE TUBERÍA EN PARALELO.....	84
4.2.2.1 Factor de fricción.....	86
4.2.2.2 Nuevo Factor de Fricción. ....	88
4.2.2.3 Resumen segundo método de tuberías en paralelo. ....	89
4.2.3 DIFERENCIAS DE PRESIÓN EN EL SISTEMA ACTUAL.....	89
4.2.3.1 Caídas de presión en la entrada y salida del circuito.....	89
4.2.3.2 Resumen de los resultados obtenidos de las pérdidas de presión. ....	95
4.2.4. RESUMEN DE LOS CÁLCULOS DEL MOLDE ILLIG.....	96
4.3 TRANSFERENCIA DE CALOR DEL MOLDE 199001 .....	97
4.3.1 MASA DEL PRODUCTO TRANSFORMADA POR CICLO. ....	97
4.3.1.1 Masa de la lámina no transformada por ciclo (retal). ....	98
4.3.1.2 Lámina no Transformada por segundo (retal).....	99
4.3.1.3 Energía que suministra a la lámina no termoformada (retal). ....	100
4.3.1.4 Calor añadido al molde por la lámina (Retal).....	101
4.3.1.5 Temperatura salida del agua en placa corte.....	101
4.3.1.6 Flujo másico por la Línea 1. ....	102
4.3.1.7 Coeficiente Global Transferencia de Calor. ....	103
4.3.2 ANÁLISIS DE ESTADO ACTUAL LÍNEA 2 Y LÍNEA 3.....	105
4.3.2.1 Masa del producto transformada por ciclo. ....	106
4.3.2.2 Lámina transformada por segundo para producto final.....	107
4.3.2.3 Calor retirado por la refrigeración línea 2 y 3.....	107
4.3.3 COEFICIENTE GLOBAL TRANSFERENCIA DE CALOR. ....	109

4.3.3.1 Media logarítmica de temperatura entre el agua y el producto transformado .....	109
4.4. PLANTEAMIENTO DEL REDISEÑO .....	111
4.4.1 ESTADO ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.....	111
4.4.2 EFECTOS DE AUMENTO DE LA TEMPERATURA DE LA LÁMINA EN EL ACTUAL SISTEMA. ....	114
4.4.3 ALTERNATIVAS DE MEJORAS Y SELECCIÓN. ....	117
4.4.3.1 Alternativas del diseño a desarrollar.....	117
4.4.3.2 Selección de las alternativas propuestas para el diseño. ....	131
4.4.4 DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO. ....	139
4.4.4.1 Disminución de Área de Transferencia.....	139
4.4.4.2 Dimensionamiento de los Ductos de la Línea 1.....	139
4.4.4. 3 Aumento de longitud de anillo de refrigeración línea 2 y 3.....	140
4.4.4.4 Dimensionamiento de los ductos de la Línea 2. ....	141
4.4.5 VALORES DE LAS MODIFICACIONES.....	141
4.4.5.1 Flujo Volumétricos por la Línea 1. ....	142
4.4.5.2 Transferencia de calor propuesta para la línea 1.....	143
4.4.6. REDISEÑO LÍNEA 2 Y LÍNEA 3. ....	146
4.4.6.1 Flujo Volumétricos por la Línea 2 y Línea 3.....	146
5. VIABILIDAD Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PROPUESTA .....	154
5.1 ANALISIS DE PRODUCTIVIDAD Y COSTOS DE OPERACIÓN DEL PRODUTO VASO 200 MILKY PARA 17 CICLOS.....	154
5.2. ANALISIS DE PRODUCTIVIDAD Y COSTOS DE OPERACIÓN DEL PRODUTO VASO 200 MILKY PARA 17 CICLOS.....	158
5.3.1 PRIMERA OPCIÓN DE COSTOS DIRECTOS GENERADOS POR LAS MODIFICACIONES AL INTERIOR DEL MOLDE.....	160
5.3.1.1 Costos de Ampliación de ductos en la placa de Corte.....	160
5.3.1.2 Ampliación de ductos en el Bloque Inferior y Bloque de Cavidades. ....	161

5.3.2 SEGUNDA OPCIÓN DE COSTOS DIRECTOS GENERADOS PARA LA FABRICACIÓN DE NUEVAS PIEZAS PARA EL MOLDE. ....	162
5.3.2.1 Costos de fabricación de la placa de Corte. ....	162
5.3.2.2 Costos de fabricación de los Bloques Inferior y de Cavidades. ....	163
5.4 VIABILIDAD Y COMPARACIÓN DE COSTOS DE LAS MEJORAS DEL PROYECTO.....	164
5.4.1 RESUMEN DE COSTOS DE LAS MEJORAS. ....	165
5.4.2 RESUMEN DE COSTO BENEFICIO Y RETORNO DE INVERSIÓN. ....	166
5.5. RECURSOS PARA LA INVESTIGACIÓN .....	166
5.5.1 RECURSOS HUMANOS. DOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA DE INSTITUTO TÉCNICOS CENTRAL.....	166
5.5.2 RECURSOS ECONÓMICOS.....	167
5.5.3 PRESUPUESTO. ....	167
6. CONCLUSIONES .....	168
BIBLIOGRAFÍA .....	171
ANEXOS.....	173



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Molde de termoformado. ....	22
Figura 2. Sistemas de refrigeración del molde .....	23
Figura 3. Molde de termoformado .....	26
Figura 4. Eficiencia moldes .....	28
Figura 5. Fases el proceso de moldeo por vacío. ....	34
Figura 6. Moldeo por vacío directo .....	35
Figura 7. Moldeo por presión positiva.....	37
Figura 8. Moldeo con performador .....	38
Figura 9. Estación sencilla de termoformado .....	41
Figura 10. Máquina de termoformado continuo .....	41
Figura 11. Máquina de termoformado-multiestaciones.....	43
Figura 12. Disposición del molde conjunto superior .....	44
Figura 13. Disposición del molde conjunto inferior .....	44
Figura 14. Funcionamiento del molde .....	45
Figura 15. Tiempos de molde a,b,c. ....	46
Figura 16. Tiempos de molde d,e,f.....	47
Figura 17. Toma de parámetros en la operación del molde.....	55
Figura 18. Molde conjunto superior .....	60
Figura 19. Ductos de refrigeración entrada y salida de agua línea 1 .....	60

Figura 20. Dimensiones de sistema de refrigeración línea 1 .....	61
Figura 21. Esquema de parte inferior .....	62
Figura 22. Esquema en corte del bloque de cavidades líneas 2 y línea 3 .....	63
Figura 23. Plano de Corte Frontal línea 2 y línea 3 .....	63
Figura 24. Anillo de Refrigeración para los bloques inferior y de cavidades .....	64
Figura 25. Dimensionamiento de los Anillos de Refrigeración en mm. ....	65
Figura 26. Circuito de distribución de agua en las líneas del Molde ILLIG .....	69
Figura 27. Aumento de la altura del anillo de refrigeración.....	136
Figura 28. Disminución del Área de Transferencia .....	139
Figura 29. Ilustración en el aumento de diámetro del ducto .....	140
Figura 30. Ilustración aumento de longitud de anillo de refrigeración .....	141

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ciclos de las maquinas del molde de termoformado .....	25
Tabla 2. Comparación de ciclos y números de cavidades .....	27
Tabla 3. Comparación de unidades mes .....	27
Tabla 4. Variables del proceso del molde.....	49
Tabla 5. Materiales de fabricación para el molde ILLIG.....	50
Tabla 6. Toma de datos en la operación del molde de Termoformado 199001. ...	56
Tabla 7. Comparación de valores moldes 199001 y 197997. ....	57
Tabla 8. Comparación de tiempos de proceso moldes 199001 y 197997. ....	58
Tabla 9. Distribución de agua en el Molde 199001.....	59
Tabla 10. Calculo del diámetro equivalente de los anillos de refrigeración.....	68
Tabla 11. Datos del molde ILLIG para el análisis. ....	70
Tabla 12. Resumen de los datos calculados del sistema actual del primer método. .....	83
Tabla 13. Valores Iterativos aproximados para cada ducto del sistema actual. ....	83
Tabla 14. Valores conocidos para los ductos de entrada. ....	86
Tabla 15. Valores del Coeficiente de Resistencia $R_i$ y longitud equivalente $L_e$ ....	87
Tabla 16. Valores Iterativos del Nuevo Factor de Fricción.....	88
Tabla 17. Resultados del segundo método de tuberías en paralelo. ....	89
Tabla 18. Delta de Presiones. ....	95
Tabla 19. Pérdidas de presión. ....	96

Tabla 20. Resumen de los datos calculados de la presión de entrada, caudales volumétricos y velocidades por línea del Molde ILLIG.....	96
Tabla 21. Resumen de los datos calculados de las diferencias de presión en el Molde ILLIG. ....	97
Tabla 22. Resumen de cálculos de presión sistema actual. ....	111
Tabla 23. Resumen de cálculos de flujo volumétrico sistema actual, ....	112
Tabla 24. .Resumen de cálculos de flujo volumétrico y velocidades sistema actual. ....	112
Tabla 25. Resumen de cálculos de transferencia de calor del sistema actual línea 1, energía suministrada al molde. ....	113
Tabla 26. Resumen de cálculos de transferencia de calor sistema actual línea 1, coeficiente global de transferencia. ....	113
Tabla 27. Resumen de cálculos de transferencia de calor sistema actual línea 2 y 3, energía suministrada al molde. ....	114
Tabla 28. Resumen de cálculos de transferencia de calor sistema actual línea 2 y 3, coeficiente global de transferencia. ....	114
Tabla 29. Efectos de aumento de temperatura en sistema actual línea 1. ....	115
Tabla 30. Efectos de aumento de temperatura en sistema actual línea 2. ....	115
Tabla 31. Masa de producto trasformada por ciclo.....	143
Tabla 32. Masa de retal por ciclos.....	143
Tabla 33. Energía suministrada al molde por el retal con mejoras propuestas..	144
Tabla 34. Energía suministrada al molde por el retal con mejoras propuestas..	144
Tabla 35. Valores de flujo másico por línea 1.....	145
Tabla 36. Cálculo de temperatura de salida de agua línea 1.....	145

Tabla 37. Valores de LMTD para línea 1.....	146
Tabla 38. Valores coeficiente global de transferencia de calor para línea 1. ....	146
Tabla 39. Masa de producto trasformada por ciclo línea 2 y línea 3. ....	148
Tabla 40. Energía suministrada al molde por el retal con mejoras propuestas..	148
Tabla 41. Energía suministrada al molde por el retal con mejoras propuestas..	149
Tabla 42. Valores de flujo másico por línea 2 y línea 3. ....	149
Tabla 43. Cálculo de temperatura de salida de agua línea 2 y línea 3. ....	150
Tabla 44. Cantidad de calor retirado por el agua.....	150
Tabla 45. Valores de LMTD para línea 2 y línea 3. ....	151
Tabla 46. Valores coeficiente global de transferencia de calor para línea 2 y línea 3. .....	151
Tabla 47. Comparación de estado actual y valores después de mejoras propuestas para la línea 1.....	152
Tabla 48. Comparación de estado actual y valores después de mejoras propuestas para la línea 2 y 3. ....	153
Tabla 49. Operación Actual del Molde ILIIG.....	154
Tabla 50. Relación de Costos de las modificaciones en la Placa de Corte (Línea 1). ....	161
Tabla 51. Relación de Costos del Bloque Inferior y Bloque de Cavidades (línea 2 y línea 3).....	162
Tabla 52. Relación de costos al fabricar la Placa de Corte con las modificaciones. .....	163
Tabla 53. Relación de costos al fabricar los Bloques Inferior y de Cavidades modificados.....	164

Tabla 54. Resumen de costos comparativos de los Efectos de las Mejoras.....	165
Tabla 55. Resumen de inversión en Modificaciones. ....	165

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. TOMA DE PARÁMETROS DEL MOLDE ACTUAL DE LAS PERDIDAS MENORES DEL CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN .....	174
ANEXO 2. TOMA DE PARAMETROS DEL MOLDE ACTUAL PARA LOS BLOQUES DE CAVIDADES LÍNEA 2 Y LÍNEA 3.....	175
ANEXO 3. RUGOSIDADES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES DE LAS TUBERÍAS. .....	176
ANEXO 4. PROPIEDADES DEL AGUA.....	177
ANEXO 5. PROPIEDADES DEL POLIPROPILENO.....	178
ANEXO 6. CALOR ESPECIFICO DEL AGUA.....	179
ANEXO 7. EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN LOS POLÍMEROS. ....	180
ANEXO 8. PRUEBAS DE NESTING.....	181
ANEXO 9. ENTALPÍAS DEL POLIPROPILENO.....	183
ANEXO 10. FICHA TÉCNICA DE ACERO.....	184
ANEXO 11. FICHA TÉCNICA DEL VASO ACTUAL DE LA EMPRESA MULTIDIMENSIONALES S.A. .....	185
ANEXO 12. CARTA DE APROBACIÓN.....	186
ANEXO 13. PLANOS DE LAS MEJORAS EN LA REFRIGERACIÓN DEL MOLDE DE TERMOFORMADO 199001.....	187

## GLOSARIO

**APILADOR:** Es el elemento encargado de acumula y empacar el producto final.

**CARGA PIEZOMETRICA:** Es el cambio del ducto de declive hidráulico de entrada y salida.

**CAUDAL:** Es la rapidez del flujo de volumen de un fluido que pasa por una sección transversal por unidad de tiempo.

**CIZALLAMIENTO:** Proceso de corte de la lámina termoformada.

**ENTALPÍA:** Es la capacidad calorífica de un cuerpo (simbolizada generalmente como H, calculada en Julios en el Sistema Internacional de unidades o también en kcal).

**EXTRUSIÓN:** Es un proceso utilizado para crear objetos con sección transversal definida y fija. El material se empuja o se extrae a través de un troquel de una sección transversal deseada.

**LMTD:** Media logarítmica de temperatura entre al agua y el producto trasformado.

**MOLDE DE TERMOFORMADO:** Es un equipo que consta de dos bloques uno superior y otro inferior, el superior esta fijo mientras el inferior es el que realiza el movimiento necesario para realizar el termoforamdo.

**MOLDEO EN VACÍO:** Es una técnica más sencilla que termoformar porque el material es rodeado por un marco para que tenga finos detalles y tolerancias cerradas.



**PIRÓMETRO:** Dispositivo capaz de medir la temperatura de una sustancia sin necesidad de estar en contacto con ella, capaces de medir temperaturas superiores a los 600 grados Celsius.

**PREFORMADOR:** Elemento que ayuda el proceso de termoformado realizando un estiramiento del material previo al ingreso del aire de formado, generalmente tienen un forma similar al producto final.

**TERMOCONFORMADO O TERMOFORMADO:** Es un proceso que consistente en calentar una lámina de plástico hasta que sea maleable, de forma que puede adaptarse a la forma de un molde por acción de la presión en vacío o mediante un contramolde.

## ABSTRACT

*The main objective of this research is to develop a proposal to optimize the cooling system for an 199001 Thermoforming mold for the Company Multidimensionales S.A. The main objective is to achieve an increase in the effective cycles for the fore mentioned mold as reference, an investigation of efficiency of similar molds was made and comparison with the mold 199001 shows that the mold had a lower efficiency than similar mold.*

*Having identified all the process conditions to improve the machine cycles, the analysis of possible improvement of each process stored for what cause-efecct diagrams was used, also advantages and disadvantage of each proposal was showm, matrices with different variables was used that allowed to close quantitatively wich proposal was the most viable.*

*KEYWORDS: Refrigeration Sistem, Thermoforming, Mold, Heat Balance.*

## RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo principal desarrollar una propuesta para optimizar el sistema de refrigeración del molde de termoformado 199001 para la empresa Multidimensionales S.A, con el fin de lograr un aumento el ciclos efectivos del molde 199001, bajo este referente se investigaron y se compararon las eficiencia de moldes similares al molde 1990001, corroborando con ello que el molde tenía una eficiencia menor a sus similares. Para la ejecución del proyecto se adelantó un estudio sobre el funcionamiento y condiciones de operación de los moldes. Una vez fue recopilada toda la información se procedió a realizar cálculos de mecánica de fluidos y transferencia de calor para los circuitos de refrigeración actuales, con el fin de determinar el balance de energía actual del molde y sus condiciones de operación.

También se analizó paso por paso como se realiza el ciclo del molde para termoformar un producto, con lo cual se logró identificar en que parte del ciclo se estaba perdiendo tiempo, se establecieron entonces cuales condiciones de operación lograrían reducir tiempo para estas etapas del ciclo.

Una vez identificados las condiciones del proceso para mejorar los ciclos de Maquina, se dio inicio al análisis de posibles mejoras de cada proceso, para lo cual se utilizaron diagramas de causa – efecto, además se describieron ventajas y desventajas de cada una de las propuestas, también se usaron y se analizaron matrices con diferentes variables con lo cual se logró elegir cuantitativamente cuales propuestas eran más viables.

Posteriormente se realizó una de las propuestas basadas en las mejoras elegidas en donde se realizaron cálculos para determinar las condiciones esperadas y se concluyó que las alternativas propuestas mantienen y mejoran el

balance calor, además de lograr aumentar la eficiencia del sistema actual. Una vez terminado el diseño de la refrigeración se realiza el respectivo estudio económico determinando la viabilidad de las mejoras propuestas y el retorno de la inversión.

Palabras claves: Sistemas de Refrigeración, Termoformado, Molde, Balance de calor.

## INTRODUCCIÓN

El consumo de productos plásticos es un mercado creciente en la cultura colombiana según el DANE el consumo de productos plásticos creció en un 5.2 % en el 2015 para Colombia. La iniciativa en el desarrollo del trabajo surgido del deseo de la empresa Multidimensionales S.A de optimizar los ciclos actuales de sus moldes para termoformado, con el fin de ser más competitivos en el mercado y aumentar la rentabilidad y eficiencia de sus procesos.

El proyecto tiene como objetivo realizar una investigación sobre la eficiencia actual de los sistemas de refrigeración de molde de termoformado ILLIG 3710 199001 para realizar propuestas de mejoras encaminadas a optimizar los ciclos efectivos de las maquinas termoformadoras, los únicos antecedentes con que se cuenta para el diseño de los sistemas de refrigeración de los moldes son experiencias generadas a partir de la práctica y la observación del funcionamiento de los sistemas de refrigeración de los moldes importados en su gran mayoría desde Alemania a empresas como ILLIG, TERMOESTAMPI, OMV. La información acerca del diseño de los moldes por partes de estos fabricante es reservada y muy poca, se remite a algunos manuales de mantenimiento.

Los resultados de las investigaciones tiene como objetivo presentar propuestas de mejora en los diseños actuales de los sistemas de refrigeración, los cuales beneficiaran a la empresa Multidimensionales S.A, y ayudaran a los investigadores en su proceso de formación profesional, el tipo de investigación que se realizara es de carácter exploratorio, descriptivo y correlacional; Durante el desarrollo del trabajo se trabajaron en las áreas de diseño, transferencia de calor, dibujo de máquinas, mecánica de fluidos, termodinámica, matemáticas, física, gestión de proyectos, proyecto de grado.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 ANTECEDENTES

La empresa Multidimensionales S. A es una compañía dedicada a la manufactura de productos y empaques plásticos de consumo masivo y comercial. Perteneció al grupo Phoenix la cual es una de las más importantes agrupaciones de empresas para empaques en América Latina.

Para la manufactura de sus productos la empresa cuenta con procesos de termoformado e inyección de plásticos, en el desarrollo del proceso de termoformado se usan moldes de termoformado los cuales son los encargados de dar forma al producto final según una geometría establecida, algunos de estos moldes son fabricados por los Ingenieros de la compañía y los demás moldes son importados. En la figura 1 se puede observar un molde fabricado por la compañía alemana ILLIG.

Figura 1. Molde de termoformado.



Fuente. <http://www.illig.de/en/tools/>

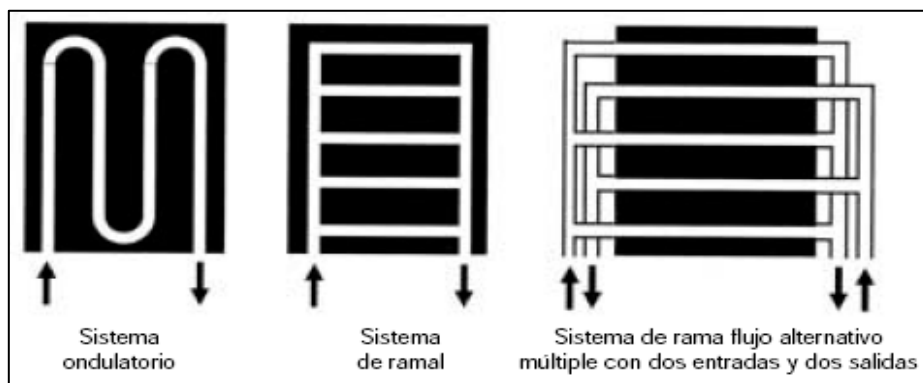
Actualmente el diseño de los moldes en la empresa y sus sistemas de refrigeración se realiza basado en la experiencia adquirida durante los años, y la observación de los sistemas de refrigeración de los moldes importados, los cuales se compran en el exterior a empresas como ILLIG, TERMOESTAMPI, OMV. La información acerca del diseño de los moldes por partes de estos fabricante es reservada y muy poca, se remite a manuales de mantenimiento y operación de moldes, en los cuales no se evidencia cálculos ni planos.

## 1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema. El departamento de diseño es el encargado de diseñar los nuevos productos y moldes, basados en los requerimientos de los clientes y las necesidades que tenga para el empaque y distribución de sus productos.

Entre los sistemas que se integran para el funcionamiento del moldeo es de vital importancia el sistema de refrigeración, el cual funciona mediante ductos que transportan agua refrigerada alrededor de las áreas del molde a termoformar, se puede evidenciar algunos tipos de refrigeración en la figura 2.

Figura 2. Sistemas de refrigeración del molde



Fuente. Manual Técnico Termo formado/plásticos de México S.A

El procesamiento y distribución de agua para el molde de termoformado se realiza gracias a tres torres de enfriamiento las cuales entregan agua a un sistema de tuberías, quienes a su vez la distribuyen a cada máquina y a los sistemas de refrigeración de cada molde. La capacidad de retirar calor del sistema de refrigeración del molde es primordial ya que tiene influencia en el aumentando o disminución de los ciclos de termo formado de la maquinas.

Para validar la importancia de los sistemas de refrigeración sobre el ciclaje de las maquinas , se cita a continuación una descripción de la importancia de los sistemas de refrigeración en un molde, en la cual se describe el funcionamiento de un sistema de refrigeración para tecnología RDK 90, realizada por la empresa alemana ILLIG MASHEBRUG.

*“El molde tecnología RDK 90 es altamente dinámico para la reducción de la presión de formación, la refrigeración es uno de los factores decisivos para lograr velocidades altas de alrededor de (55 ciclos / minuto), alcanzados en la operación de formación y punzonado, usando troqueles de acero mejorado integrado en la herramienta de formación .RDK 90 Cuenta con dos circuitos de refrigeración independientes los cuales están disponibles en la mesa superior e inferior de la estación de formado, además se cuenta con visualización de caudal y control de temperatura de entrada y de salida. Hasta seis circuitos individuales se pueden conectar al molde por circuito de refrigeración para enfriar cerca de los contornos de las cavidades. La llamada camisa de refrigeración es una característica especial más. En comparación con los métodos convencionales se ha mejorado claramente la calidad del producto y se consigue aumentar considerablemente en la velocidad del ciclo, y al mismo tiempo mejora la calidad del producto.”<sup>1</sup>*

Para el diseño de los sistemas de refrigeración no se tiene registros de cálculos matemáticos y físicos realizados por la empresa Multidimensionales S.A. si bien, se trabaja siempre con algunos criterios normalizado en piezas, como los racores

---

<sup>1</sup> ILLIG MASHE RDK 90. <http://www.illig.de/en/machines/prodcat/>. [citado el 6 de mayo de 2015]



y mangueras, no se tiene un soporte teórico de por qué se usan estos dispositivos, ni se tiene claro la relación entre el diseño de la refrigeración y la eficiencia del proceso. Basados en los anteriores apartados se plantea la siguiente formulación del problema. ¿Que mejoras se deben realizar en los sistemas de refrigeración del molde con el fin de aumentar su productividad sin afectar su funcionamiento actual?

1.2.2 Identificación del problema. Bajo el referente de una posible baja eficiencia en los ciclos de termoformado de algunos moldes. Se consultó al departamento de producción sobre los antecedentes de la baja eficiencia de los ciclos del molde, afirman que para un mismo producto pero con diferentes moldes las condiciones de ajuste del proceso y los ciclos no son iguales. Para poner en contexto esta afirmación, en la tabla 1 se realizó una descripción en donde se comparó la eficiencia de tres moldes fabricados por la empresa para termoformar un mismo producto, en una misma tecnología y en condiciones de suministro de agua semejante.

Tabla 1.Ciclos de las maquinas del molde de termoformado

MOLDE	PRODUCTO	NUMERO CAV	DIAMETRO DE CORTE (mm)	CICLOS MAQUINA
197997	VASO 200 MILKY	10	75	17
198097	VASO 200 MILKY	10	75	18
199001	VASO 200 MILKY	10	75	12

Fuente. Reporte Turno Multidimensionales S.A

En la anterior tabla se puede evidenciar como el molde 199001 presenta menor ciclaje que sus semejantes, también se pudo identificar que en el proceso de diseño y fabricación de moldes de termoformado no se tiene en cuenta la correcta distribución de los canales de refrigeración y caudales para cada circuito del

molde, estos caudales deben garantizar una correcta conductividad térmica de las piezas para que el molde enfrié más rápidamente y se logre así que el molde mejore su eficiencia. En la Figura 3 se ilustra uno de los moldes semejantes al molde ILLIG 199001 de la compañía.

Figura 3. Molde de termoformado



Fuente. Autores.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

Bajo el referente de la baja efectividad del molde 199001 se hace necesario determinar su eficiencia actual mediante la comparación con moldes semejantes y su impacto en la unidades producidas al mes.

Tabla 2. Comparación de ciclos y números de cavidades

MOLDE	CICLOS	NUMERO DE CAVIDADES
197997	17	10
198097	18	10
199001	12	10

Fuente. Autores

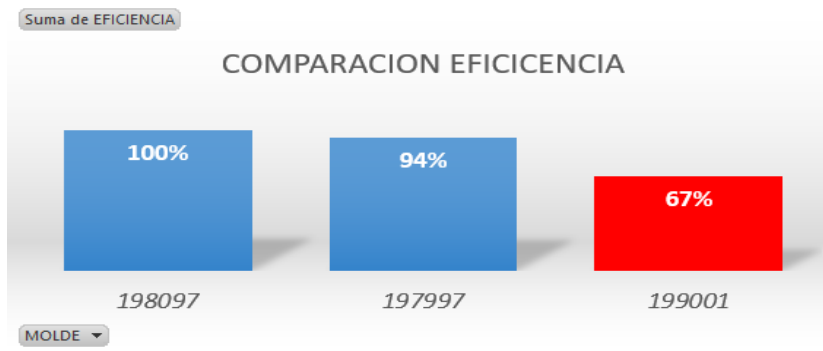
Tabla 3. Comparación de unidades mes

MOLDE	UNIDADES POR MINUTO	UNIDADES MES
197997	170	6364800
198097	180	6739200
199001	120	4492800
<i>Unidades mes calculadas para un trabajo de 24 horas durante 26 días al mes</i>		

Fuente. Autores

Se puede observar que el molde 199001 produce 2 246 400 unidades menos que el molde 198097, lo cual representa que es eficiente tan solo en un 67 % comparándolo con el molde 198097. Esta comparación de eficiencias es mostrada en la figura 4.

Figura 4. Eficiencia moldes



Fuente. Autores.

En pruebas realizadas con anticipación por el departamento de producción en el molde 199001 se pudo determinar que los problemas que se generan al subir el ciclaje del molde son:

- problemas de corte
- vaso malformado

Bajo el referente de la baja eficiencia del molde y los problemas de calidad del producto a subir los ciclos de máquina, surge la necesidad de realizar una investigación formal, para identificar puntos de mejora en el diseño del sistema de refrigeración del molde 199001, que presentan una baja eficiencia en ciclos por minuto en relación con los otros moldes. Con la investigación se buscara mejorar la eficiencia de la producción de este molde.

## 1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo General. Realizar una investigación documental sobre la eficiencia actual de los sistemas de refrigeración de molde de termoformado ILLIG 3710 199001 en la empresa Multidimensionales S.A. con el fin de realizar una propuesta para mejorar el sistema actual, en busca de beneficios encaminados a la mejora de la eficiencia del proceso de termoformado.

### 1.4.2 Objetivos Específicos.

- a) Adelantar una investigación documental y trabajo de campo sobre el funcionamiento y características del proceso de termoformado de plásticos, con el fin de determinar variables del proceso de termoformado.
- b) Adelantar un trabajo de campo, identificando características y variables actuales de los sistemas de refrigeración del molde 199001 y su proceso de termoformado, para realizar cálculos de mecánica de fluidos y transferencia de calor. Estableciendo la eficiencia y capacidad de retirar calor del sistema refrigeración actual.
- c) Realizar cálculos teóricos basados en las tecnologías de mecánica de fluidos y transferencia de calor. Para establecer variables, mecánicas y termodinámicas óptimas para lograr mejorar la eficiencia en ciclos del molde 199001.
- d) Realizar una propuesta escrita determinando mejoras y cambios en el diseño del sistema de refrigeración actual, mediante el análisis y la comparación de los cálculos teóricos actuales y los propuestos.
- e) Elaborar estudio económico determinado la viabilidad de la mejora de la propuesta.

## 1.5 ALCANCE Y LIMITACIONES

1.5.1 Alcance. La propuesta para optimizar sistemas de refrigeración en moldes de termoformado en la empresa Multidimensionales S.A. aplica para el estudio del molde para termoformado con código interno 199001, basados en estos se determina los siguientes apartados para el proyecto:

- Elaborar una investigación de campo y documental para determinar las características técnicas y funcionamiento del molde en el proceso de termoformado de plásticos.
- Identificar mediante el trabajo de campo las características y variables actuales de los sistemas de refrigeración del molde de termoformado con código interno MPMIL 199001, mediante cálculos y toma de variables tales como: caudales, presiones de operación, longitud de ductos de refrigeración, temperaturas de operación y diámetro de conductos. Mediante teorías de transferencia de calor conocer la cantidad de calor actual retirada por el molde en el proceso de termoformado.
- Realizar cálculos teóricos apoyados en las tecnologías de mecánica de fluidos y transferencia de calor en el molde 199001, por medio de ecuaciones de los diferentes procesos de refrigeración del molde calculando teóricamente las variables físicas, mecánicas y termodinámicas óptimas en el sistema de refrigeración, logrando así una mejora en el proceso.
- Propuesta escrita sobre las posibles mejoras y modificaciones en el diseño del sistema de refrigeración, comparando cálculos actuales y teóricos realizados para el molde MPMIL-199001.

- Realizar el estudio económico para determinar la viabilidad de la mejora de la propuesta, determinando costos de las modificaciones y eficiencia de los sistemas de refrigeración del molde.

1.5.2 Limitaciones. No se tiene información respecto a los cálculos que se deben realizar, para diseñar un sistema de refrigeración para moldes de termoformado; por ello se homologarán y adaptarán teorías de diseño de refrigeración para moldes de inyección de plásticos, además de teorías de termodinámica y mecánica de fluidos.

- Falta de manuales técnicos de cada molde de termoformado.

## 2. MARCO TEORICO

### 2.1 ¿QUE ES EL TERMOFORMADO?

El termoformado es un proceso usado en la formación de plásticos de distintos materiales termoplásticos. En sí, el principio básico es el calentamiento de la plancha o lámina termoplástica hasta que esta esté blanda, el material al estar caliente y flexible es forzado contra la superficie del molde debido a una presión mecánica, de vacío o de aire. En el intervalo de tiempo en que la lámina es mantenida a presión contra el molde y su refrigeración pertinente, el plástico retiene la forma y los detalles del molde. La refrigeración del molde es por lo general un tiempo corto, para evitar endurecimiento previos al corte y formado del producto.

En el proceso de termoformado el material es calentado solamente lo suficiente hasta ablandarlo, debido a esto, son posibles tiempos más cortos en el ciclo de transformación del producto, por lo que el enfriamiento puede ser mucho más rápido por el contrario cuando es fundido. También una importante diferencia entre el termoformado y otros procesos de transformación de plásticos, es la baja presión que es requerida para termoformar.

Los dos tipos de presiones realizadas en el termoformado tanto la neumática como la mecánica, son solo ligeramente más grandes que la presión atmosférica, por lo tanto, el mecanismo es formado y los moldes pueden ser hechos de materiales menos robustos, que los que son requeridos para procesos de formado de plásticos de alta presión como el soplado o la inyección e incluso la extrusión.

Para el diseño de las piezas se es más limitado que el proceso de inyección, ya que el plástico no es derretido y tampoco fluye dentro de una forma específica del molde. Las partes hechas por el termoformado son generalmente estructuras



abiertas con el diámetro de las aperturas más grande que el diámetro del cuerpo, las partes son curvas cerradas y esquinas difíciles de hacer al igual que las partes con paredes gruesas y delgadas tales como patrones y varillas sólidas, dificultando la fabricación de estas. El control del espesor de pared también es difícil de manipular y algunas áreas son básicamente más delgadas que otras, porque el estiramiento del material no es uniforme cuando se realiza la fuerza de presión dentro del molde.

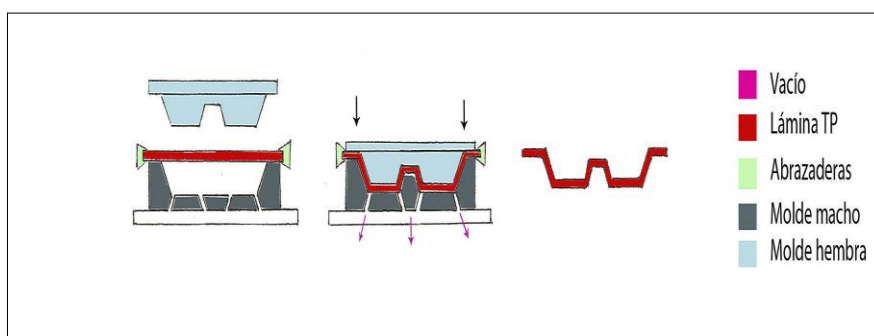
Cuando se realiza el termoformado para hacer algunas piezas se deben hacer teniendo en cuenta que el proceso resulta esencialmente de un estiramiento interno, y en algunas aplicaciones se puede crear una considerable tensión en la pieza.

2.1.1 Procesos de moldeo. Gracias a la amplia variedad de piezas construídas mediante el proceso o la técnica del termoformado, algunas modificaciones son necesarias para lograr la optimización en su fabricación de algunas formas particulares del mismo. Esto para dar solución algunos problemas ocasionados con el termoformado, dichas modificaciones del proceso muestra cambios en el tipo del molde y en los métodos de presionar el material plástico dentro de él. El método que se usa se puede agrupar en varios tipos principales de termoformado, pero solo se mencionarán aquellos de gran relevancia en la medida que se pueda entender cómo lo realizan las termoformadoras de la compañía.

2.1.1.1 Moldeo por vacío directo. Es la técnica más comúnmente usada y simple del proceso de termoformar. Remotamente todas las técnicas de termoformado eran empleadas mediante el moldeo por vacío directo y se escribe “directo” para enfatizar que este es el método simple de moldeo por vacío y no una de las diversas variaciones del moldeo.

Para esta técnica de procesamiento el material es rodeado por un marco, el cual sujeta el material alrededor de su borde. El material es entonces calentado y cuando este comienza a pandearse (punto de alta inestabilidad elástica) es alojado en el molde de tal modo que la lámina es puesta en sello contra este molde, para ello el molde debe ser de cavidades o molde de tipo Hembra. Un vacío es aplicado inmediatamente por la espalda del molde a través del espacio de aire, el vacío es conectado con la cavidad del molde a través de pequeños agujeros de desfogue que son taladrados atravesando las paredes del molde; este tipo de molde es representado en la figura 5.

Figura 5. Fases el proceso de moldeado por vacío.



Fuente. Plastics Processing, Guide, 1988 / termoformado

Cuando el vacío es aplicado, el material plástico es jalado contra las paredes de las cavidades del molde; (debido al vacío parcial creado entre el plástico, el molde y la más alta presión del aire que empuja el plástico contra el molde), conseguido así, mediante esta técnica de vacío directo. Esta presión esta alrededor de una atmosfera “(1 atm; 14.66 psi; 101.3 kPa)”<sup>2</sup>. El vacío es continuo mientras el material es enfriado y toma una forma de la cavidad del molde.

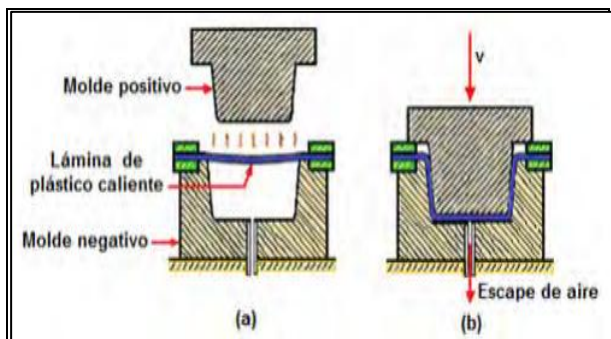
<sup>2</sup> [https://www.cabestisrl.com.ar/CABESTIsrl/02\\_informestecnicos\\_ad\\_01.htm](https://www.cabestisrl.com.ar/CABESTIsrl/02_informestecnicos_ad_01.htm). [citado el 3 de junio de 2015].

Cuando ocurre la alta inestabilidad elástica, el centro del material se mueve descendientemente, ocurriendo el estiramiento del material cercano a donde la lámina es sujeta y resulta un adelgazamiento en esa región y todo su contorno.

Entonces como el material se mueve hacia las paredes de la cavidad, cuando el vacío es aplicado, ocurre un estiramiento de la lámina uniformemente hasta que la lámina toca el molde. Donde quiera que la lámina toque el molde, el espesor de esa zona se vuelve constante. Por otro lado el estiramiento debe ocurrir en las áreas que todavía no han tocado el molde, típicamente en las maquinas, las áreas de mayor adelgazamiento están en las esquinas.

Otras áreas delgadas están cerca de la abrazadera, también en cualquier otra área en donde el material tenga que viajar distancias más largas. Por lo tanto, el espesor de una pared accidentada es inherente en esta técnica. La técnica de moldeado por vacío directo es mostrada en la figura 6.

Figura 6. Moldeado por vacío directo



Fuente. Autores

El moldeado por vacío directo es por lo general, empleado como la técnica cuando la parte exterior de la pieza (el lado que esta contra el molde) este debe de tener acabados finos o cero tolerancias.

2.1.1.2 Moldeado por presión positiva. La presión del aire que es positiva y que entra por la parte superior del plástico, es usada para forzar este material contra el

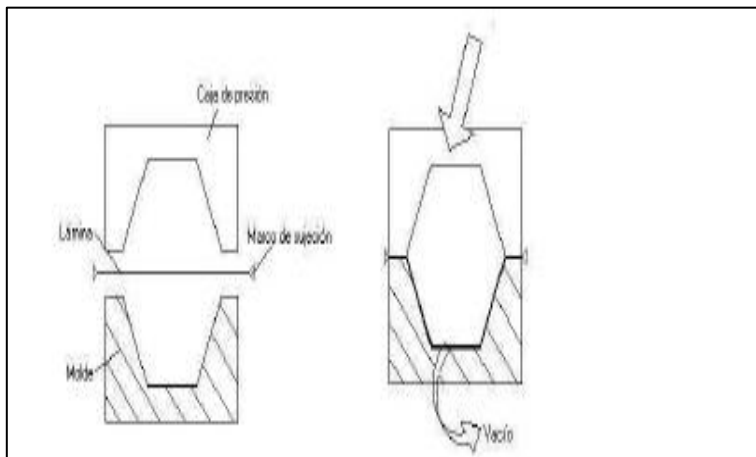
molde. La parte superior del plástico es usada para forzar el material contra el molde.

En el moldeoado por presión positiva el material es sujetado y calentado exactamente como en el moldeoado por vacío directo. La lámina ablandada es transferida al área del molde y es presionada para que exista un sello que le permita a la cámara superior, arriba del plástico, tener aire a presión. También el material se sella contra el molde hembra como se hace en el termoformado por vacío. El aire a presión es entonces introducido dentro del área superior del plástico ablandado, usualmente a través de un tubo de aire para asegurar que el aire sea uniformemente distribuido a través de la superficie del plástico. El aire a presión fuerza el plástico contra el molde. Los agujeros de desfogue aún son usados para asegurar que no haya aire atrapado entre el plástico y el molde.

La presión de aire usada en esta técnica es generalmente (101.3 a 2000 kPa), (14.6 psi a 300 psi); según información suministrada por técnicos que manejan esta técnica, de diferentes rangos de presiones y dependiendo del producto esta puede variar. La técnica de moldeoado por presión positiva se debe aplicar tan rápido como sea posible para prevenir desde el enfriamiento hasta el excesivo ablandamiento de la lámina.

La ventaja del método de presión es que los ciclos del molde pueden ser más rápidos que en el vacío directo, la lámina puede ser formada a una más baja temperatura porque la fuerza de la presión es más alta, y se cuenta con un mayor control de las dimensiones. La presión de vacío es limitada alrededor de una atmosfera (1 atm), mientras que la presión positiva en el moldeoado puede estar muy por encima de este valor. Cuando una fuente de presión positiva es usada, la presión se crea mucho más rápidamente y aun menor costo. Esta técnica es mostrada en la figura 7.

Figura 7. Moldeado por presión positiva



Fuente. [www.es.slideshare.net/Centeno Daniel/diseño y fabricación de un molde de Termoformado](http://www.es.slideshare.net/Centeno-Daniel/diseño-y-fabricación-de-un-molde-de-Termoformado).

2.1.1.3 Moldeo con preformador. Como se mencionó en el anterior caso de moldeo por presión positiva, ocurre de la misma forma como el material ablandado puede ser forzado dentro del molde por presión positiva de aire.

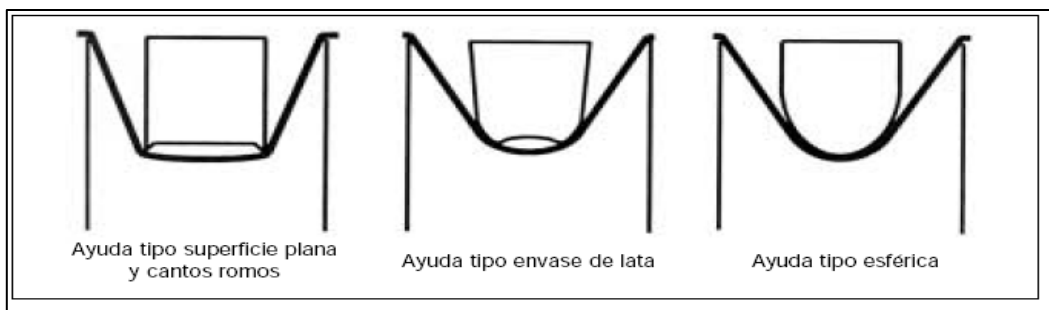
La lámina también puede ser forzada a descender por una presión mecánica. Es así que en el moldeo con preformador, un contramolde es usado para forzar el material dentro del molde, es decir, solo forma parte de un asentamiento positivo. Un vacío es entonces aplicado para jalar el material contra las paredes de la cavidad del molde y completar la operación de formado. En lugar de que sea usado el vacío para forzar la pieza contra las paredes, puede ser usada una presión de aire. Estas dos técnicas (vacío y presión), cuando el contramolde es usado, se les conoce como moldeo con preformador.

La característica principal del moldeo con preformado respecto al moldeo por vacío o por presión y una gran ventaja, es la mejor uniformidad de espesor de pared se puede obtener, especialmente para productos redondos o productos en forma de caja. El contramolde es usado para llevar material hacia las áreas que

serían muy delgadas, si por decir solo se usara moldeado por vacío directo o moldeado por presión. En el moldeado con preformador el ablandamiento inicial del material es mínimo durante el proceso, el contramolde es movido hacia el material constantemente. El contramolde, puede llevar algo del material hacia el moldeado y estirar las áreas que serían gruesas en el moldeado por vacío directo.

Cuando se usa el moldeo con preformador, el material en las esquinas es más grueso que en el caso del moldeo directo por vacío, el contramolde ejerce una retención del espesor en las esquinas de la pieza moldeada, tal que, la pieza terminada es más uniforme en su totalidad. Muchas máquinas de moldeado por vacío directo y por presión positiva, tienen la capacidad de moldear con preformador y también es conocido como molde auxiliar. Esta técnica es mostrada en la figura 8.

Figura 8. Moldeado con performador



Fuente.[www.es.slideshare.net/Centeno Daniel/diseño y fabricación de un molde de Termoformado](http://www.es.slideshare.net/Centeno-Daniel/diseño-y-fabricación-de-un-molde-de-Termoformado).

## 2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LA LÍNEA

- *Extrusora*. La extrusora es una máquina que basa su principio en la transformación de material plástico de gránulos a láminas a través de la fusión de material. La extrusora está compuesto por una caja de engranajes, el motor,

el cilindro, el tornillo, resistencias eléctricas para el calentamiento y un sistema de refrigeración.

- *Laminadora.* Está compuesta por un conjunto de rodillos paralelos de excelentes acabados superficiales, estos reajustan el espesor y el ancho de la lámina antes del ingreso a los calentadores.
- *Calentadores.* La lámina es calentada entre dos calentadores (superior e inferior), cada calentador tiene un número considerable de resistencias eléctricas divididas en zonas cuya temperatura es detectada por una pila termoelectrica. La temperatura de cada zona se verifica y se regula por un sistema de termorregulación.
- *Molde.* El molde está dividido en dos bloques; el inferior y el superior, los dos bloques están sujetos independientemente al termoformador por tornillos. El formado de los productos se hace mediante el movimiento del bloque inferior el cual está controlado por una leva o por un cilindro hidráulico y es guiado por columnas.
- *Apiladora.* Los productos formados se expulsan por un chorro de aire y caen en canales que van a parar al dispositivo de recolección, posteriormente son revisados, contados y empacados.
- *Triturador.* Es el encargado de recibir el retal (material plástico no termoformado) para su reciclaje o reaprovechamiento, el material obtenido del triturador es enviado de nuevo a la tolva de la extrusora.

## 2.3 EQUIPOS USADOS EN EL TERMFORMADO

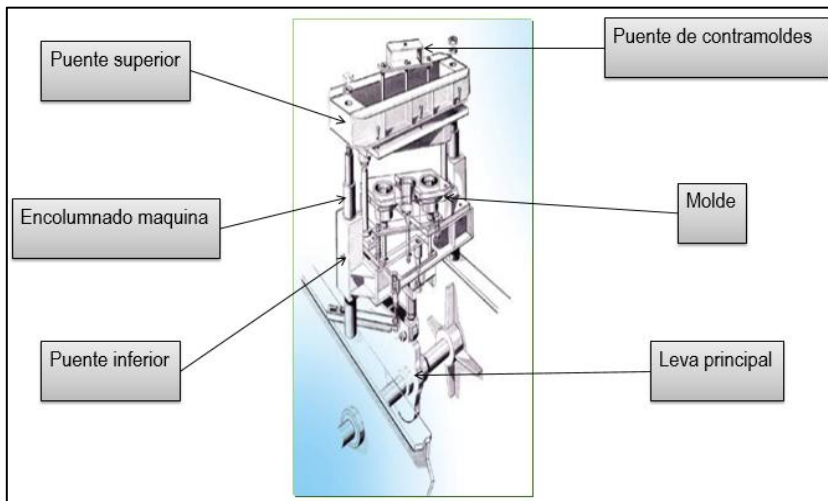
2.3.1 Termoformadora. Es una maquina donde se ubica el molde, contemplando funciones básicas para el termoformado como lo son.

- Sujeción de la lámina de moldeado
- Calentamiento de la lámina
- Un sistema de vacío o presión
- Controles apropiados de temperatura, resistencia
- Movimiento de la lámina y el moldeado dentro de una apropiada relación al moldearse
- Dispositivos de seguridad
- Selección de la lámina dependiendo de los materiales a moldear

Como se puede apreciar en la figura 9 y la figura 10 es considerada la máquina 3710 ILLIG y la estación sencilla de termoformado.

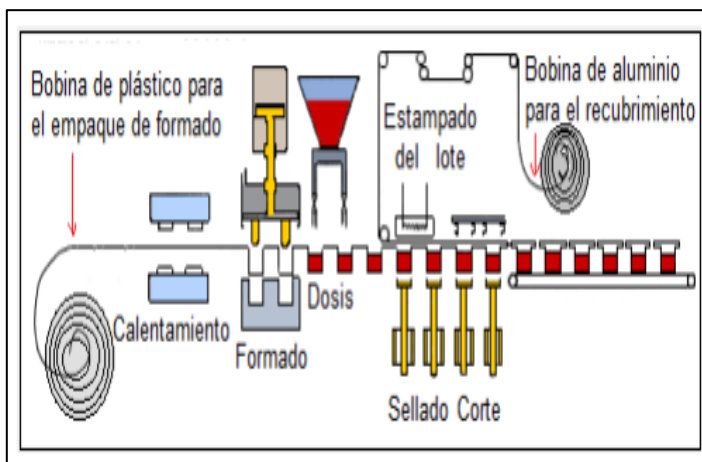


Figura 9. Estación sencilla de termoformado



Fuente. Multidimensionales S.A.

Figura 10. Máquina de termoformado continuo



Fuente. [www.dinieper.com.br/eua/maqTermo.html](http://www.dinieper.com.br/eua/maqTermo.html)

Básicamente el principio de funcionamiento es agrupar el tipo de moldeado mencionado.

La lámina de plástico se coloca en un mecanismo transportador que permitirá al material ser movido y sacarlo del formado.

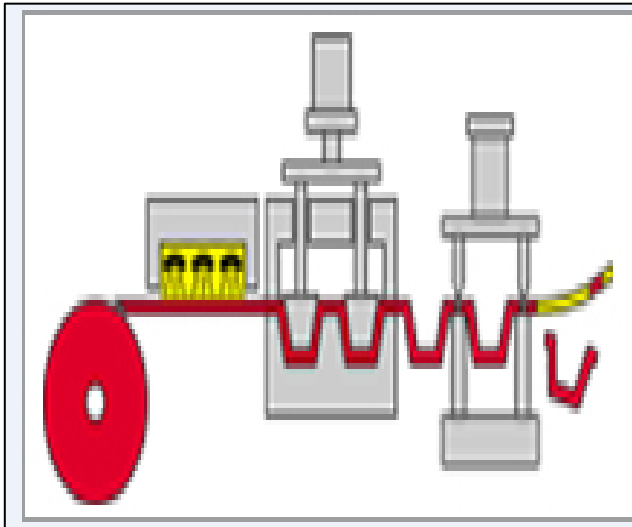
El calentador puede ser de cualquier tipo, el cual debe calentar completamente por encima toda el área de manera uniforme, calentadores infrarrojos son probablemente los más comunes. Los calentadores pueden ser colocados a ambos lados por encima y debajo del plástico si las láminas plásticas para formar son gruesas. Los calentadores son usualmente encerrados en una caja aislante (horno) a fin de que se prevengan grandes pérdidas.

El molde se coloca en una tabla (mesilla) que es conectada al vacío. La tabla de vacío es conectada a la bomba de vacío pero, como el vacío debe ser aplicado muy rápido cuando el moldeo es hecho, es muy común tener un tanque grande de arranque entre el funcionamiento continuo de la bomba de vacío y la tabla de vacío, entonces, cuando el vacío va a ser aplicado, una válvula conectada entre el tanque y a la tabla de vacío es abierta.

Usualmente esta supuesto que la maquina está equipada para realizar el corte de la pieza, este puede ser hecho en la máquina de moldeo o en otra máquina separada. Una mayor velocidad de producción puede ser conseguida usando máquinas de termoformado-multiestación. Frecuentemente estas son puestas en fila en forma rotatoria de modo que la máquina de plástico es cargada en una estación, calentada en otra, formada en otra, y cortada y removida en la estación original de carga.

Estas máquinas pueden ser altamente automatizadas o parcialmente automatizadas. Las máquinas de multiestación son especiales para satisfacer producciones grandes. Esta máquina es mostrada en la figura 11.

Figura 11. Máquina de termoformado-multiestaciones



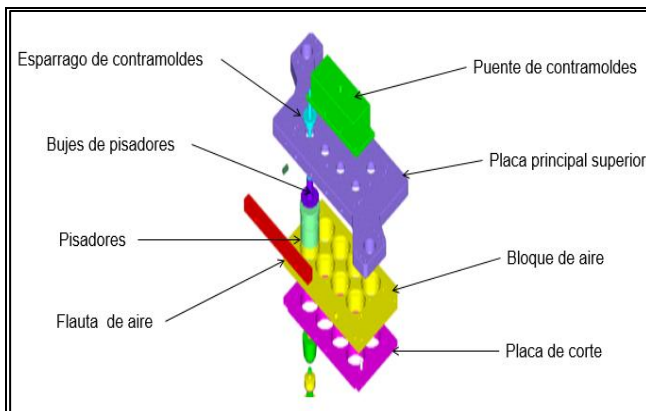
Fuente. [www.illig.de](http://www.illig.de)

## 2.4 COMPONENTES Y DESCRIPCIÓN DEL MOLDE

A continuación se realiza la descripción del molde con sus partes más significativas. El molde que será descrito cuenta con las partes más comúnmente encontradas en un molde estándar, el cual da una idea más cercana de como es el funcionamiento del mismo, y cuáles son los pasos realizados para termoformar un producto.

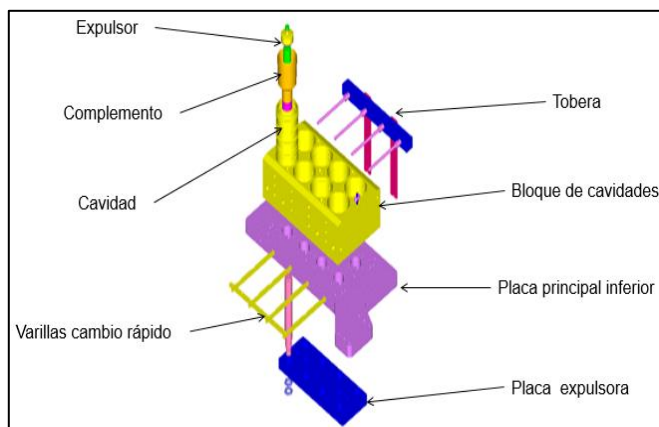
A continuación en las figura 12 y figura 13, se podrá observar cómo están dispuestos el conjunto del molde.

Figura 12. Disposición del molde conjunto superior



Fuente. Autores

Figura 13. Disposición del molde conjunto inferior

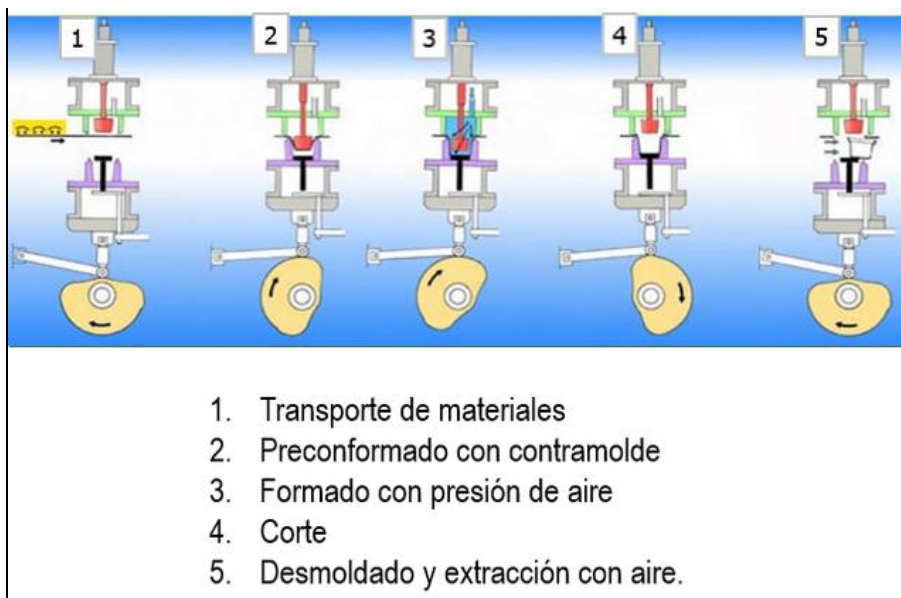


Fuente. Autores

2.4.1 Descripción del funcionamiento del molde. El funcionamiento básico de un molde de manera práctica y que se pueda comprender es mediante un ciclo y en el cual se trasformaría la lámina de plástico. Este ciclo puede tener algunas variaciones de acuerdo al molde o a la clase de producto que se quiera transformar pero básicamente el principio de funcionamiento es el mismo.

Una placa de material termoplástico es calentada a una temperatura de reblandecimiento, se coloca sobre el molde hembra para hacer vacío en dicho espacio de modo que el material se estire y tome la forma de la superficie del molde. Una vez se enfría la pieza se extrae y se corta sacando el sobrante del material y se obtiene la pieza terminada. En la figura 14 se representa el funcionamiento del molde.

Figura 14. Funcionamiento del molde



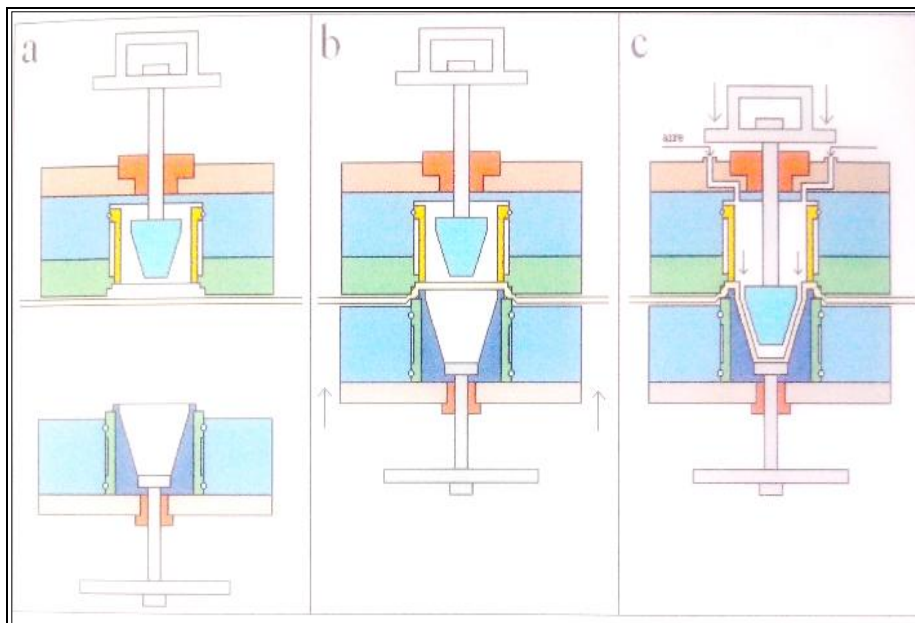
Fuente. Multidimensionales S.A.

2.4.1.1 Tiempos del molde. Las piezas que hacen parte del molde y el movimiento del mismo están descritas en las figuras 15 y figura 16.

- El primer paso es el ingreso de la lámina al molde a una temperatura necesaria para la realización del proceso. ( a )
- El bloque inferior sube hasta lograr el cierre parcial del molde y se oprime la lámina entre el pisador y la cavidad. ( b )

- Luego baja el puente de contramoldes e ingresa aire por el bloque de aire de formado, el cual obliga a que el material se adhiera a las paredes de las cavidades. En algunos casos puede ser el aire el que entre en contacto con la lámina primero esto depende del producto y de los espesores que se espere obtener en las diferentes partes de la pieza. ( c )

Figura 15. Tiempos de molde a,b,c.

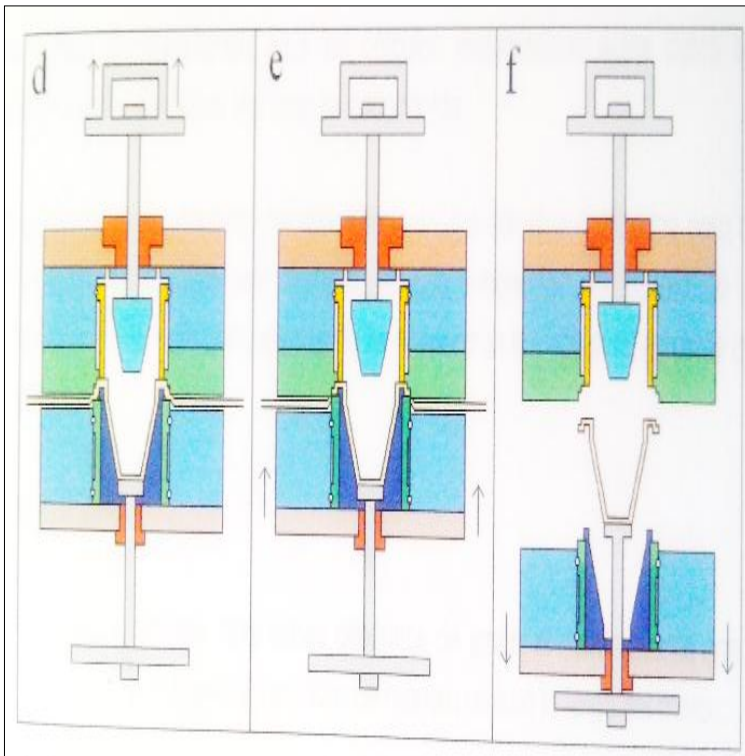


Fuente. Multidimensionales S.A.

- Sube el puente de contramolde a su posición original y se cierra la entra del aire. ( d )
- Se realiza el corte del producto, el molde se cierra completamente y la lámina es cortada por la placa de corte y la cavidad mediante cizallamiento.( e )
- El bloque inferior baja, los espárragos de expulsiones se mantienen arriba y sobre ellos descansa el producto formado. En algunos casos se puede contar con vacío en los expulsores para que el producto no se caiga del mismo, el

vacío es empleado mientras el bloque inferior baja hasta cuando es retirado el producto. Esto depende de la maquina en la cual se realiza el termoformado y del tipo de producto. ( f )

Figura 16. Tiempos de molde d,e,f.



Fuente. Multidimensionales S.A.

## 2.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS TECNOLOGÍAS

2.5.1 Tecnología ILLIG. La compañía Alemana Adoflllig fue fundada en 1946 y fabrico su primera máquina de termoformado por vacío en el año 1956 para entonces nadie (sospechaba) que el formado de materiales termoplásticos se aplicara en tantos campos de la industria.

Basado en necesidades de cliente, ILLIG manufactura técnicamente sistemas de producción económicos y sofisticados, 70% de estos vendidos fuera de Alemania. Más de 80 técnicos e ingenieros desarrollan y construyen soluciones integrales para nuevos moldes y herramientas junto con nuevas máquinas y técnicas del proceso de termoformado.

Es así, el caso de que los dispositivos ILLIG realizan cambios rápidos para herramientas y moldes que son inseparablemente unidos a su concepción de máquinas. Esta tecnología de procedimientos y su estructura de producción de sus clientes determinan la tecnología de herramientas y máquinas. El resultado son sistemas de cambio rápido optimizados para juegos completos de herramientas o sistemas de cambio para todas las piezas de formatos. Todos los resultados se utilizarán para la construcción de las herramientas, y la optimización de sus parámetros tendrá lugar durante la aceptación final, la cual se hará en una máquina ILLIG.

2.5.2 Molde ILLIG. El molde ILLIG, se utiliza para bases genéricas de jabón, el molde cuenta con tres cavidades ubicadas de manera recta a lo largo del molde.

✓ Tablas de información técnica

- En la tabla de operación (Tabla 4) se encuentran consignados los parámetros de variables del proceso, los tiempos de funcionamiento del termoformado y las condiciones de la lámina a termoformar.
- En la tabla de información técnica (Tabla 5) también se encuentra los diferentes tipos de materiales de fabricación de los moldes con sus respectivos tratamientos térmicos de la información levantada en el trabajo de campo.



Tabla 4. Variables del proceso del molde

✓	Tiempo de calefacción: tiempo que dura el ciclo de calefacción, desde que los calefactores cubren la plancha hasta que se retiran.
✓	Tiempo máximo de calentamiento: es otro parámetro que nos permite definir el fin del ciclo de calentamiento. Se puede utilizar en lugar del parámetro temperatura de pirómetro.
✓	Tiempo de estiraje: tiempo durante el cual se infla la plancha mediante la inyección de aire, generándose el globo.
✓	Tiempo subida molde: tiempo desde que se retira el calefactor y se inicia el globo hasta que empieza a subir el molde.
✓	Tiempo previo de vacío: tiempo desde que el molde está en el extremo superior del recorrido hasta que se inicia el vacío.
✓	Tiempo de vacío: duración del periodo durante el que se aplica vacío al artículo a través de los canales del molde.
✓	Tiempo previo de refrigeración: tiempo desde que se inicia el vacío hasta que saltan los ventiladores.
✓	Tiempo de refrigeración: tiempo durante el cual los ventiladores permanecen encendidos y enviando chorros de aire sobre el artículo.
✓	Tiempo de separación: tiempo que transcurre desde que finaliza el ciclo de refrigeración hasta que se insufla aire para despegar la pieza del molde.

Fuente. Autores

Tabla 5. Materiales de fabricación para el molde ILLIG.

PARTE	MATERIAL	TRATAMIENTO
Bloque de aire	Acero 1040	
Placa de corte	Acero D3	Temple revenido
Buje placa de corte	Bronce	
Bloque inferior	Acero 1020	
Pisador	Acero 1040	
Placa principal superior	Acero 1020	
Expulsores	Acero 1020	Cromoduro
Base expulsión	Duraluminio	
Espárragos expulsores	Acero 1020	
Cavidades	Acero D3	
Complementos	Duraluminio	Anonizado
Placa expulsores	Acero 1020	
Buje espárrago expulsor	Bronce	
Puente de contramoldes	Acero 1040	
Contramoldes	Acero 1020	Cromoduro
Buje contramoldes	Nylon y Bronce	

Fuente. Multidimensionales S.A

2.5.3 Análisis de fluidos al interior del molde. Para este análisis se requiere conocer la longitud de distribución, el diámetro de la misma, la rugosidad de los ductos y el coeficiente de resistencia por cambios en las secciones transversales de los ductos al interior del molde. Se estudiarán más a fondo estos parámetros de entrada al molde en el capítulo 4.0 del desarrollo del proyecto.

- *Longitud de la distribución.* Al determinar la longitud de la distribución del agua por línea o ramal se toma la longitud del ducto cuya función es la distribución primaria a lo largo de las líneas de la refrigeración.
- *Diámetro.* El diámetro que se toma para llevar a cabo el análisis es equivalente a los diámetros que sale de las toberas de distribución hacia las zonas principales de refrigeración de cada línea.
- *Rugosidad.* En la distribución del agua al interior de la placa de corte, el bloque inferior y la placa de expulsos se encuentran diferentes rugosidades y materiales, pero constituyen la mayor área rugosa. Los ductos principales de distribución que se caracterizan por mecanizado primario.
- *Coeficientes de resistencia.* Los coeficientes de resistencia presente en cada línea son tomados de acuerdo a los cambios de sección transversal y accesorios que presenta cada elemento.

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 TIPO DE ESTUDIO

En el proyecto Propuesta para Optimizar Sistemas de Refrigeración en moldes de termoformado para Multidimensionales S.A se desarrollara un proyecto de aplicación tecnológica debido a que se abarcan conceptos de optimización análisis de tecnologías como la transferencia de calor y la mecánica de fluidos.

#### 3.2 UNIDAD DE ANÁLISIS

El campo de estudio tiene sus bases en la industria de la transformación de plástico, en el diseño de componentes mecánicos para moldes de termoformado mediante el análisis termodinámico y de mecánica de fluidos.

#### 3.3 UNIDAD DE ESTUDIO

El desarrollo del proyecto se basara en el estudio de las ciencias de la termodinámica y la mecánica de fluidos en apartados como:

- La transferencia de calor en materiales
- Análisis de fluidos
- Cálculos de dispersión de calor
- Cálculos de diámetro tuberías
- Cálculos de caudales y presiones de operación

### 3.4 UNIDAD DE TIEMPO

El tiempo de desarrollo del proyecto es un promedio cerca a los dos años comprendido entre febrero del 2015 y febrero del 2017.

### 3.5 UNIDAD GEOGRÁFICA

La investigación se adelantará en la Ciudad de Bogotá DC. en la empresa Multidimensionales S.A.

### 3.6 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Método Cuantitativo: Se elige este método como base fundamental de la investigación debido a que los métodos cuantitativos consisten en información estructurada y estandarizada, como lo son los cálculos de eficiencia de la refrigeración, en donde se investigarán y seleccionarán las variables basadas en los cálculos y las mediciones realizadas en el trabajo de campo.

Esta información se presentará en formato numérico ya que analiza datos cuantitativos sobre variables, estudiando la relación entre estas.

### 3.7 PARTICIPANTES

Investigadores:

José Ángel Cruz Cadena y Jonatán Andrés Pinzón Osorio

Colaboradores

Jhon Alejandro Galindo (Asesor) y Multidimensionales S.A.

### 3.8 POBLACIÓN

La población que se involucra en el estudio y desarrollo del proyecto son los departamentos de diseño, mantenimiento y mejoramiento de moldes de la empresa Multidimensionales S. A.

### 3.9 MUESTRA

Para el desarrollo del proyecto se tomara el molde con código interno MPMIL - 199001.

### 3.10 INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

3.10.1 Instrumentos. Ficha: Se tomaran como referencia las fichas y cálculos establecidos por los fabricantes y libros técnicos.

3.10.2 Equipos. Los equipos requeridos para realizar la investigación y desarrollo del programa son:

Computador portátil

- Software Inventor, Microsoft Word, Microsoft Excel.
- Catálogos de referencia de propiedades físicas, químicas y mecánicas de los aceros.
- Libros de referencia sobre cálculos termodinámicos y mecánicos de fluidos.

## 4. DESARROLLO DEL PROYECTO

### 4.1 CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN DEL MOLDE 199001

Con el fin de establecer las condiciones actuales de operación del molde se realiza un trabajo de campo, tomando medidas termodinámicas y de operación como se representa en la figura 17. Además de datos suministrados por el departamento de mantenimiento mecánico. Estos valores se ven representados en la tabla 6.

Figura 17. Toma de parámetros en la operación del molde



Fuente. Autores

Tabla 6. Toma de datos en la operación del molde de Termoformado 199001.

PARÁMETROS DE ENTRADA AL MOLDE		
VARIABLE	VALOR	UNIDADES
Temperatura entrada agua (Te)	9 - 10	°c
Temperatura salida producto (Tr <sub>1</sub> )	60	°c
Temperatura de lámina Retal (Tr)	105	°c
Presión	8	Bares
Caudal	6	Galones/minuto
Ø Tubería Entrada	10	mm
Temperatura entrada del producto (lamina) (TI)	130	° c
Ancho de Placa de Corte (l)	426	mm
Largo de Placa de corte (h)	180	mm
Área de trasferencia de calor Línea 2 (A)	0,071592	m <sup>2</sup>

LÍNEA DE AIRE		
VARIABLE	VALOR	UNIDADES
Presión	95	psi
Ø Tubería	8	mm

MOLDE 199001		
VARIABLE	VALOR	UNIDADES
Numero de cavidades	10	
Diámetro de corte de Cavidades (d)	75,4	mm
Temperatura salida agua	11	°c
Números de Ciclos / minuto (NC)	12	Ciclos / minuto
Temperatura externa molde superior	38	°c
Temperatura externa molde inferior	35	°c

LÁMINA		
VARIABLE	VALOR	UNIDADES
Tipo de lámina		Polipropileno
Calibre de lámina	0,064	Pulgada
Ancho de la lamina	46	mm
Temperatura de formado de la lamina	130	°c
Temperatura ambiente	25	° c
Espesor de lámina (e)	1,5	mm

Fuente. Autores



Con el fin de identificar las posibles causas de la baja eficiencia del molde 199001 se realizara una matriz comparativa, en la cual se analizan valores relacionados con el proceso de termoformado y los sistemas de refrigeración de los moldes 199001 y 197997.

Tabla 7. Comparación de valores moldes 199001 y 197997.

MOLDE	CICLOS POR MINUTO	TIEMPO DEL CICLO (Seg)	TEMPERATURA DEL MOLDE INFERIOR (°C)	TEMPERATURA DEL MOLDE SUPERIOR (°C)	TEMPERATURA DE LA LAMINA (°C)
197997	17	3,529	28	30	150
199001	12	5	38	35	130
DIFERENCIA	5	-1,470	-10	-5	20

Fuente. Autores

Después de analizar los valores de la tabla 7 se puede evidenciar que el molde 199001 presenta un tiempo ciclo mayor al molde 197997 y a su vez el molde 197997 trabaja con una temperatura de lámina mayor.

Con el fin de evidenciar en qué etapas del proceso se está perdiendo tiempo del ciclo de máquina en los dos moldes, se realiza la tabla comparativa número 8, en la cual se describen los tiempos de cada proceso del termoformado para cada molde. Dicha información fue recolectada de la ficha técnica de ajuste del proceso de termoformado, la cual no es referenciada ni citada como anexo debido a políticas de confidencialidad para la empresa, ver anexo 13.

Tabla 8. Comparación de tiempos de proceso moldes 199001 y 197997.

<i>PROCESO</i>		<i>197997</i>	<i>199001</i>	<i>DIFERENCIA</i>
1	APERTURA MOLDE	1	1	0
2	AVANCE LAMINA	0,3	0,3	0
3	CIERRE DE MOLDE	0,5	0,5	0
4	AIRE DE FORMADO	0,2	0,8	-0,6
5	PUENTE DE CONTRAMOLDES	1	1,7	-0,7
6	PISADORES	0,2	0,2	0
7	CORTE	0,3	0,5	-0,2
8	TIEMPO TOTAL	3,5	5	-1,5
<i>UNIDADES DADAS EN SEGUNDOS</i>				

Fuente. Autores

En la tabla 8 se evidencia que la pérdida de tiempo se ve reflejada en los procesos del puente de contra moldes y aire de formado. Variable que está directamente relacionada con la temperatura de la lámina ya que debido a que se trabaja con una menor temperatura de lámina, los procesos del puente de preformadores y aire de formado deben ser más lentos, pues son ellos los que modifican la estructura de material mediante procesos de embutido y aire presurizado, con el fin de dar la forma final al producto, al subir la temperatura de la lámina esta incrementará el índice de fluidez y módulo de elasticidad de la lámina; variables que mejoran el tiempo de ciclo de cada proceso.

Para el análisis y propuestas de mejoras del molde 199001 se tendrá como referente y objetivo lograr un incremento en la temperatura de trabajo de la

lámina, de 130 °C a 150 ° C mediante modificaciones en diseño del sistema de refrigeración, buscando mitigar el incremento de temperatura propuesto en la lámina con el fin de conservar los valores de transferencia de calor y flujos de agua refrigerada actuales. Lo anterior con el fin de mejorar los tiempos del proceso de puente de preformador y aire de formado.

4.1.1 Descripción de la línea 1. El procesamiento y distribución del agua en la empresa Multidimensionales S.A, se realiza gracias a tres torres de enfriamiento las cuales entregan agua a un sistema de tuberías las cuales la distribuyen a cada máquina y sistema de refrigeración de los moldes. El molde 199001 cuenta con dos circuitos de refrigeración que conducen agua refrigerada y están ubicados en la placa de corte y bloque inferior del molde. La temperatura de entrada del agua al molde es controlada mediante un termorregulador ubicado cerca a la máquina, registra una temperatura de 10 grados centígrados, el caudal es medido por un caudalímetro en el cual registra un caudal de 6 Galones por minuto.

- *Líneas de distribución.* Para el análisis y estudio de los sistemas de refrigeración del molde se constituyó una línea o ramal del circuito de distribución descrito en la tabla 9.

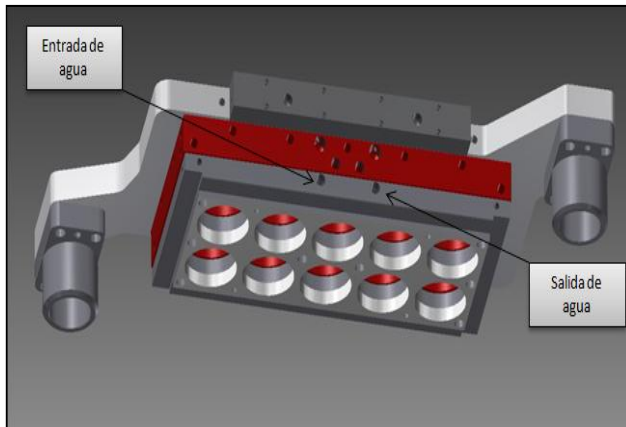
Tabla 9. Distribución de agua en el Molde 199001.

MOLDE ILLIG 109001	
Distribución	Elementos
Línea 1	Placa de corte
Línea 2	Bloque inferior
Línea 3	Bloque de Cavidades

Fuente. Autores

En la figura 18 se observa la parte superior de molde donde se encuentra la placa de corte (línea 1 de refrigeración), en ella se pueden observar la entrada y salida de agua.

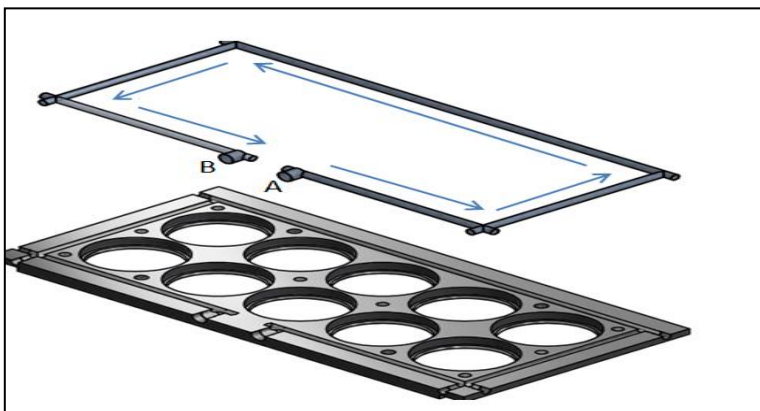
Figura 18. Molde conjunto superior



Fuente. Autores

En la figura 19 y 20 se puede observar un corte de la pieza placa de corte (Línea 1) en donde se representa la entrada y salida del agua además la estructura de los ductos de transporte de la misma y el recorrido del agua por los ductos.

Figura 19. Ductos de refrigeración entrada y salida de agua línea 1

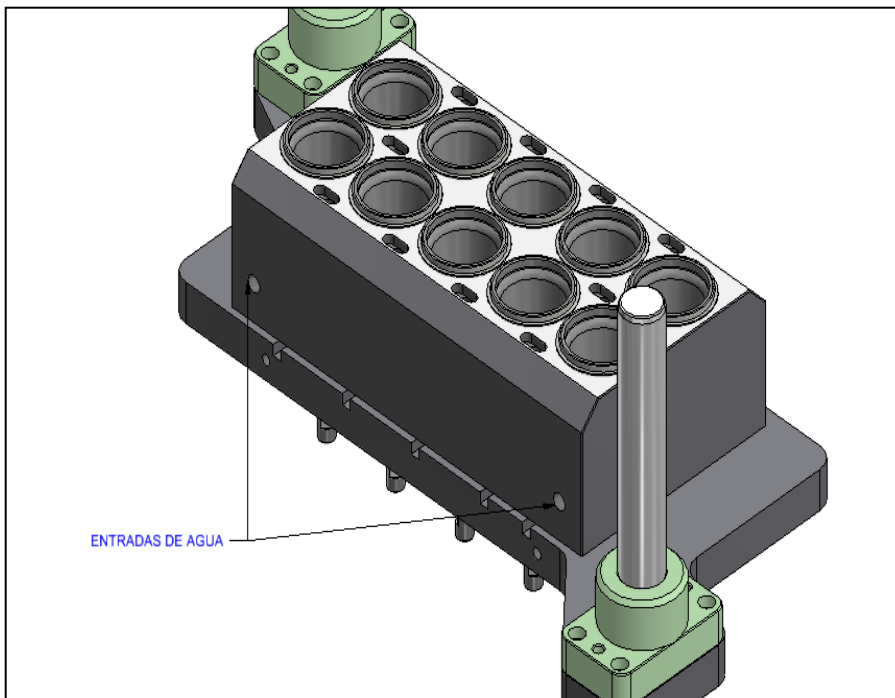


Fuente. Autores

Technical drawing of a rectangular plate with 10 circular holes arranged in a 2x5 grid. The plate has overall dimensions of 436 mm width and 184 mm height. The holes have a diameter of 108 mm. The center-to-center distance between holes is 178 mm horizontally and 64 mm vertically. The plate has 3/8-18 NPT threaded holes at the top and 1/8-27 NPT threaded holes at the bottom. The plate is labeled "Ø6 - 207 DEEP" and "Ø8 - 456.5 DEEP".

4.1.2 Descripción de la Línea 2. El molde 199001 cuenta con un circuito de refrigeración para la parte inferior en el cual circula agua refrigerada, cuyo objetivo es el de mantener una temperatura óptima de operación en las cavidades, las cuales permiten dar forma final al producto, estas a su vez reciben directamente la temperatura en que la lámina es termoformada alrededor de 130 °C. Su sistema de refrigeración debe ser capaz de disipar esta temperatura y mantener el molde en una temperatura de operación de 20 °C. En la figura 21 se puede observar un esquema de la parte inferior del molde en el cual se representa la estructura externa del molde y las entradas de agua para la refrigeración de la misma.

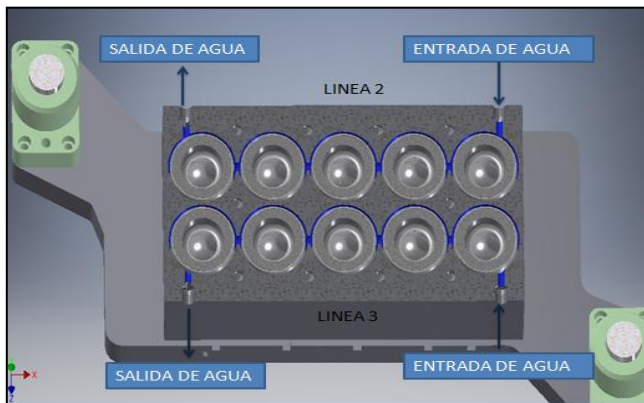
Figura 21. Esquema de parte inferior



Fuente. Autores

En la figura 22 se puede observar un plano en corte del conjunto del molde parte inferior, se puede evidenciar el flujo de agua a través de la línea 2 y línea 3 en color azul, a su vez también se ven representadas las entradas y salidas de agua a través de las correspondientes líneas. Ya que las líneas son iguales dimensionalmente, se realizará un estudio único para las dos, pues los valores serán iguales debido a la similitud.

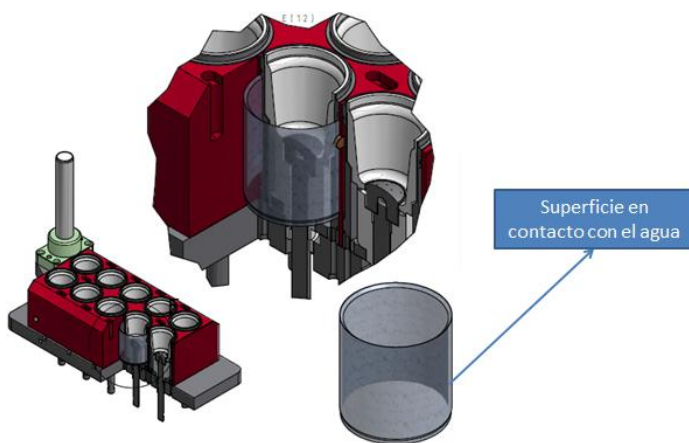
Figura 22. Esquema en corte del bloque de cavidades líneas 2 y línea 3



Fuente. Autores

En la figura 23 se representa una sección en corte frontal, en el cual se puede observar el detalle el flujo de agua alrededor de los anillos y su posicionamiento en este, también se puede evidenciar en color azul la superficie que está en contacto con el agua. Estos serán descritos y analizados dimensionalmente durante el desarrollo del proyecto, cuando se realicen los cálculos de mecánica de fluidos para determinar el diámetro equivalente.

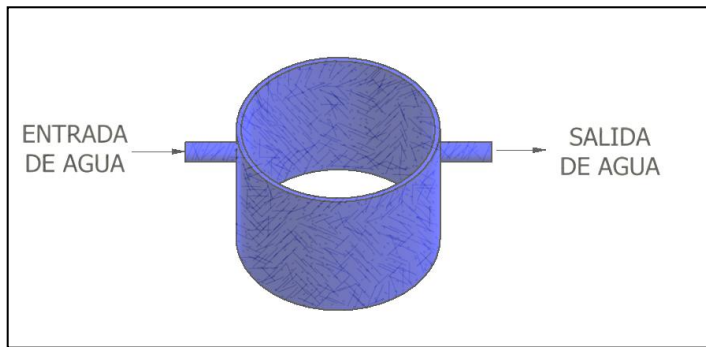
Figura 23. Plano de Corte Frontal línea 2 y línea 3



Fuente. Autores

4.1.2.1 Cálculo del Diámetro Equivalente de los Anillos de Refrigeración. Para determinar el diámetro equivalente de los anillos de refrigeración, se debe representar como una tubería circular y realizar los cálculos descritos en el siguiente capítulo. A continuación se ilustra el anillo de refrigeración de los bloques inferiores y de cavidades, representados en la Figura 24.

Figura 24. Anillo de Refrigeración para los bloques inferior y de cavidades



Fuente Autores

Para poder relacionar la forma geométrica del Anillo se toma como un equivalente el diámetro hidráulico ( $D_h$ ) que representa el diámetro de los ductos de distribución en la línea 2 y línea 3, expresado como:

$$D_h = 4R_h \quad \text{Ecuación 4.0}^3$$

$$R_h = \frac{As}{Pm} \quad \text{Ecuación 4.1}^4$$

Donde

$D_h$  = Diámetro Hidráulico del Anillo de Refrigeración

<sup>3</sup> **SHAMES, Irving H.** *Mecánica de Fluidos 3 ed.* Bogotá D.C. : McGraw-Hill, 1995. 352.p.

<sup>4</sup> *Ibíd.*, p. 353.



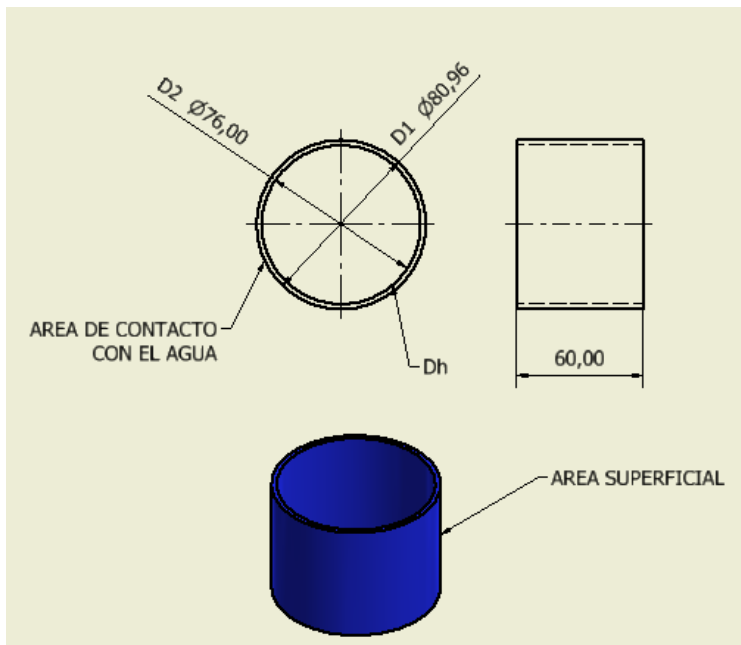
$Rh$  = Radio Hidráulico del ducto Circular

$As$  = Área de la sección transversal superficial del anillo de Refrigeración

$Pm$  = Longitud del Perímetro Mojado del Anillo de Refrigeración

El diámetro hidráulico ( $D_h$ ) será el que se tome como variable en la relación para obtener el Número de Reynolds ( $Re_h$ ), este valor de Número de Reynolds permitirá conocer si el flujo es Turbulento o Laminar. Por consiguiente, él  $Dh$  se puede ilustrar de las dimensiones representadas en la figura 25.

Figura 25. Dimensionamiento de los Anillos de Refrigeración en mm.



Fuente. Autores

Este diámetro depende del Área Superficial ( $As$ ) y del Perímetro Húmedo o Mojado ( $Pm$ ). Se determina mediante las siguientes Ecuaciones.

a. Área Superficial del Anillo de Refrigeración

$$As = (Al_1 + Ab_1)_{A_1} - (Al_2 + Ab_2)_{A_2} \quad \text{Ecuación 4.2}^5$$

Donde

$A_1$  = Área Transversal de la pared del Anillo de Refrigeración Mayor ( $D_1$ )

$A_2$  = Área Transversal de la pared del Anillo de Refrigeración Menor ( $D_2$ )

$Al_1$  = Área Transversal Lateral del Anillo de diámetro  $D_1$

$Ab_1$  = Área Transversal de la Base del Anillo de diámetro  $D_1$

$Al_2$  = Área Transversal Lateral del Anillo de diámetro  $D_2$

$Ab_2$  = Área Transversal de la Base del Anillo de diámetro  $D_2$

La Ecuación que representa el Área para el diámetro mayor ( $D_1$ ) de los Anillos será:

$$A_1 = Al_1 + Ab_1 \quad \text{Ecuación 4.3}$$

$$A_1 = (2\pi \times r_1 \times h) + (2\pi \times r_1^2) \quad \text{Ecuación 4.4}^6$$

La Ecuación que representa el Área para el diámetro menor ( $D_2$ ) de los Anillos será:

$$A_2 = Al_2 + Ab_2$$

$$A_2 = (2\pi \times r_2 \times h) + (2\pi \times r_2^2)$$

---

<sup>5</sup> **Mott, Robert L.** *Mecánica de Fluidos 4 ed.* Mexico : Pearson, 2002. 227 p.

<sup>6</sup> *Ibíd.*, p. 227.

El valor del área del anillo en contacto con el agua  $A_1$  y el valor del área del anillo que no está en contacto con el agua  $A_2$  serán:

$$A_1 = (2\pi \times 0,06 \text{ m} \times 0,04048 \text{ m}) + (2\pi \times (0,04048 \text{ m})^2)$$

$$A_1 = 0,02555 \text{ m}^2$$

$$A_2 = (2\pi \times 0,038 \text{ m} \times 0,06 \text{ m}) + (2\pi \times (0,038 \text{ m})^2)$$

$$A_2 = 0,02333 \text{ m}^2$$

El valor del Área superficial del anillo de refrigeración será de:

$$A_s = A_1 - A_2$$

$$A_s = 0,02555 \text{ m}^2 - 0,02333 \text{ m}^2$$

$$A_s = 0,002157 \text{ m}^2$$

#### b. Perímetro Mojado del Anillo

El perímetro mojado es la suma de la base de los lados y la circunferencia del Anillo.

$$P_m = 2h + 2\pi(r_1 + r_2) \quad \text{Ecuación 4.5}^7$$

$$P_m = 2 \times (\pi(r_1 + r_2) + h) \quad \text{Ecuación 4.6}$$

$$P_m = 2 \times 0,06 \text{ m} + 2\pi(0,04048 \text{ m} + 0,038 \text{ m})$$

$$P_m = 0,613 \text{ m}$$

---

<sup>7</sup> Ibíd., p. 228.

Una vez determinado el perímetro húmedo ( $P_m$ ) se calcula el radio hidráulico ( $R_h$ )

$$R_h = \frac{A_s}{P_m}$$

$$R_h = \frac{0,002157 \text{ m}^2}{0,613 \text{ m}}$$

$$R_h = 0,00352 \text{ m}$$

Remplazando los valores conocidos en la ecuación 4.0 el diámetro equivalente de los Anillos de Refrigeración ( $D_h$ ) se representan en Tabla 10.

Tabla 10. Calculo del diámetro equivalente de los anillos de refrigeración.

Radio $r_1$ (m)	Radio $r_2$ (m)	Altura $h$ (m)	Área Superficial del Anillo ( $A_s$ ) (m <sup>2</sup> )	Perímetro Mojado $P_m$ (m)	Radio Hidráulico $R_h$ (m)	Diámetro Hidráulico $D_h$ (m)
0,04048	0,038	0,06	0,0021578	0,6131	0,003519	0,01407

Fuente. Autores

4.1.3 Descripción del estado actual de los fluidos de refrigeración de los ductos del Molde IILIG. Para realizar el análisis del sistema actual del Molde en la distribución de Agua para la refrigeración del mismo, se requirió conocer:

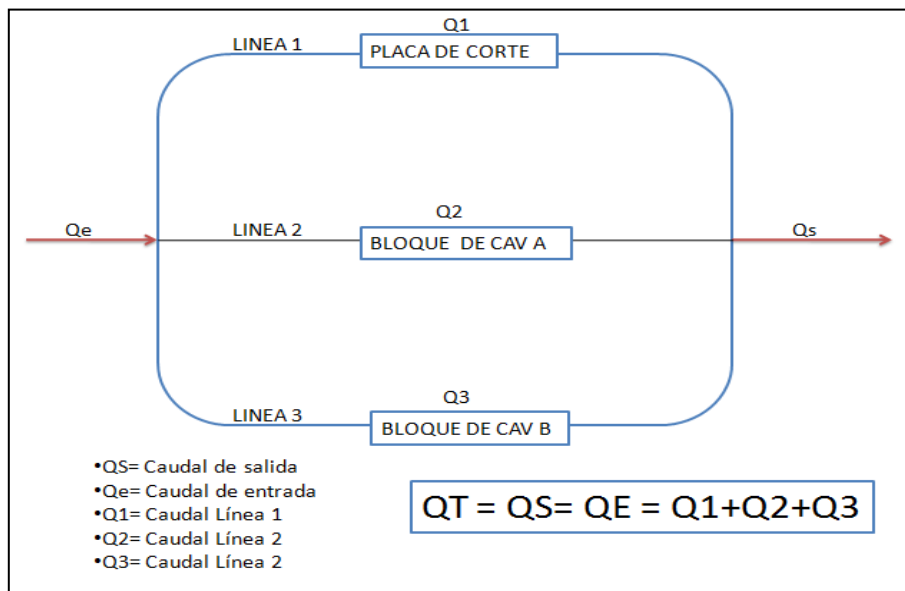
- Las longitudes de distribución: Esta longitud corresponde al tramo recto de ducto distribuido por la placa de corte, en la cual fluye el agua mojando la pared al interior del ducto.

- Los accesorios: Son las restricciones presentes en cada tramo del ducto de las líneas de refrigeración tales como Codos y Racores.
- Los diámetros de entrada de los ductos: Este diámetro corresponde al diámetro equivalente del ducto de cada línea de refrigeración.

En los anexos 1 y anexo 2 se encuentran consignados los valores del estado actual del circuito de refrigeración del molde de las longitudes, accesorios y el diámetro de los ductos, obtenidos mediante el trabajo de campo.

La distribución de agua de las líneas se considera como un fluido que va de la sección 1 ( $Q_e$ ) a la sección 2 ( $Q_s$ ), con una Caudal ( $Q_T$ ) constante en los ductos cerrados, representados en la figura 26.

Figura 26. Circuito de distribución de agua en las líneas del Molde IILIG



Fuente. Autores

La descripción del flujo representado en la figura 26, implica un análisis Mediante la Mecánica de Fluidos para poder entender los principales principios de flujos en

ductos circulares y no circulares cerrados presentes en cada sección de las líneas en su trayectoria continua única.

El método para calcular el Caudal (Q1, Q2, Q3) en cada una de las líneas del circuito se toma como referencia el procedimiento utilizado por la Mecánica de Fluidos donde analizan un sistema de tres ramas como un circuito de tuberías en paralelo, explicado a continuación.

#### 4.2 TUBERÍA EN PARALELO DEL CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN DE LAS LÍNEAS DEL MOLDE ILLIG.

Es un sistema de tubería en donde el flujo sigue un recorrido por cada rama de distribución en los diferentes ductos.

Con el fin de conocer cada flujo volumétrico que se encuentra en las líneas de distribución de agua por el molde y las pérdidas de presión en la entrada y salida de las Líneas de Distribución. Se dispone a estudiar dichas perdidas usando el método de tubería en paralelo. En la Tabla 11 se presentan los datos Iniciales de la disposición en las Líneas de Distribución del Molde.

Tabla 11. Datos del molde ILLIG para el análisis.

Ducto	Le (m)	D (m)	Rugosidad $\epsilon$ (m) (Ver Anexo 3)	Viscosidad $\vartheta$ (m <sup>2</sup> /s) (Ver Anexo 4)	Área (m <sup>2</sup> )	Qe m <sup>3</sup> /s Ecuación 4.7	Pe ( $\frac{N}{m^2}$ )
Entrada		0,012	0,000046	1,30E-06	0,000113097	0,00037854	800000
1	1,45	0,008	0,000046	1,30E-06	5,02655E-05		
2	1,257	0,014	0,000046	1,30E-06	0,00215783		
3	1,257	0,014	0,000046	1,30E-06	0,00215783		

Fuente. Autores.

Se plantean dos métodos para encontrar los valores de los Caudales  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$ , la presión en los ductos, los factores de fricción en cada ducto, las contracciones súbitas presentes en la entrada y salida del circuito de refrigeración, el número de Reynols, las Velocidades de los Caudales  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$ , determinando estimaciones reales de los circuitos de refrigeración representados en la Figura 26. El primer método es un procedimiento descrito por la Mecánica de fluidos de Mott como un fluido de ramales en serie, en el cual se analizan todas las pérdidas menores que están presentes en cualquier sistema de tuberías. Este método permite relacionar todas las pérdidas menores en cada ducto, determinando los factores de fricción en los tramos rectos del ducto ya que estos valores no se remiten a las tablas del fabricante debido a que los diámetros de cada ducto del circuito de refrigeración del molde no son estándar como los diámetros de una tubería circular.

El segundo método es un procedimiento descrito por la Mecánica de fluidos de Potter como un sistema de tubería en paralelo. Este método permite encontrar de una manera más directa los valores del Caudal  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$  en cada línea del circuito de refrigeración del molde. Los valores de cada caudal se determinan una vez conocidos los factores de fricción de cada ducto y el número de Reynols descritos por el por el primer método.

4.2.1 Primer método de Tubería en paralelo del circuito. Para dar un primer valor aproximado de los Flujos Volumétricos ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ ), las pérdidas debido a los cambios por secciones de cada línea ( $H$ ) y las Velocidades ( $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ ) del flujo, se realiza la descripción del método empleado y de los cálculos realizados.

Este primer método obedece más para determinar las restricciones y pérdidas por fricción, debido a que utiliza un procedimiento aplicado a flujos simples y en serie. Dichos flujos deben ser netamente turbulentos para garantizar una mejor refrigeración.

4.2.1.1 Caudal de entrada al Molde ILLIG. Se calculan los diámetros equivalentes, la longitud, rugosidad y viscosidad cinemática.

Para el Caudal sabemos que son 6 *Gal/min*, este valor es tomado de la Tabla 6 donde se encuentran los parámetros de entrada al molde y se debe expresar en  $m^3/s$  para el manejo del SI.

$$Q = 6 \frac{Gal}{min} \left[ \frac{3,785l/min}{1 Gal/min} \right] \left[ \frac{0,06m^3/hora}{1l/min} \right] \left[ \frac{1 hora}{60min} \right] \left[ \frac{1min}{60seg} \right] \quad \text{Ecuación 4.7}^8$$

$$Q = 378,54 \times 10^{-6} m^3/seg$$

La ecuación de la continuidad se aplica en el sistema de entrada y salida del circuito.

$$Q = A \times V = \text{Flujo Costante} \quad \text{Ecuación 4.8}^9$$

Donde

$Q$  : Volumen del flujo de fluido que pasa por una sección por unidad de tiempo.

$V$  : Velocidad promedio del fluido en  $m/s$

$A$  : Área neta del flujo promedio en secciones transversales circulares abiertas.

Para encontrar el valor de  $A_e$  se determina de la siguiente ecuación

$$A = \pi \frac{D^2}{4} \quad \text{Ecuación 4.9}^{10}$$

---

<sup>8</sup> **Mott**, op. Cit, p.147

<sup>9</sup> **Mott**, op. Cit, p.153

<sup>10</sup> **Mott**, op. Cit, p. 149



Sabiendo que

$$D = 0,008 \text{ m}$$

Véase Tabla 11

Entonces;

$$A = \pi \frac{(0,008\text{m})^2}{4} = 50,2654 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$L$  : Longitud equivalente de la tubería (m)

$D$  : Diámetro equivalente de la tubería (m)

$\epsilon$  : Rugosidad (adimensional)

$\gamma$  : Viscosidad cinemática

4.2.1.2 Viscosidad Cinemática. Se determina la temperatura promedio del agua para conocer la relación de su viscosidad cinemática que dependerá de esta temperatura.

$$T_{prom} = \frac{T_e + T_s}{2}$$

Ecuación 4.10

En donde:

$T_e$  = Temperatura de entrada

$T_s$  = Temperatura de salida

$$T_{prom} = \frac{9^\circ\text{C} + 11^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_{prom} = 10^\circ\text{C}$$

Viscosidad cinemática del agua a 10°C

$$\gamma = 1,30 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Ver anexo 4

4.2.1.3 Número de Reynolds. A medida que el fluido fluye por el conductor en las diferentes líneas, ocurren pérdidas de energía debido a la fricción interna por el conducto del fluido, determinándose como flujo laminar o flujo turbulento. Estos flujos son descritos por Osborne Reynolds, de que si se conoce la magnitud de un número adimensional se expresa como.

$$Re = \frac{vD\rho}{\mu} = \frac{vD}{\gamma} = \frac{4Q}{\pi D\gamma} \quad \text{Ecuación 4.11}^{11}$$

Donde

$v$  = Velocidad del fluido

$D$  = Diámetro del conducto

$\gamma$  = Viscosidad cinemática del agua a

$Q$  = Caudal Volumétrico

De la ecuación 4.4 tenemos:

$$Re = \frac{4Q}{\pi D\gamma}$$

Remplazando estos valores

$$Re = \frac{4Q}{\pi D\gamma} = \frac{4(378,54 \times 10^{-6} m^3/seg)}{(\pi)(0,008)(1,30 \times 10^{-6} m^2/seg)} = 46343,47$$

$Re = 46343,47$       Flujo Turbulento

SI  $NR < 2000$  el flujo es Laminar

SI  $NR > 4000$  el flujo es Turbulento

---

<sup>11</sup> **Potter, Merle C.** *Mecánica de Fluidos 3 ed.* Mexico : Thomsom, 2002. 487 p.

4.2.1.4 Factor de fricción equivalente. Los flujos en cada línea se encuentran en una zona completamente turbulenta y se determina un valor inicial de los factores de fricción en cada línea a partir de la siguiente ecuación.

Cuando el factor de Fricción está solo en función de  $\left(\frac{\epsilon}{D}\right)$  está dado por.

$$F = 1,325 \left\{ \ln \left[ 0,27 \left( \frac{\epsilon}{D} \right) \right] \right\}^{-2} \quad \text{Ecuación 4.12}^{12}$$

La fórmula para calcular el factor de Fricción en función de número de Reynolds (Re) desarrollada por Swamee y Jain es:

$$F = 1,325 \left[ \text{LN} \left( 0,27 \times \left( \frac{\epsilon}{D} \right) + (5,74 \times (1/(Re))^{0,9}) \right) \right]^{-2} \quad \text{Ecuación 4.13}^{13}$$

Donde

$F$  = Factor de fricción del ducto por línea.

$\epsilon$  = Rugosidad de la tubería (m) Ver tabla 11

$D$  = Diámetro de tubería (m) Ver tabla 11

Re = Número de Reynolds

Resolviendo la ecuación 4.13 el factor de perdida de fricción será.

$$F = 1,325 \left[ \text{LN} \left( 0,27 \times \left( \frac{0,000046}{0,008} \right) + \left( 5,74 \times \frac{1}{(46343,47)^{0,9}} \right) \right) \right]^{-2} = 0,03228$$

Este será el valor iterativo como referencia para determinas los Caudales por cada línea.

---

<sup>12</sup> **Potter**, op. Cit, p. 482

<sup>13</sup> **Potter**, op. Cit, p. 482

4.2.1.5 Ecuación general de la energía. Las pérdidas de energía están presentes conforme el fluido fluye por el ducto cuando pasa por un codo, expansión o contracción de la sección del ducto. Para determinar las velocidades de los caudales Q1, Q2 y Q3 se debe plantear la ecuación general de la energía para el flujo entre la entrada y salida del circuito de refrigeración.

$$\frac{P_e}{\gamma} + z_e + \frac{v_e^2}{2g} - H_L = \frac{P_s}{\gamma} + z_s + \frac{v_s^2}{2g} \quad \text{Ecuación 4.14}^{14}$$

Donde

$$\frac{P_e}{\gamma} = \text{Cabeza de Presión de Entrada}$$

$$z_e = \text{Cabeza de Elevación de Entrada}$$

$$\frac{v_e^2}{2g} = \text{Cabeza de Velocidad de entrada}$$

$$\frac{P_s}{\gamma} = \text{Cabeza de Presión de salida}$$

$$z_s = \text{Cabeza de Elevación de salida}$$

$H_L$  = Es la pérdida de energía por unidad de flujo con relación a la entrada y salida del flujo de cada ducto.

Las cabezas de elevación ( $z_e = z_s$ ) se presentan en el sistema como una línea Horizontal.

---

<sup>14</sup> **Mott**, op. Cit, p. 271

La relación del Caudal descrito por la ecuación de continuidad se cumple que.

$$Q_e = Q_s = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad \text{y} \quad \Delta H_L = \Delta H_1 = \Delta H_2 = \Delta H_3 \quad \text{Ecuación 4.15}^{15}$$

En donde las pérdidas por cada rama del circuito de refrigeración deben ser iguales.

$\Delta H_1$  = Pérdida de energía por unidad de fluido de línea 1

$\Delta H_2$  = Pérdida de energía por unidad de fluido de línea 2

$\Delta H_3$  = Pérdida de energía por unidad de fluido de línea 3

4.2.1.6 Pérdidas de cabeza en cada línea. Estas pérdidas se deben en parte a la fricción en los conductos y pérdidas menores debidas a los conectores, válvulas y contracciones súbitas en cada línea. Se determina según la ecuación de Darcy-Weisbach para el cálculo de la pérdida de energía debido a la fricción.

☞ Pérdidas de energía por unidad de fluido en el ducto 1.

$$\Delta H_1 = \frac{\left( (F_1) \left( \frac{L_1}{D_1} \right) \left( \frac{V_1^2}{2g} \right) \right)}{\text{Pérdidas por Fricción en Tramo Recto}} + \frac{\left( (F_{1T}) \left( N \left( \frac{L_e}{D} \right) \right) \left( \frac{V_1^2}{2g} \right) \right)}{\text{Pérdidas por Accesorios}} + \frac{\left( (\Sigma K_1) \left( \frac{V_1^2}{2g} \right) \right)}{\text{Pérdidas por Restricciones}}$$

Ecuación 4.16

Donde

$F_1$  = Factor de Fricción en tramo recto del ducto.

$L_1$  = Longitud Equivalente del ducto

$D_1$  = Diámetro Equivalente del ducto.

$g$  = Gravedad Relativa.

$\Sigma K_1$  = Coeficiente de resistencia de todas la suma de contracciones del ducto.

$V_1^2$  = Velocidad Relativa por el ducto.

---

<sup>15</sup> **Mott**, op. Cit, p.336

$F_{1T}$  = Factor de turbulencia en el ducto.

$N$  = Cantidad de Accesorios (Codos)

$\frac{L_e}{D}$  = Longitud Equivalente en diámetros del ducto.

Para términos de encontrar estas pérdidas se estable la siguiente relación de la ecuación 4.8.

$$Q = A \times V$$

Entonces,

$$V_1^2 = \frac{Q_1^2}{A_1^2} \quad \text{Ecuación 4.17}^{16}$$

Remplazando la velocidad  $V_1^2$  en relación al flujo Volumétrico  $\frac{Q_1^2}{A_1^2}$

$$a. \text{ Pérdidas por Fricción en Tramo Recto} = (F_1) \left( \frac{L_1}{D_1} \right) \left( \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

$$H_{TR1} = (0,0309) \left( \frac{1,45}{0,008} \right) \left( \frac{Q_1^2}{A_1^2 2g} \right) = 5,606 \left( \frac{Q_1^2}{A_1^2 2g} \right)$$

$$b. \text{ Pérdidas por Accesorios (Codos a } 90^\circ) = (F_{1T}) \left( 4 \left( \frac{L_e}{D} \right) \right) \left( \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

$$H_{A1} = 0,0309 \times 120 \times \left( \frac{Q_1^2}{A_1^2 2g} \right) = 3,7119 \left( \frac{Q_1^2}{A_1^2 2g} \right)$$

$$c. \text{ Pérdidas por Restricciones} = (K_1) \left( \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

---

<sup>16</sup> **Mott**, op. Cit, p.337

$$\Sigma K_1 = 1,44 \quad \text{Véase anexo 1}$$

$$H_{R1} = 1,44 \left( \frac{Q_1^2}{A_1^2 2g} \right)$$

Las pérdidas energía por unidad de fluido en la línea 1 serán.

$$\Delta H_1 = H_{TR1} + H_{A1} + H_{R1} = 10,764 \left( \frac{Q_1^2}{A_1^2 2g} \right)$$

☞ Pérdidas de energía por unidad de fluido en el ducto 2.

$$\Delta H_2 = \frac{\left( (F_2) \left( \frac{L_2}{D_2} \right) \left( \frac{V_2^2}{2g} \right) \right)}{\text{Pérdidas de Fricción en Tramo Recto}} + \frac{\left( (\Sigma K_{CS2}) \left( \frac{V_2^2}{2g} \right) \right)}{\text{Pérdidas Cambio de sección}} + \frac{\left( (\Sigma K_2) \left( \frac{V_2^2}{2g} \right) \right)}{\text{Pérdidas Restricciones}}$$

Ecuación 4.18

$$d. \text{ Pérdidas por Fricción en Tramo Recto} = (F_2) \left( \frac{L_2}{D_2} \right) \left( \frac{V_2^2}{2g} \right)$$

$$H_{TR2} = 0,0262 \left( \frac{1,257m}{0,014m} \right) \left( \frac{Q_2^2}{A_2^2 2g} \right)$$

$$H_{TR2} = 2,3584 \left( \frac{Q_2^2}{A_2^2 2g} \right)$$

$$e. \text{ Pérdidas por Cambios de sección} = (\Sigma K_{c2}) \left( \frac{V_2^2}{2g} \right)$$

$$H_{CS2} = \left( \Sigma K_{c2} \right) \left( \frac{Q_2^2}{A_2^2 2g} \right)$$

$$K_{c2} = (F_{c2}) \left( \frac{L_{c2}}{D_{c2}} \right)$$

$$\Sigma K_{c2} = 2,3416 \quad \text{Véase anexo 2}$$

$$H_{CS} = 2,3416 \times \left( \frac{Q_2^2}{A_2^2 2g} \right)$$

$$f. \text{ Pérdidas por Restricciones en el ducto} = \Sigma K_2 \times \left( \frac{V_2^2}{2g} \right)$$

$$\Sigma K_2 = 7,216 \quad \text{Véase anexo 2}$$

$$H_{R2} = 7,216 \left( \frac{Q_2^2}{A_2^2 2g} \right)$$

Las pérdidas energía por unidad de fluido en el ducto 2 serán.

$$\Delta H_2 = H_{TR2} + H_{CS2} + H_{R2} = 11,92 \left( \frac{Q_2^2}{A_2^2 2g} \right)$$

☞ Pérdidas de energía por unidad de fluido en el ducto 3.

$$\Delta H_3 = \frac{\left( (F_3) \left( \frac{L_3}{D_3} \right) \left( \frac{V_3^2}{2g} \right) \right)}{\text{Pérdidas de Fricción en Tramo Recto}} + \frac{\left( (\Sigma K_{CS3}) \left( \frac{V_3^2}{2g} \right) \right)}{\text{Pérdidas Cambio de sección}} + \frac{\left( (\Sigma K_3) \left( \frac{V_3^2}{2g} \right) \right)}{\text{Pérdidas Restricciones}}$$

Ecuación 4.19

Este ducto por tratarse del mismo sistema del ducto 2 representa las mismas pérdidas, por lo tanto serán iguales.

$$\Delta H_3 = H_{TR3} + H_{CS3} + H_{R3} = 11,92 \left( \frac{Q_3^2}{A_3^2 2g} \right)$$



4.2.1.7 Flujo volumétrico en cada ducto. El flujo volumétrico de entrada debe ser el mismo de salida, por tanto se desea conocer cada flujo volumétrico que circula en estos y sumados corresponderán al flujo de entrada y salida. Ecuación 4.15.

$$Q_e = Q_s = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Realizando cada equivalencia de flujo corresponderán para:

$$Q_1 = Q_e - Q_2 - Q_3$$

$$Q_2 = Q_e - Q_1 - Q_3$$

$$Q_3 = Q_e - Q_1 - Q_2$$

Como cada pérdida ( $\Delta Q_i$ ) debe ser igual en cada tramo se realiza el despeje de las variables desconocidas  $Q_1, Q_2, Q_3$ .

Entonces,

$$\Delta H_L = \Delta H_1 = \Delta H_2 = \Delta H_3$$

$$\Delta H_L = 10,76 \left( \frac{Q_1^2}{A_1^2 2g} \right) = 11,92 \left( \frac{Q_2^2}{A_2^2 2g} \right) = 11,92 \left( \frac{Q_3^2}{A_3^2 2g} \right)$$

Los flujos volumétricos serán:

$$Q_1 = \sqrt{\frac{11,92}{10,76} \left( \frac{A_1}{A_2} \right)} \times (Q_2) ; Q_1 = \sqrt{\frac{11,92}{10,76} \left( \frac{A_1}{A_3} \right)} \times (Q_3) \quad \text{Ecuación 4.20}$$

$$Q_2 = \sqrt{\frac{10,76}{11,92} \left( \frac{A_2}{A_1} \right)} \times (Q_1) ; Q_2 = \sqrt{\frac{11,92}{11,92} \left( \frac{A_2}{A_3} \right)} \times (Q_3) \quad \text{Ecuación 4.21}$$

$$Q_3 = \sqrt{\frac{10,76}{11,92}} \left( \frac{A_3}{A_1} \right) \times (Q_1) ; Q_3 = \sqrt{\frac{11,92}{11,92}} \left( \frac{A_3}{A_2} \right) \times (Q_2) \quad \text{Ecuación 4.22}$$

Remplazando los valores conocidos

$$Q_e = 378,54 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$A_1 = 50,2655 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_2 = 2,16 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_3 = 2,16 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Entonces;

$$Q_1 = 4,58 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = 1,87 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_3 = 1,87 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

La suma de estos valores satisface el Flujo Volumétrico de entrada.

$$\sum Q_e = 378,54 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{seg}$$

Este valor corresponde al descrito por la ecuación de continuidad. Se realizan las iteraciones del Nuevo valor de Factor de Fricción para conocer el Valor más aproximado de estos Flujos.

En la Tabla 12 se presentan el resumen del flujo Volumétrico y el Factor de Fricción estimado.

Tabla 12. Resumen de los datos calculados del sistema actual del primer método.

Ducto	Flujo Volumétrico (Q)m <sup>3</sup> /s	Flujo Volumétrico (Q) G/min	Re	Factor de fricción (Ecuación 4.13)
1	4,58E-06	7,26E-02	46343,47089	0,032280772
2	1,87E-04	2,964	26481,98337	0,028157884
3	1,87E-04	2,964	26481,98337	0,028157884

$$\sum Q_e \quad 0,00037854 \text{ m}^3/\text{s} \quad 6 \text{ G/min}$$

Fuente. Autores.

4.2.1.8 Nuevo Valor Iterativo del Factor de Fricción. Se determina el nuevo valor más aproximado del Factor de Fricción para los Flujos Volumétricos Q1, Q2 y Q3 calculados respectivamente de la Tabla 9, estos datos se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Valores Iterativos aproximados para cada ducto del sistema actual.

Ducto	Flujo Volumétrico (Qi) m <sup>3</sup> /s	Flujo Volumétrico (Qi) G/min	Re	Nuevo Factor de Fricción (Fi)
1	4,52E-06	0,07158947	552,9507801 (Flujo Laminar)	0,088939805
2	1,87E-04	2,96420526	13083,00575	0,034413273
3	1,87E-04	2,96420526	13083,00575	0,034413273

$$\sum Q_e \quad 0,00037854 \text{ m}^3/\text{s} \quad 6 \text{ G/min}$$

Fuente. Autores

Para este nuevo valor del Factor de Fricción que satisface el Flujo Volumétrico de entrada, pero no cumple la relación de Pérdida de Energía  $\Delta H$  debido al incremento en su valor de Pérdida en el Tramo Recto ( $H_{TR}$ ) de la Línea 1, y no corresponde en ningún valor al de las iteraciones al valor de la tabla 12, lo mismo ocurre con el Número de Reynolds, ya que debe ser netamente un Flujo Turbulento y en los valores Iterativos de la Tabla 13 representa un Flujo Laminar. Para encontrar los valores de Flujo Volumétrico más exactos que los calculados, se opta por utilizar el Segundo Método de Tubería en paralelo, que relaciona un coeficiente de Resistencia en función de la sumatoria de las pérdida de Energía  $\Sigma \Delta H$ .

4.2.2 Segundo método de tubería en paralelo. Para la disposición del circuito del molde ILLIG que representa el sistema de tuberías en paralelo; básicamente, se trata de representar mediante N elementos de la tubería en la entrada y salida con la  $\Sigma K$  correspondientes de pérdidas menores (accesorios y restricciones presentes en cada tramo del ducto). La ecuación de continuidad se aplica en el sistema de entrada y salida. Expresada como:

$$Q = \sum_{i=1}^N Q_i$$

Ecuación 4.23<sup>17</sup>

Para cualquier Tramo de la tubería que se desconozcan los flujos Volumétricos por ducto, la ecuación de la energía de entrada y salida será.

$$\left(\frac{P_e}{\gamma} + Z\right)_e - \left(\frac{P_e}{\gamma} + Z\right)_s = \left(R_i + \frac{\Sigma K}{2gA_i^2}\right) Q_i^2 \quad i = 1, \dots, N$$

Ecuación 4.24<sup>18</sup>

---

<sup>17</sup> **Potter**, op. Cit, p. 487

<sup>18</sup> **Ibíd.**, p. 488.

El Flujo Volumétrico de descarga  $Q_i$  serán las incógnitas y la Carga Piezométrica ( $W$ ) entre la entrada y salida.

La longitud equivalente ( $Le$ ) del tramo que están presentes las pérdidas menores ( $\sum K$ ) corresponde a.

$$Le = \frac{D_i}{F_i} \times \sum K \quad \text{Ecuación 4.25}^{19}$$

Entonces el coeficiente de resistencia modificado en cada tramo del ducto está dado por.

$$\bar{R}_i = \frac{8F_i[L_i + (Le)_i]}{g\pi^2 D_i^5} \quad \text{Ecuación 4.26}^{20}$$

La descripción del procedimiento por la Mecánica de Fluidos de Potter establece la relación de pérdidas de energía entre el caudal del sistema ( $Q_i$ ) y el coeficiente de resistencia  $\bar{R}_i$  en cada ducto del circuito de refrigeración. Esta relación la define Potter como el cambio del declive hidráulico de entrada y salida o Carga Piezométrica ( $W$ ) puesto que debe ser igual en las tres ramas del circuito. Se despeja de la Ecuación 4.26 según la relación de Potter mencionada en el capítulo de Flujos Paralelos, entonces la ecuación en términos de ( $w$ ) será,

$$Q_i = \sqrt{\frac{W}{\bar{R}_i}} \quad \text{Ecuación 4.27}^{21}$$

Combinando las ecuaciones 4. 23 y 4. 27  $W$  será,

---

<sup>19</sup> **Potter**, op. Cit, p. 488

<sup>20</sup> **Ibíd.**, p. 488.

<sup>21</sup> **Ibíd.**, p. 488.

$$W = \left( \frac{Q}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{\sqrt{R_i}}} \right)^2 \quad \text{Ecuación 4.28}^{22}$$

Donde

$Q$  = Caudal Volumétrico del circuito

$$\sum_{i=1}^N \frac{1}{\sqrt{R_i}} = \text{Coeficiente de resistencia presentes en cada ducto}$$

4.2.2.1 Factor de fricción. Se determina el factor de fricción para cada restricción y perdidas menores por accesorios de cada ducto para conocer una estimación inicial de los posibles flujos volumétricos de las ramas del sistema. Ecuación 4.12 y Ecuación 4.13.

$$F = 1,325 \left\{ \ln \left[ 0,27 \left( \frac{\epsilon}{D} \right) \right] \right\}^{-2}$$

$$F = 1,325 \left\{ \ln \left[ 0,27 \left( \frac{\epsilon}{D} \right) + 5,74 \left( \frac{1}{Re} \right)^{0,9} \right] \right\}^{-2}$$

En la tabla 14 se presenta los valores conocidos de cada ducto.

Tabla 14. Valores conocidos para los ductos de entrada.

Ducto	L (m)	D(m)	Rugosidad $\epsilon$ (m)	Viscosidad $\vartheta$ (m <sup>2</sup> /s)	Caudal Volumétrico de entrada del sistema 6 Gal/min
1	1,45	0,008	0,000046	1,30E-06	
2	1,257	0,014	0,000046	1,30E-06	
3	1,257	0,014	0,000046	1,30E-06	

Fuentes. Autores

<sup>22</sup> **Potter**, op. Cit, p. 489

Con las estimaciones del Factor de Fricción inicial de la ecuación 4.12 se realizan los cálculos preliminares presentados en la Tabla 15.

Tabla 15. Valores del Coeficiente de Resistencia ( $\bar{R}_i$ ) y longitud equivalente ( $Le$ ).

Ducto	Le(m) (Ecuación 4.25)	$\bar{R}_i$ (Ecuación 4.26)	$\sum K_i$ (Anexo 1)	F (Ecuación 4.12)
1	1,44	2,17E+08	6,567466141	0,030932606
2	3,33	2,48E+07	9,511843161	0,026210369
3	3,33	2,48E+07	9,511843161	0,026210369

Fuente. Autores

Aplicando la ecuación 4.28, la primera estimación de ( $W$ ) será.

$$w = \left( \frac{378,54 \times 10^{-6} m^3/seg}{(2,17E + 08)^{-1/2} + (2,48E + 08)^{-1/2} + (2,48E + 08)^{-1/2}} \right)^2 = 0,650 m$$

Se realiza el cálculo de las estimaciones del flujo volumétrico ( $Q_i$ ) de cada ducto del circuito con la ecuación 4.27.

$$Q_1 = \sqrt{\frac{0,650}{2,17E + 08}} = 5,47513 \times 10^{-5} m^3/seg$$

$$Q_2 = \sqrt{\frac{0,650}{2,48E + 08}} = 0,000161894 m^3/seg$$

$$Q_3 = \sqrt{\frac{0,650 m}{2,48E + 08}} = 0,000161894 m^3/seg$$

Sumando estos valores de flujo volumétrico de cada ducto se verifica que corresponde al caudal de entrada descrito por la ecuación de continuidad.

$$\sum_{i=1}^N Q_i = 5,47513 \times 10^{-5} m^3/seg + 1,62 \times 10^{-4} m^3/seg + 1,62 \times 10^{-4} m^3/seg$$

$$\sum_{i=1}^N Q_i = 378,54 \times 10^{-6} m^3/seg$$

4.2.2.2 Nuevo Factor de Fricción. Se determina el nuevo Valor de factor de fricción para cada restricción y perdidas menores por accesorios de cada ducto con los valores estimados del flujo volumétrico y Numero de Reynolds.

En la Tabla 16 se determinan los valores correspondientes para cada flujo volumétrico y velocidades del fluido en los ductos.

Tabla 16. Valores Iterativos del Nuevo Factor de Fricción.

Ducto	$F_i$ Ecuación 4.13	$W_i$ (m)	$Re_i$	$\bar{R}_i$ (Ecuación 4.26)	$(Q_i)$ m <sup>3</sup> /s	$(V_i)$ m/s
1	0,042677982	0,720	6133,58	288E+08	5,00E-05	0,9947981
2	0,035187531	0,720	11409,49	267E+07	1,64E-04	0,07612
3	0,035187531	0,720	11409,49	267E+07	1,64E-04	0,07612
$\sum_{i=1}^N Q_i$					0,00037854	

Fuente. Autores

Verificando con la ecuación de continuidad el valor del flujo volumétrico correspondiente al del sistema.



$$\sum_{i=1}^N Q_i = 378,54 \times 10^{-6} m^3 / seg$$

4.2.2.3 Resumen segundo método de tuberías en paralelo. En la Tabla 17 se presentan los resultados obtenidos del segundo método de tuberías en paralelo.

Tabla 17. Resultados del segundo método de tuberías en paralelo.

Ducto	Flujo Volumétrico (Q)m <sup>3</sup> /s	Flujo Volumétrico (Q) G/min	Velocidad ( m/s)	% de Flujo Volumétrico
1	5,00E-05	0,792582159	0,994798139	13,21
2	1,64E-04	2,603708921	0,076126236	43,40
3	1,64E-04	2,603708921	0,076126236	43,40
ΣQ	0,00037854	6		100,00

Fuente. Autores

4.2.3 Diferencias de presión en el sistema actual. Se determina las caídas de presión en el sistema de entrada y salida del sistema a través de la ecuación de Bernoulli.

Conversión de unidades de la presión de entrada en el Sistema Internacional.

$$P_e = \frac{N}{m^2} = 1 \text{ Pascal}$$

$$1 \text{ Bar} = 100000 \text{ pascal}$$

$$P_e = (8 \text{ Bares}) \left( \frac{100000 \text{ Pascal}}{1 \text{ Bares}} \right) \times \left( \frac{1 \frac{N}{m^2}}{1 \text{ Pascal}} \right) = 800 \text{ K} \frac{N}{m^2}$$

4.2.3.1 Caídas de presión en la entrada y salida del circuito. Se calcula la presión de alimentación del circuito en cada línea y la velocidad del flujo Volumétrico

- a. Se calcula las velocidades del circuito de alimentación y posteriormente la de cada línea.

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 4.29}^{23}$$

Para la línea de alimentación:

$$V_e = \frac{Q_e}{A_e}$$

Donde

$V_e$  = Velocidad del circuito de Alimentación

$Q_e$  = Flujo Volumétrico del Circuito de Alimentación

Ver Tabla 11

$A_e$  = Área de la sección Trasversal del Circuito de Alimentación

Ver Tabla 11

Entonces,

$$V_e = \frac{0,00037854 \text{ m}^3/\text{s}}{0,000113097 \text{ m}^2} = 3,347 \text{ m/s}$$

Para la línea 1.

$$V_1 = \frac{Q_1}{A_1}$$

Donde

$V_1$  = Velocidad del Flujo Volumétrico por la Línea 1

$Q_1$  = Flujo Volumétrico por la línea 1

Ver Tabla 17

$A_1$  = Área de la sección transversal de la Línea 1

Ver Tabla 11

---

<sup>23</sup> **Mott**, op. Cit, p.337

Entonces;

$$V1 = \frac{4,98 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}}{5,02655 \times 10^{-5} \text{m}^2}$$

$$V1 = 0,99077637 \text{ m/s}$$

Para la línea 2.

$$V2 = \frac{Q2}{A2}$$

Donde

V2 = Velocidad del Flujo Volumétrico por la Línea 2

Q2 = Flujo Volumétrico por la línea 2

Ver Tabla 17

A2 = Área de la sección transversal de la Línea 2

Ver Tabla 11

Entonces;

$$V2 = \frac{1,64 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}}{2,16 \times 10^{-3} \text{m}^2}$$

$$V2 = 0,076173078 \text{ m/s}$$

Para la línea 3.

$$V3 = \frac{Q3}{A3}$$

Donde

V3 = Velocidad del Flujo Volumétrico por la Línea 3

Q3 = Flujo Volumétrico por la línea 3

Ver Tabla 17

A3 = Área de la sección transversal de la Línea 3

Ver Tabla 11

Entonces;

$$V3 = \frac{1,64 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}}{2,16 \times 10^{-3} \text{m}^2}$$

$$V3 = 0,076173078 \text{ m/s}$$

b. Se calcula la presión en los ductos del Sistema a partir de las siguientes ecuaciones.

$$\frac{P_e}{\gamma} + Z_e + \frac{V_e^2}{2g} - H_L = \frac{P_i}{\gamma} + Z_i + \frac{V_i^2}{2g} \quad \text{Ecuación 4.30}^{24}$$

Despejando la presión de entrada (  $P_i$ ) de la Ecuación 4.30

$$P_i = P_e + \gamma \left[ Z_e - Z_i + \frac{V_e^2}{2g} - \frac{V_i^2}{2g} - H_L \right] \quad \text{Ecuación 4.31}$$

$$H_L = \bar{R}_i \times Q_i^2 \quad \text{Ecuación 4.32}^{25}$$

- Pérdida de Energía en el Tramo de la Línea 1 (  $H_L$ ).

$$H_L = \bar{R}_1 \times Q_1^2$$

Donde

$\bar{R}_1$  = Coeficiente de Resistencia por la Línea 1

Ver Tabla 16

Remplazando los Valores Conocidos se tiene:

$$H_L = (2,89 \times 10^8) \times (4,98 \times 10^{-5})^2$$

---

<sup>24</sup> **Mott**, op. Cit, p. 237

<sup>25</sup> **Potter**, op. Cit, p. 484

$$H_L = 0,7209846 \text{ m}$$

- Caída de Presión en la Línea 1.

$$P_1 = P_e + \gamma \left[ \left( \frac{V_e^2 - V_1^2}{2g} \right) - H_L \right]$$

Donde

$P_e$  = Presión del Circuito de Alimentación

Ver Tabla 11

$P_1$  = Caída de Presión en la Línea 1

$H_L$  = Perdida de Energía en el Tramo de la Línea 1

$\gamma$  = Peso específico del Agua

Ver anexo 4

Remplazando los valores conocidos se tiene:

$$P_1 = 800 \text{ K} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} + \left( \frac{9810 \text{ N}}{\text{m}^3} \right) \times \left( \left( \frac{(3,347 \text{ m/s})^2 - (0,99 \text{ m/s})^2}{2(9,81 \text{ m/s}^2)} \right) - 0,72 \text{ m} \right)$$

$$P_1 = 798 \text{ K} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

- Caída de Presión en la Línea 2.

$$P_2 = P_e + \gamma \left[ \left( \frac{V_e^2 - V_2^2}{2g} \right) - H_L \right]$$

Remplazando los valores conocidos se tiene:

$$P_2 = 800 \text{ K} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} + \left( \frac{9810 \text{ N}}{\text{m}^3} \right) \times \left( \left( \frac{(3,347 \text{ m/s})^2 - (0,076 \text{ m/s})^2}{2(9,81 \text{ m/s}^2)} \right) - 0,72 \text{ m} \right)$$

$$P_2 = 799 \text{ K} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

- Caída de Presión en la Línea 3.

$$P_3 = P_e + \gamma \left[ \left( \frac{V_e^2 - V_3^2}{2g} \right) - H_L \right]$$

Remplazando los valores conocidos se tiene:

$$P_3 = 800 \, K \frac{N}{m^2} + \left( \frac{9810N}{m^3} \right) \times \left( \left( \frac{(3,347 \, m/s)^2 - (0,076m/s)^2}{2(9,81 \, m/s^2)} \right) - 0,72 \, m \right)$$

$$P_3 = 799 \, K \frac{N}{m^2}$$

- c. Se calcula el delta de presiones a través del sistema en las líneas de entrada y la salida por medio de la relación.

$$\Delta P = \gamma H_L \quad \text{Ecuación 4.33}^{26}$$

$$\Delta P = P_e - P_s \quad \text{Ecuación 4.34}$$

$$P_s = P_e - (\gamma H_L) \quad \text{Ecuación 4.35}^{27}$$

- Caída de presión en la salida del circuito  $P_s$ .

$$P_s = P_e - (\gamma H_L)$$

$$P_s = 800 \, K \frac{N}{m^2} - \left( \frac{9810N}{m^3} \times 0,72m \right)$$

$$P_s = 794 \, K \frac{N}{m^2}$$

---

<sup>26</sup> **Mott, Potter**, op. Cit, p. 333

<sup>27</sup> **Ibíd.**, p. 333.

- Delta de presiones del circuito.

Se remplaza los valores conocidos en la ecuación  $\Delta P = P_e - P_s$  y se calcula la diferencia de Presión.

$$\Delta P = 800 K \frac{N}{m^2} - 7,94 K \frac{N}{m^2}$$

$$\Delta P = 6,42 K \frac{N}{m^2}$$

Se determina un segundo cálculo de diferencia de presión que debe corresponder al anterior calculado con la Ecuación  $\Delta P = \gamma H_L$

$$\Delta P = \frac{9810 N}{m^3} \times 0,72 m$$

$$\Delta P = 6,42 K \frac{N}{m^2}$$

4.2.3.2 Resumen de los resultados obtenidos de las pérdidas de presión. En las siguientes tablas se presenta los resultados del circuito de entrada y salida de las pérdidas de presión en los diferentes tramos de cada ducto del circuito de refrigeración.

Tabla 18. Delta de Presiones.

Ducto	$P_e K(\frac{N}{m^2})$	$H_L$ (m)	$\Delta P (\frac{N}{m^2})$ ( $H_L * \gamma$ )	$\Delta P (\frac{N}{m^2})$ ( $P_e - P_s$ )
1	800	0,7209846	6423,972	6423,972
2	800	0,7209846	6423,972	6423,972
3	800	0,7209846	6423,972	6423,972

Fuente. Autores

Tabla 19. Pérdidas de presión.

Ducto	$Pe \text{ } k(\frac{N}{m^2})$	$P_L(\frac{N}{m^2})$ ( Ecuación 4.25)	$Ps (\frac{N}{m^2})$ ( Ecuación 4.29)
1	800	798214,0301	793576,0272
2	800	798660,8145	793576,0272
3	800	798660,8145	793576,0272

Fuente. Autores

4.2.4. Resumen de los cálculos del Molde ILLIG. En las siguientes tablas se resumen los cálculos del circuito de refrigeración presentes para los caudales volumétricos, velocidad de los caudales y caídas de presión.

En las Tablas 20 y Tabla 21, se relacionan los datos obtenidos del circuito de refrigeración del Molde ILLIG.

Tabla 20. Resumen de los datos calculados de la presión de entrada, caudales volumétricos y velocidades por línea del Molde ILLIG.

Molde ILLIG	D(m)	Área (m <sup>2</sup> )	Q(m <sup>3</sup> /s)	(V)m/s	$P_L \text{ (N/m}^2 \text{ )}$
Entrada al Molde	0,012	0,0001131	3,79E-04	3,3470285	800000
Placa de Corte	0,008	5,02655E-05	5,00E-05	9,95E-01	7,98E+05
Bloque Inferior	0,014	0,002157837	1,64E-04	7,61E-02	7,99E+05
Bloque Cavidades	0,014	0,002157837	1,64E-04	7,61E-02	7,99E+05

Fuente. Autores.



Tabla 21. Resumen de los datos calculados de las diferencias de presión en el Molde ILLIG.

Ductos	$H_L$ Perdidas por fricción (m)	Diferencia de presión (N/m <sup>2</sup> )	Presión de Salida (N/m <sup>2</sup> )	% Presión en las Líneas
Placa de Corte	7,21E-01	6,42E+03	7,94E+05	33,33
Bloque Inferior A	7,21E-01	6,42E+03	7,94E+05	33,33
Bloque Inferior B	7,21E-01	6,42E+03	7,94E+05	33,33
				99,98

Fuente. Autores

#### 4.3 TRANSFERENCIA DE CALOR DEL MOLDE 199001

##### - Análisis del Estado Actual Línea 1.

Con el fin de determinar la eficiencia del sistema actual se desarrollaran apartados enfocados en determinar el coeficiente global de transferencia de la línea 1, en el cual interactúan el calor y la energía aportados por lámina no termo formada (retal), y la eficiencia del sistema de refrigeración interno actual de la placa de corte (línea1).

4.3.1 Masa del producto transformada por ciclo. Se procede a determinar la masa del producto transformada por ciclo con el fin establecer valores para determinar la energía que suministra la lámina retal a la placa de corte.

$$m = \left( \frac{\pi \times \rho \times d^2 \times e \times n}{4} \right) \quad \text{Ecuación 4.36}$$

Donde

$m$  = Masa del Producto transformada por Ciclo (Kg)

$\rho$  = Densidad del PP (Kg /M<sup>3</sup>)

$d$  =  $\varnothing$  Corte de Cavidades

$e$  = Espesor de Lámina

$n$  = Numero de Cavidades

Datos iniciales

$\rho = 0,903 \text{ g/c m}^3$

Ver anexo 5

$d = \varnothing 75,4 \text{ mm} = 0,0754 \text{ m}$

Ver Tabla 6

$e = 1.5\text{mm} = 0,0015 \text{ m}$

Ver Tabla 6

Remplazando valores en la Ecuación 4.30

$$m = \left( \frac{\pi \times 903 \times (0,0754)^2 \times 0,0015 \times 10}{4} \right)$$

$$m = 60,479 \times 10^{-2} \text{ kg}$$

4.3.1.1 Masa de la lámina no trasformada por ciclo (retal). Se procede a calcular la masa de la lámina retal ya que esta tiene contacto directo con la placa de corte Línea 1.

$$mr = (l \times h \times e \times \rho) - m$$

Ecuación 4.37

$mr$  = Masa de la Lamina no Transformada por Ciclo (Kg)

Donde

$l$  = Ancho de la Placa de Corte

$h$  = Largo de la Placa de Corte

$e$  = Espesor de la Lámina de Corte

$\rho$  = Densidad del PP ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

$m$  = Masa de la Lámina Transformada por Ciclo (Kg)

Datos

$$l = 426 \text{ mm} = 0,426 \text{ m}$$

Ver Tabla 6

$$h = 180 \text{ mm} = 0,18 \text{ m}$$

Ver Tabla 6

$$e = 0,0015 \text{ m}$$

Ver Tabla 6

$$\rho = 903 \text{ (Kg/ m}^3\text{)}$$

Interpolando ver anexo 4

$$m = 6,0479 \times 10^{-2} \text{ kg}$$

Remplazando valores en la ecuación 4.37 se tiene:

$$mr = (0,426 \times 0,180 \times 0,0015 \times 903) - 6,0479 \times 10^{-2}$$

$$mr = 0,04338406$$

4.3.1.2 Lámina no Transformada por segundo (retal). Se procede a calcular la masa de la lámina retal en un segundo.

$$msr = (mr \times Nc)/60$$

Ecuación 4.38

Donde

msr = Masa de lámina no Transformada por Segundo (Kg/s)

mr = Masa de Lamina (Retal) 1 Ciclo Kg

NC = Numero Ciclo por minuto

Datos

$$mr = 4,338406 \times 10^{-2} \text{ Kg}$$

NC = 12 ciclos por minuto.

Ver Tabla 6

Remplazando valores en la Ecuación 4.38 se tiene:

$$msr = \frac{(4,338406 \times 10^{-2}) \times 12}{60}$$

$$mr = 0,00868375 \text{ Kg/s}$$

4.3.1.3 Energía que suministra a la lámina no termoformada (retal). Se procede a calcular la Energía que suministra a la lámina no termoformada (retal) al molde, determinando la entalpia de la lámina antes y después de entrar en contacto con la placa de corte (Línea 1), determinando así la diferencia entre las dos entalpías como la energía que se le suministra a la línea 1.

$$Er = \Delta h$$

Ecuación 4.39

$$Er = h_2 - h_1$$

Donde

Er = Energía suministrada al molde por la lámina no termoformada

$h_1$  = Entalpia PP a (105°C) Temperatura Retal

Ver anexo 9

$h_2$  = Entalpia PP a (130°C) Temperatura de Termoformado

Ver anexo 9

Datos iniciales

$$h_1 = 236 \text{ Kj/Kg}$$

Interpolando según grafica Anexo 9

$$h_2 = 306 \text{ Kj/Kg}$$

Interpolando según grafica Anexo 9

Remplazando valores en la ecuación 4.33 se tiene:

$$Er = 306 \text{ Kj/Kg} - 236 \text{ Kj/Kg}$$

$$Er = 70 \text{ Kj/Kg}$$

4.3.1.4 Calor añadido al molde por la lámina (Retal). Se procede a calcular el valor en watt de calor suministro por la lámina (retal) a la línea 1.

$$Q_r = Er \times m_r$$

Ecuación 4.40

Donde

$$Er = 70 \text{ Kj/Kg}$$

$$m_r = 0,00868375 \text{ Kg/s}$$

Remplazando valores en la ecuación 4.40 se tiene:

$$Q_r = 70 \text{ Kj/Kg} \times 0,00868375 \text{ Kg/s}$$

$$Q_r = 607,792480 \text{ w}$$

4.3.1.5 Temperatura salida del agua en placa corte. Se procede a calcular con el fin de recolectar valores para determinar el coeficiente global de transferencia de calor.

$$T_s = T_e + \frac{q}{\dot{m}c_p}$$

Ecuación 4.41<sup>28</sup>

Donde

$T_s$  = Temperatura de salida del agua

$q$  = Calor suministrado al molde por el área de la lámina no Termoformada

$\dot{m}$  = Flujo Másico del agua por la Placa de Corte (Kg/s)

$c_p$  = Calor Especifico del Agua

$T_e$  = Temperatura de entrada del Agua de Refrigeración (°C)

Datos

$$Q_r = 607,792480 \text{ Kg/s}$$

$$c_p = 4,195 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} ^\circ\text{C}$$

Ver Anexo 6

$$T_e = 9^\circ\text{C.}$$

Ver tabla 6

4.3.1.6 Flujo másico por la Línea 1. Se procede a calcular el flujo másico con el fin de determinar valores para obtener la temperatura de salida del fluido.

$$\dot{m} = p * Q$$

Ecuación 4.42

Donde

$\dot{m}$  = Flujo Másico

$P$  = Densidad del Agua a 10°C

véase anexo 4

$Q$  = Caudal línea 1

Datos

$$p = 992.2 \text{ kg/m}^3$$

---

<sup>28</sup> **FRANK, P.** *Fundamentos de transferencia de calor* : INCROPERA S.A, 1999. 587p.

$$Q = 4.98 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Remplazando valores en la ecuación 4.42 se tiene:

$$\dot{m} = \rho * Q$$

$$\dot{m} = 992,2 \times 4.98 \times 10^{-5}$$

$$\dot{m} = 0,04941156 \text{ kg/s}$$

Remplazando valores en formula en cálculo de temperaturas de la Ecuación 4.41 se tiene:

$$T_s = T_e + \frac{q}{\dot{m} C_p}$$

$$T_s = 9 + \frac{607,791}{0,04941156 \times 4,195} = 11.932^\circ\text{C}$$

4.3.1.7 Coeficiente Global Transferencia de Calor. Para determinar la cantidad de calor retirado se estudiaron los diferentes mecanismos de transferencia de calor como los son la conducción, convección y radiación. En el sistema se puede evidenciar una convección forzada ya que interactúa un fluido a través de la Línea 1 y un sólido que recibe temperatura directa mediante el contacto de la lámina Termoformada, el tipo de convección es forzada ya que el fluido se le aplica una fuerza predeterminada.

$$q = hb \times A \times LMTD \quad \text{Ecuación 4.43}^{29}$$

Despejando  $hb$  para obtener formula de coeficiente global de transferencia.

---

<sup>29</sup> **HOLMAN, J.P.** *Transferencia de calor*. Mexico DF : Compañía Editorial Continental S.A, 1999. 379 p.

$$hb = \left( \frac{q}{A \times LMTB} \right)$$

Ecuación 4.44<sup>30</sup>

En donde:

$hb$  = Coeficiente Global de Transferencia de calor ( $w/m^2K$ )

$q$  = Calor Retirado por el Agua de la Placa

$A$  = Área de Transferencia de Calor ( $Kg/s$ )

Ver Tabla 6

I. Media logarítmica de temperatura entre el agua y el producto transformado.

Se procede a calcular la media logarítmica de temperatura entre el agua y el producto transformado para determinar el coeficiente global de transferencia de calor.

LMTD (Medida Logarítmica de Temperatura entre el agua y el producto transformado).

$$LMTD = \left( \frac{(Tr-Ts)-(Tl-Te)}{LN (Tr-Ts)-(Tl-Te)} \right)$$

Ecuación 4.45<sup>31</sup>

Donde

$Tr$  = Temperatura de lámina Retal

$Ts$  = Temperatura de salida de agua

$Tl$  = Temperatura de Termoformado de la lámina

$Te$  = Temperatura de entrada del agua

---

<sup>30</sup> Ibid., p. 379.

<sup>31</sup> Ibid., p. 387.



## Datos

$$T_s = 11.932^{\circ}\text{C}$$

Ecuación 4.41

$$T_r = 105^{\circ}\text{C}$$

Ver tabla 6

$$T_l = 130^{\circ}\text{C}$$

Ver tabla 6

$$T_e = 9^{\circ}\text{C}$$

Ver tabla 6

Remplazando valores en la ecuación 4.45 se tiene:

$$LMTD = \left( \frac{(T_r - T_s) - (T_l - T_e)}{\ln(T_r - T_s) - \ln(T_l - T_e)} \right)$$

$$LMTD = 106,4236 \text{ K}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 4.44 del coeficiente de transferencia global se tiene:

$$hb = \left( \frac{q}{A \times LMTD} \right)$$

$$hb = \left( \frac{607,792}{0,0320 \times 106.1236} \right)$$

$$hb = 178,30998 \text{ w/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Resumen de valor relevante obtenidos para la línea 1.

- ✓ Calor suministrado al molde por la lámina retal: 607,792 w
- ✓ Coeficiente global de transferencia de calor: 178,368 w/m<sup>2</sup> °C

4.3.2 Análisis de estado actual Línea 2 y Línea 3. Con el fin de determinar la eficiencia del sistema de refrigeración actual de la línea 2 y línea 3, se desarrollaran los siguientes apartados; enfocados en determinar el coeficiente

global de transferencia de las dos líneas, en el cual interactúan el calor y la energía aportados por lámina que termo-forma el producto final y la eficiencia del sistema de refrigeración interno actual de las líneas comprendidos por el bloque de cavidades y las cavidades de corte.

4.3.2.1 Masa del producto transformada por ciclo. Se procede a determinar la masa del producto transformada por ciclo con el fin establecer valores para determinar la energía que suministra la lámina a las cavidades de corte, mediante la Ecuación 4.36.

$$m = \left( \frac{\pi \times \rho \times d^2 \times e \times n}{4} \right)$$

Donde

$m$  = masa del producto transformada por ciclo ( kg)

$\rho$  = Densidad del PP (Kg/ m<sup>3</sup> )

$d$  = Ø corte cavidades

$e$  = espesor de la lamina

$n$  = numero de cavidades

Datos iniciales

$$\rho = 0,903 \text{ g/ cm}^3$$

Ver anexo 6

$$d = \emptyset 75,4 \text{ mm} = 0,0754 \text{ m}$$

Ver Tabla 6

$$e = 1.5\text{mm} = 0,0015 \text{ m}$$

Ver Tabla 6

Entonces

$$m = \left( \frac{\pi \times 903 \times (0,0754)^2 \times 0,0015 \times 5}{4} \right)$$

$$m = 0,0302246 \text{ kg}$$

4.3.2.2 Lamina trasformada por segundo para producto final. Se procede a calcular la masa de la lámina por segundo para el producto final, según ecuación 4.38.

$$m_s = (m \times N_c)/60$$

Donde

$m_s$  = masa de lamina trasformada por segundo. Kg/s

$m$  = masa de lamina 1 ciclo Kg

$C$  = numero ciclo por minuto

Datos

$$m = 0,0302246 \text{ Kg}$$

$$NC = 12 \text{ ciclo por minuto.}$$

Ver Tabla 6

Entonces

$$m_s = \frac{0,0302246 \times 12}{60}$$

$$m_s = 0,00604493 \text{ Kg/s}$$

4.3.2.3 Calor retirado por la refrigeración línea 2 y 3. Se procede a calcular el Calor retirado por la refrigeración línea 2 y 3, mediante la siguiente ecuación.

$$q_0 = m \cdot C_p \cdot (T_s - T_e) \quad \text{Ecuación 4.46}^{32}$$

---

<sup>32</sup> HOLMAN, op. Cit, p. 56

$q_0$  = Calor retirado del molde por la línea 2 y 3

$T_s$  = Temperatura de salida del agua

$\dot{m}$  = Flujo másico del agua por línea 1 (Kg/s)

$C_p$  = Calor Especifico del Agua

$T_e$  = Temperatura de entrada del Agua de Refrigeración (°C)

Datos iniciales

$T_s = 11^\circ\text{C}$

$\dot{m}$  = Flujo másico del agua por la Placa de Corte (Kg/s)

$C_p = 4,195 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

$T_e = 9^\circ\text{C}$

II. Flujo másico por la línea 2 y línea 3.

Se procede a calcular el flujo másico con el fin de determinar valores para obtener la temperatura de salida del fluido, según la Ecuación 4.42.

$\dot{m} = \rho \cdot Q$

Donde

$\rho$  = densidad agua a  $10^\circ\text{C} = 992.2 \text{ kg/m}^3$

$Q$  = Caudal línea 2 =  $1.64 \times 10^{-4}$

Entonces

$\dot{m} = 992.2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 1.64 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

$$\dot{m} = 0.16272 \text{ kg/s}$$

Remplazando valores en ecuación 4.46, se tiene:

$$q_0 = 0.16272 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * \frac{4,195 \text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * (11 ^\circ\text{C} - 9 ^\circ\text{C})$$

$$q_0 = 1365.22 \text{ W}$$

4.3.3 Coeficiente global transferencia de calor. Para determinar la cantidad de calor retirado se estudiaron los diferentes mecanismos de transferencia de calor como los son la conducción, convección y radiación en el sistema se puede evidenciar una convección forzada ya que interactúa un fluido a través de las líneas y un sólido que recibe temperatura directa mediante el contacto de la lámina termo formada, el tipo de convección es forzada ya que el fluido se le aplica una fuerza predeterminada, según la ecuación 4.43.

$$q = hb \times A \times LMTD$$

Despejando  $hb$  para obtener formula de coeficiente global de transferencia.

$$hb = \left( \frac{q}{A \times LMTD} \right)$$

Donde

$hb$  = coeficiente global transferencia calor ( $\text{w/m}^2\text{K}$ )

$q$  = calor retirado por el agua de la línea 2 y 3

$A$  = Area de transferencia de calor (  $0.071592$ )  $\text{m}^2$

Ver tabla 6

4.3.3.1 Media logarítmica de temperatura entre el agua y el producto transformado.

Se procede a calcular la media logarítmica de temperatura entre el agua y el producto transformado para determinar el coeficiente global de transferencia de calor

LMTDM (Media logaritmica de temperatura entre el agua y el producto trasformado)

$$LMTD = \left( \frac{(Tr - Ts) - (Tl - Te)}{\ln (Tr - Ts) - (Tl - Te)} \right)$$

Donde

LMTD Media logarítmica de temperatura entre el agua y el producto trasformado

$Tr$  = Temperatura promedio producto final

$Ts$  = Temperatura de salida de agua

$Tl$  = Temperatura de termoformado de la lamina

$Te$  = Temperatura de entrada del agua

Datos

$$Tr_1 = 60^{\circ}\text{C}$$

Ver tabla 6

$$Ts = 11,93^{\circ}\text{C}$$

Ecuación 4.41

$$Tl = 130^{\circ}\text{C}$$

Ver tabla 6

$$Te = 9^{\circ}\text{C}$$

Ver tabla 6

Remplazando valores en la ecuación 4.52

$$LMTD = \left( \frac{(Tr - Ts) - (Tl - Te)}{\ln (Tr - Ts) - (Tl - Te)} \right)$$

$$LMTD = 79,64863 \text{ K}$$

Sustituyendo valores en ecuación de coeficiente de trasferencia global ecuación 4.46.

$$hb = \left( \frac{q}{A \times LMTB} \right)$$

$$hb = \left( \frac{1365.22}{0,071592 \times 79.64863} \right)$$

$$hb = 206,7207 \text{ w/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Resumen de valor relevante obtenidos en este capitulo

- ✓ Calor suministrado al molde por la lámina retal: 1365.22 w
- ✓ Coeficiente global de transferencia de calor: 206,7207 w/m<sup>2</sup> °C

#### 4.4. PLANTEAMIENTO DEL REDISEÑO

4.4.1 Estado actual de los sistemas de refrigeración. Con el fin de lograr un aumento en la temperatura de Termoformado de la lámina de 130°C a 150°C lo cual fue propuesto al inicio de este capítulo se realizara una análisis del estado actual del sistema, lo cual permitirá presentar un panorama del sistema actual lo anterior con el fin de presentar y evaluar posibles mejoras en el sistema por lo cual se procede a analizar los valores actuales de los sistemas de refrigeración estudiados en los numerales de 4.1 a 4.3.3.1 cuyo resumen se presentan a continuación en las tablas.

Tabla 22. Resumen de cálculos de presión sistema actual.

Ductos	Perdidas por fricción	Diferencia de presión (N/m <sup>2</sup> )	Presión de Salida (N/m <sup>2</sup> )	% Presión en las Líneas
LINEA 1	7,21E-01	6,42E+03	7,94E+05	33,33
LINEA 2	7,21E-01	6,42E+03	7,94E+05	33,33
LINEA 3	7,21E-01	6,42E+03	7,94E+05	33,33
				99,98

Fuente. Autores

Tabla 23. Resumen de cálculos de flujo volumétrico sistema actual,

Ducto	Flujo Volumétrico (Q)m <sup>3</sup> /s	Flujo Volumétrico (Q) G/min	Velocidad ( m/s)	% de Flujo Volumétrico
LÍNEA 1	5,00-05	0,792582159	0,994798139	13,21
LÍNEA 2	1,64E-04	2,603708921	0,076126236	43,40
LÍNEA 3	1,64E-04	2,603708921	0,076126236	43,40
ΣQ	0,00037854	6		100

Fuente. Autores

Tabla 24. .Resumen de cálculos de flujo volumétrico y velocidades sistema actual.

Molde IIIIG	D(m)	Área (m <sup>2</sup> )	Q(m <sup>3</sup> /s)	(V)m/s	P <sub>L</sub> (N/m <sup>2</sup> )
Entrada al Molde	0,012	0,0001131	3,79E-04	3,3470285	800000
LÍNEA 1	0,008	5,03E-05	5,00E-05	9,95E-01	7,98E+05
LÍNEA 2	0,014	0,002157	1,64E-04	7,61E-02	7,99E+05
LÍNEA 3	0,014	0,002157	1,64E-04	7,61E-02	7,99E+05

Fuente. Autores

Se puede concluir que el sistema presenta varias pérdidas de presión, se determinan a su vez que estas obedecen a los cambios de sección y accesorios



en las líneas 1 y 2 del molde; Las cuales se pueden estudiar detalladamente en el anexo 1, a su vez se puede evidencia que la línea 2 y 3 tiene más caudal que al línea 1 lo cual obedece al dimensionamiento de los anillos de refrigeración de la línea 2 y 3.

Tabla 25. Resumen de cálculos de transferencia de calor del sistema actual línea 1, energía suministrada al molde.

ÍTEM	TEMPERATURA DE LAMINA (°C)	ENERGÍA SUMINISTRADA AL MOLDE POR EL RETAL ( KJ/KG)	CALOR AÑADIDO AL MOLDE POR LA LAMINA ( WATS)
LÍNEA 1	130	70	607,79248

Fuente. Autores

Tabla 26. Resumen de cálculos de transferencia de calor sistema actual línea 1, coeficiente global de transferencia.

ÍTEM	ÁREA DE TRASFERENCIA (M2)	TEMPERATURA DE SALIDA DEL AGUA (°C)	COEFICIENTE GLOBAL DE TRASFERENCIA (W/M <sup>2</sup> *°C)
LÍNEA 1	0,032028	11,9322	178,3099

Fuente. Autores

Se pudo evidenciar en el análisis de la línea 1, que la lámina aporta calor directamente a esta pieza por convección, y que el área de transferencia entre la placa de corte y la lámina tiene relación directa con la cantidad de energía que se le suministra a la pieza.

Tabla 27. Resumen de cálculos de transferencia de calor sistema actual línea 2 y 3, energía suministrada al molde.

ÍTEM	TEMPERATURA DE LAMINA	ENERGÍA SUMINISTRADA AL MOLDE POR LA LAMINA (KJ/KG)	CALOR AÑADIDO AL MOLDE POR LA LAMINA ( WATS)
LÍNEA 2	130	195	1365,227
LÍNEA 3	130	195	1365,227

Fuente. Autores

Tabla 28. Resumen de cálculos de transferencia de calor sistema actual línea 2 y 3, coeficiente global de transferencia.

ITEM	AREA DE TRASFERENCIA (m2 )	TEMPERATURA DE SALIDA DEL AGUA (°C)	COEFICIENTE GLOBAL DE TRASFERENCIA (W/m <sup>2</sup> *°C)
LÍNEA 2	0,071592	11	206,7207
LÍNEA 3	0,071592	11	206,7207

Fuente. Autores

Se observa que la energía que se retira del producto debe ser disipada por los anillos de refrigeración, y que la cantidad de masa del producto influye directamente por su densidad, calor específico y temperatura de operación en el aporte energía al molde.

4.4.2 Efectos de aumento de la temperatura de la lámina en el actual sistema. Con el fin de analizar los efectos de aumentar la temperatura en el sistema actual se realizaron los mismos cálculos elaborados para estudiar la transferencia de calor en el diseño actual de las Línea 1, 2 y 3. Se procedió a consolidar las formulas y datos en el software Excel modificando únicamente el parámetro de la temperatura de termo formado de la lámina de 130 °C a 150 °C Arrojando los siguientes valores presentados en la Tabla 29.

Tabla 29. Efectos de aumento de temperatura en sistema actual línea 1.

ÍTEM	TEMPERATURA DE LAMINA	ENERGÍA SUMINISTRADA AL MOLDE POR EL RETAL ( KJ/KG)	CALOR AÑADIDO AL MOLDE POR LA LAMINA ( WATS)	COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA (W/M <sup>2</sup> *°C)
LÍNEA 1	150	125,000	1085,344	322,242
LÍNEA 1	130	70,000	607,792	178,310
DIFERENCIA	20	55	477,5512	143,93

Fuente. Autores

Tabla 30. Efectos de aumento de temperatura en sistema actual línea 2.

ÍTEM	TEMPERATURA DE LAMINA	ENERGÍA SUMINISTRADA AL MOLDE POR LA LAMINA (KJ/KG)	CALOR AÑADIDO AL MOLDE POR LA LÁMINA ( WATS)	COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA (W/M <sup>2</sup> *°C)
LÍNEA 2	150	250	1511,233	265,026
LÍNEA 2	130	195	1178,762	206,722
DIFERENCIA	20	55	332,4712	58,30401

Fuente. Autores.

En las tablas 29 y 30 se puede evidenciar con color rojo los incremento de energía y calor añadido si se incrementa la temperatura en las condiciones de operación y diseño actuales, el incremento de temperatura puede tener efectos directos en la calidad del producto final así como una dilatación térmica en los ajustes mecánicos del moldes. Con el fin de evidenciar las posibles problemas de calidad en el producto descritas por los operados, si se incrementa la temperatura de la lámina, se consultó el manual de solución de fallas en el producto termoformado de la empresa, documento el cual no se relaciona en su totalidad debido a políticas de confidencialidad de la empresa, donde se especifica que un incremento en la temperatura del molde puede generar las

siguientes fallas y su vez se describe que se debe disminuir la temperatura de lámina para corregir estas mismas:

1. Vaso quemado: (producto en estado de cristalización no cumple pruebas de Nesting)

Estas pruebas de Nesting permiten controlar la calidad del Vaso en cuanto a su resistencia de deformación. En el anexo 8 se explica en detalle esta prueba de control de calidad al producto.

#### Solución

- Disminuir temperatura de lámina
- Revisar refrigeración del molde

2. Mala distribución del material (calibres de pared no uniformes )

#### Solución

- Disminuir temperatura de lámina
- Validar velocidad del puente de contra moldes
- revisar refrigeración del molde

3. Peso del producto fuera de especificación

- Revisar espesor de lámina
- Disminuir temperatura de lámina
- Validar velocidad del puente de contra moldes.
- revisar refrigeración del molde

Bajo el referente de las posible fallas en el molde generadas por aumentar la temperatura de la lámina y dado que en las actuales condiciones de temperatura y operación en el producto final cumple condiciones de calidad, procesabilidad avaladas y documentadas por el departamento de producción y calidad mediante una ficha técnica. Se propone buscar alternativas de diseño encaminadas en conservar y optimizar las condiciones actuales de balance de energía y calor en el molde modificando únicamente la temperatura de la lámina. Lo anterior con el fin de evitar que el producto final presente fallas y lograr un aumento en los ciclos.

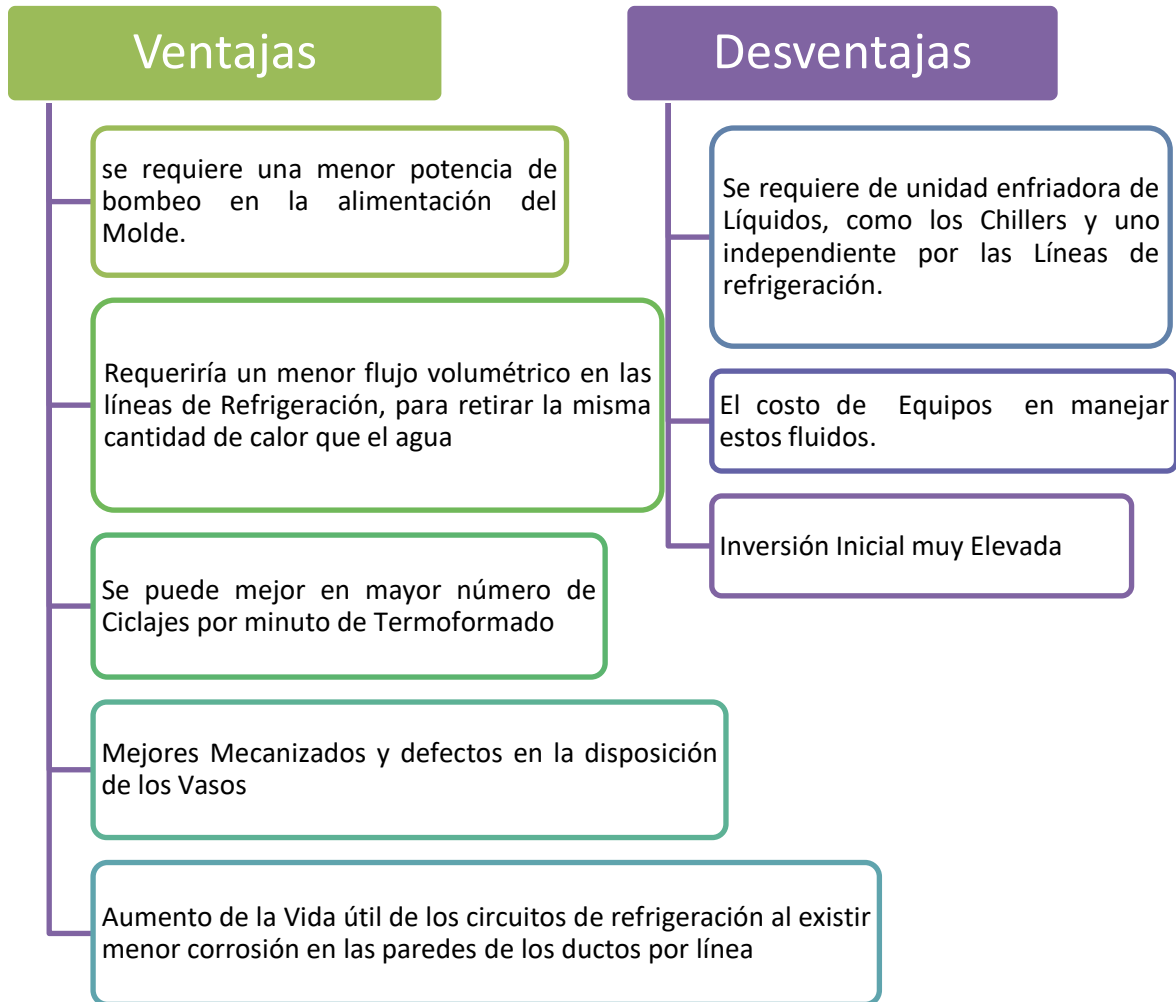
4.4.3 Alternativas de mejoras y selección. Con el objetivo de lograr que el molde conserve su funcionamiento actual se buscara alternativas de diseño encaminadas a conservar las condiciones actuales de transferencia de calor del molde, bajo la variable del aumento de temperatura en la lámina.

4.4.3.1 Alternativas del diseño a desarrollar. Las alternativas de diseño se organizaran de forma tal que se describe los cambios de los sistemas de entrada y de los circuitos de la refrigeración del molde.

- Propuesta para cambios en el sistema de entrada.

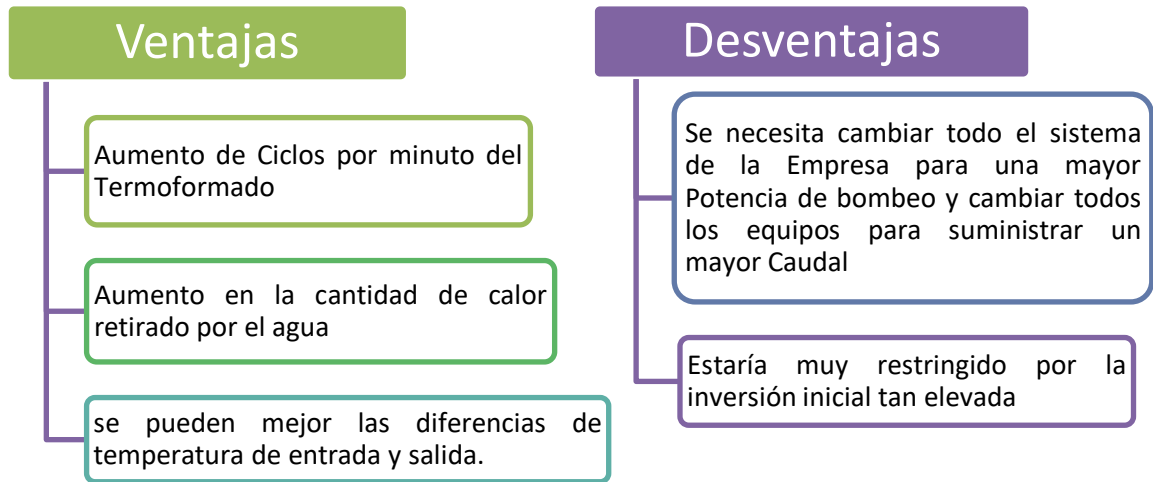
I. Cambio del fluido en el sistema de entrada de refrigeración.

Cambiar el fluido de refrigeración de las líneas por un refrigerante con un poder calorífico mayor que el del agua, que no requiera un cambio significativo en los circuitos de bombeo del sistema de alimentación al molde.



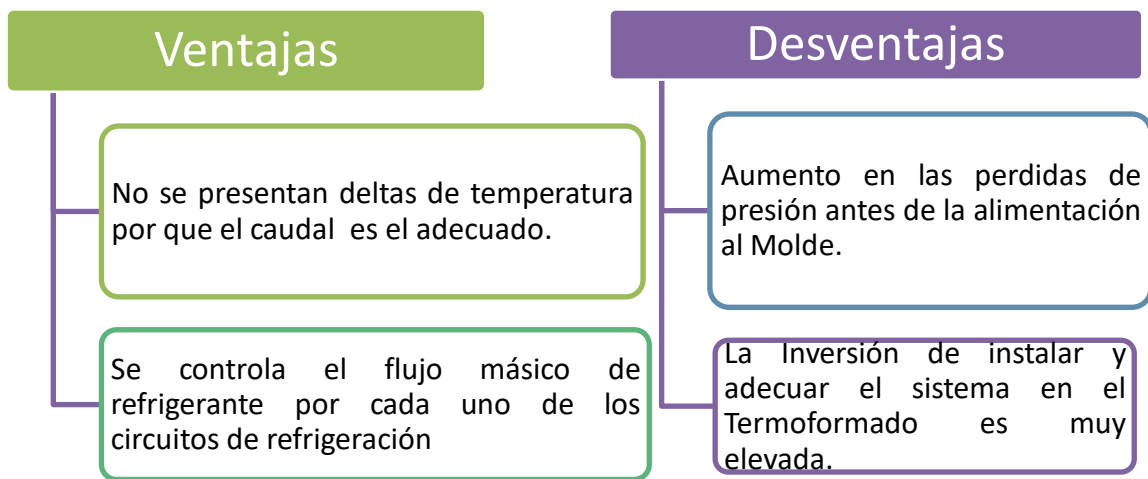
II. Aumento en el caudal del agua para la alimentación de entrada del sistema Refrigeración.

Aumentar el Fluido de agua al sistema de entrada de alimentación a los circuitos de refrigeración.



### III. Implementar dispositivos en el control del fluido.

- Instalar dispositivos de restricción para un control de fluido, garantizando que el flujo volumétrico por línea sea el adecuado.

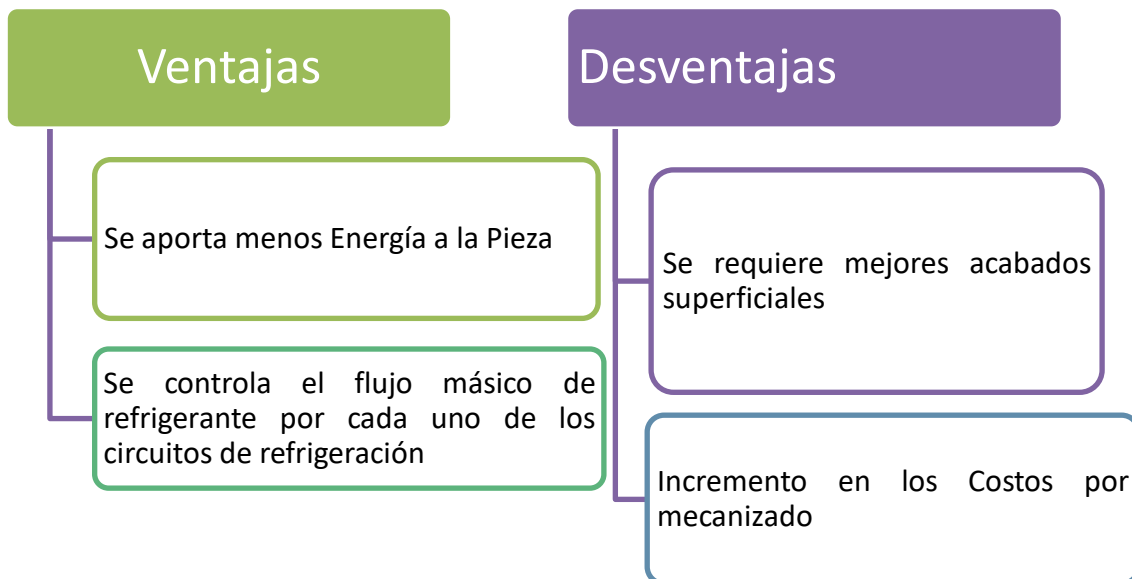


- Propuesta para cambios en la Placa de Corte.

IV. Los cambios en secciones de la placa de corte aumentarían para mayor transferencia en la refrigeración.

V. Cambios de geometría en las áreas de transferencia de calor.

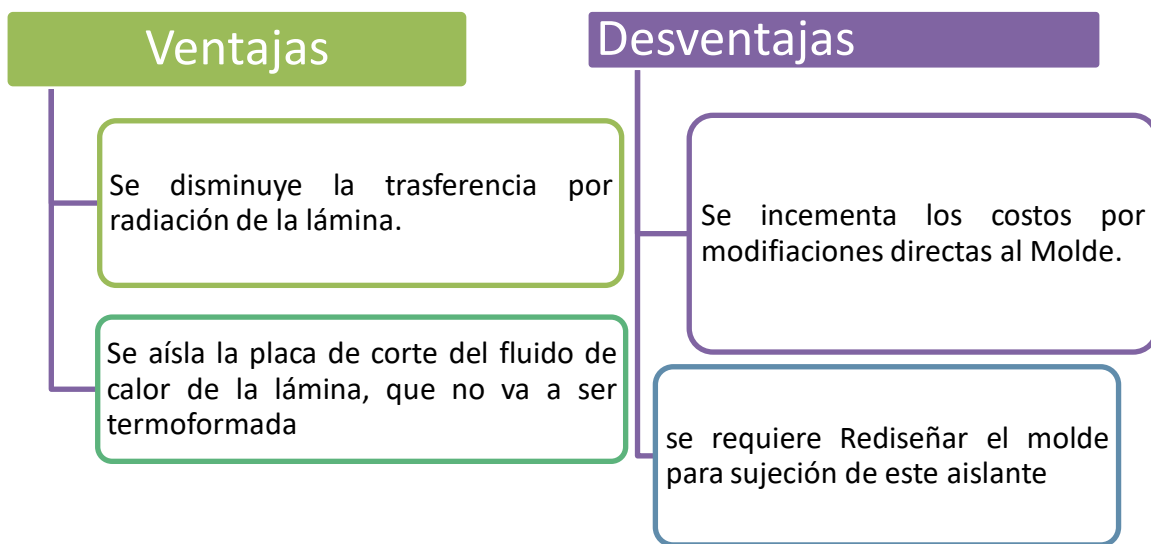
Al disminuir las zonas de contacto directo con la placa de corte de la lámina que no es Termoformada.





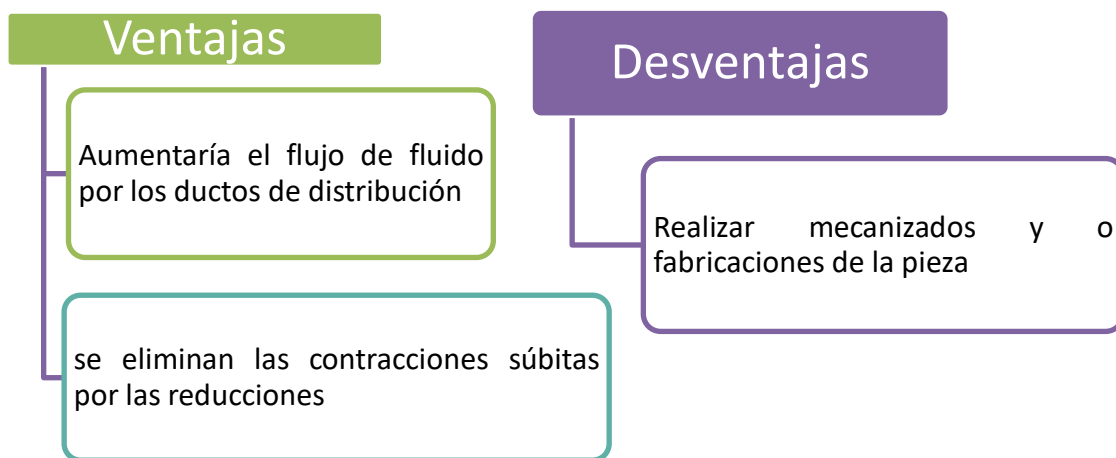
VI. Utilizar aislamiento de las zonas que no están en contacto con la lámina.

Disponer de materiales aislantes en las zonas de la placa de corte que no están en contacto con la lámina, para evitar que el flujo de calor se transmita hacia la misma.



VII. Cambiar las dimensiones de los ductos de entrada y eliminar las reducciones.

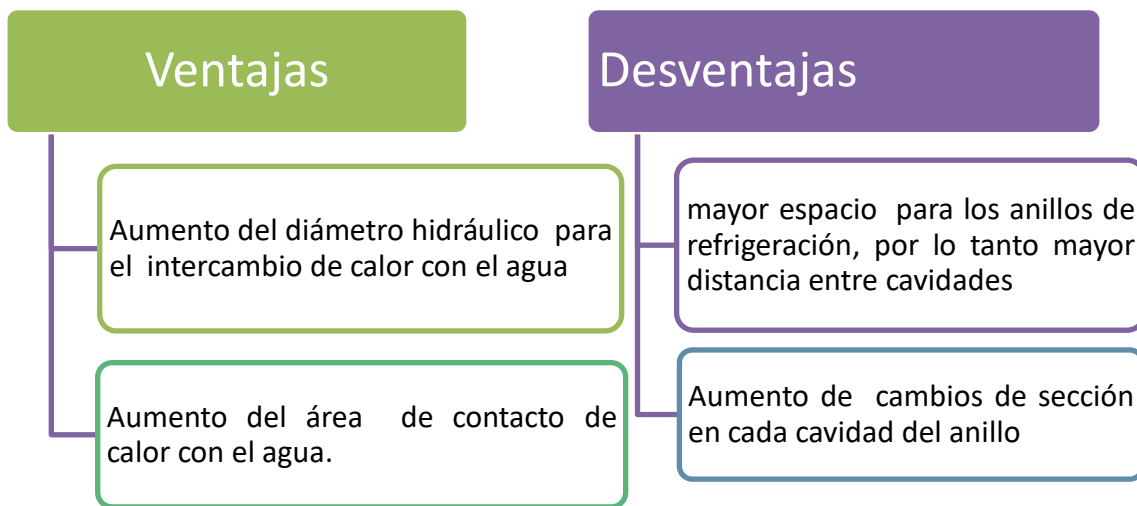
Cambiar las dimensiones del ducto para manejar el mismo diámetro de entrada en la alimentación de la Placa de Corte, aumentando los flujos y velocidades del fluido por las líneas de distribución.



- Propuesta para cambios en el Conjunto de Bloques Inferior y de Cavidades.

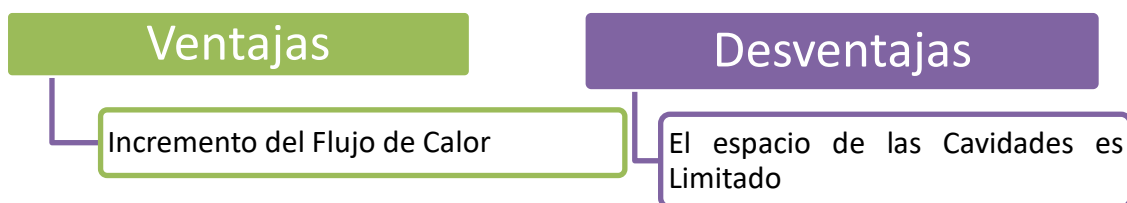
#### VIII. Incrementar el área de contacto de la cavidad en contacto con el agua.

En los anillos de refrigeración aumentar el área en contacto de la cavidad con el agua, provocando que las paredes de los anillos sean mayores en el intercambio de calor con el agua.



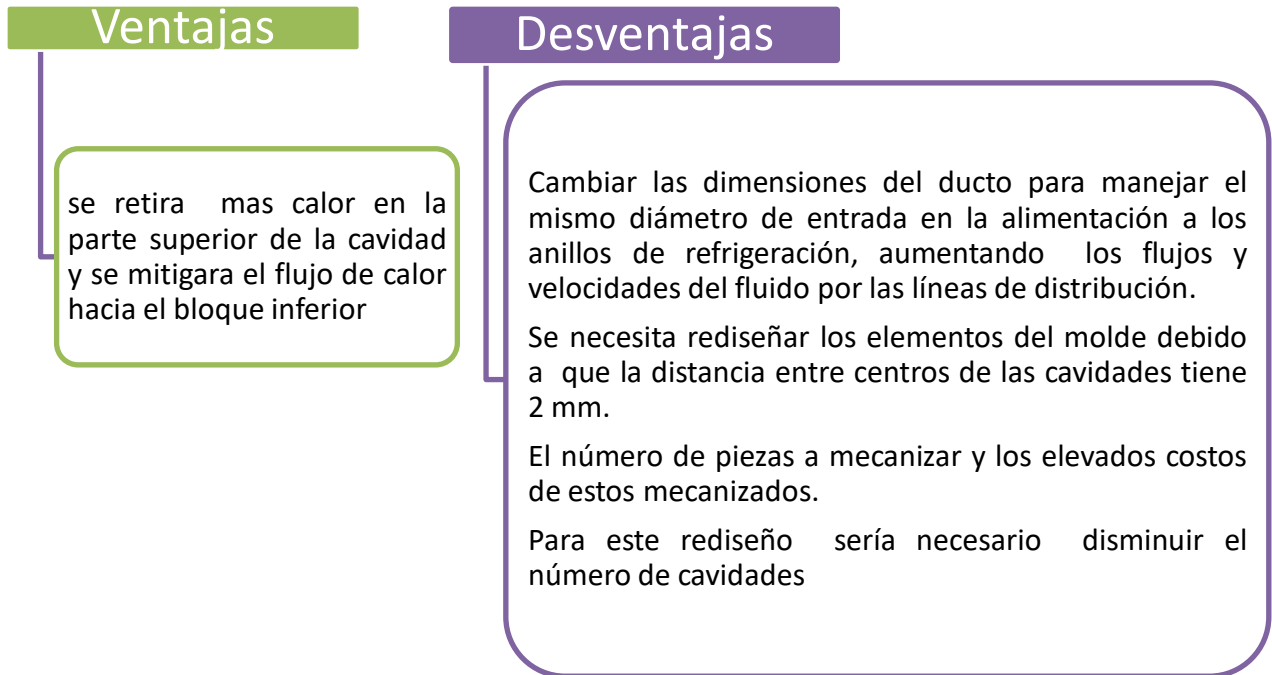
#### IX. Concentrar más los anillos de refrigeración de las cavidades en las zonas de menor flujo de calor.

Reforzar la refrigeración de las cavidades en las zonas en donde se observó que existe mayor transferencia de calor hacia el producto.

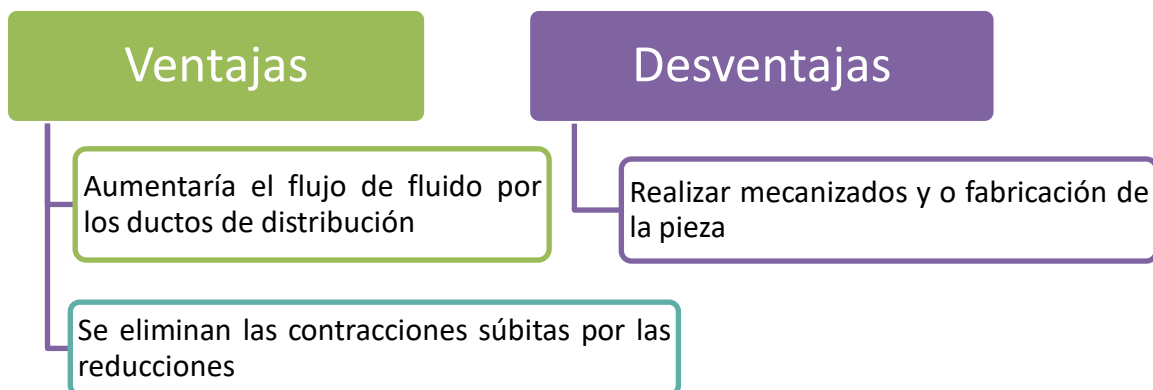


X. Refrigeración en la placa superior más localizada.

Dotar de bujes la placa superior del bloque inferior, estos bujes entraran en contacto con el cortador individual por cavidad.



XI. Cambiar las dimensiones de los ductos de entrada y eliminar las reducciones.



El modelo de selección de alternativas en busca de encontrar las mejoras de la eficiencia en la refrigeración planteada, se basan en las siguientes matrices de selección de alternativas.

Con la siguiente matriz se busca evidenciar que alternativas son de tipo excluyente o independiente con el fin evaluar la influencia de cada alternativa sobre las otras. Se consideró una alternativa excluyente como una alternativa de única elección que impide el desarrollo de las demás y una independiente como una alternativa que para su desarrollo no afecta las demás propuestas, a continuación se representan los resultados.

MATRIZ SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS				
CRITERIOS		DESCRIPCIÓN	EXCLUYENTE	INDEPENDIENTE
PROPUESTA I	LÍNEA 1	Cambio del fluido en el sistema de entrada de refrigeración		X
PROPUESTA II		Aumento en el caudal del agua para la alimentación de entrada del sistema Refrigeración.		X
PROPUESTA III		Implementar dispositivos en el control del fluido		X
PROPUESTA IV		Cambios de geometría en las áreas de transferencia de calor		X
PROPUESTA V		Utilizar aislamiento de las zonas que no están en contacto con la lámina		X
PROPUESTA VI		Cambiar las dimensiones de los ductos de entrada y eliminar las reducciones		X

MATRIZ SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS				
CRITERIOS		DESCRIPCIÓN	EXCLUYENTE	INDEPENDIENTE
PROPUESTA VII	LÍNEA 2	Incrementar el área de contacto de la cavidad en contacto con el agua		X
PROPUESTA VIII		Concentrar más los anillos de refrigeración de las cavidades en las zonas de menor flujo de calor		X
PROPUESTA IX		Refrigeración en la placa superior más localizada		X
PROPUESTA X		Cambiar las dimensiones de los ductos de entrada y eliminar las reducciones		X

Para el desarrollo de la siguiente matriz se tuvieron en cuenta criterios como Costos, tiempo de ejecución, recursos de la empresa y beneficios encaminados a lograr un incremento en la temperatura de la lámina a continuación se describen los resultados.

TABLA RESUMEN DE SELECCION DE ALTERNATIVAS					
	ALTERNATIVAS DE MEJORAS	EXCLUYENTE / INDEPENDIENTE	MATRIZ 1	MATRIZ 2	TOTAL
1	Cambio del fluido en el sistema de entrada de refrigeración	INDEPENDIENTE	8	8	16
2	Aumento en el caudal del agua para la alimentación de entrada del sistema Refrigeración.	INDEPENDIENTE	13	9	22
3	Implementar dispositivos en el control del fluido	INDEPENDIENTE	13	9	22
4	Cambios de geometría en las áreas de transferencia de calor	INDEPENDIENTE	15	14	29
5	Utilizar aislamiento de las zonas que no están en contacto con la lámina	INDEPENDIENTE	10	8	18
6	Cambiar las dimensiones de los ductos de entrada y eliminar las reducciones	INDEPENDIENTE	17	15	32
7	Incrementar el área de contacto de la cavidad en contacto con el agua	INDEPENDIENTE	20	16	36
8	Concentrar más los anillos de refrigeración de las cavidades en las zonas de menor flujo de calor	INDEPENDIENTE	12	11	23
9	Refrigeración en la placa superior más localizada	INDEPENDIENTE	8	8	16
10	Cambiar las dimensiones de los ductos de entrada y eliminar las reducciones	INDEPENDIENTE	15	14	29

MATRIZ SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS IMPORTANCIA POR GRADO DE CUMPLIMIENTO																																		
CRITERIOS	PROP 1			PROP 2			PROP 3			PROP 4			PROP 5			PROP 6			PROP 7			PROP 8			PROP 9			PROP 10			TOTAL			
	IMPORT	CUMPLIM	TOTAL	IMPORT	CUMPLIM	TOTAL	IMPORT	CUMPLIM	TOTAL	IMPORT	CUMPLIM	TOTAL	IMPORT	CUMPLIM	TOTAL	IMPORT	CUMPLIM	TOTAL	IMPORT	CUMPLIM	TOTAL	IMPORT	CUMPLIM	TOTAL	IMPORT	CUMPLIM	TOTAL							
PERMITE AUMENTO DE TEMPERATURA DE LAMINA	3	2	↑6	3	2	↑6	3	2	↑6	3	2	↑6	3	2	↑6	3	2	↑6	3	2	↑6	3	2	↑6	3	2	↑6	3	2	↑6	105			
COSTOS	3	0	↓0	3	1	↘3	3	1	↘3	3	1	↘3	3	0	↓0	3	1	↘3	3	2	↑6	3	0	↓0	3	0	↓0	3	1	↘3	55			
TIEMPO DE EJECUCION	2	0	↓0	2	1	↘2	2	2	↗4	2	1	↘2	2	2	↗4	2	2	↗4	2	2	↗4	2	1	↘2	2	1	↘2	2	1	↘2	57			
RECURSOS PARA IMPLEMENTACION	2	1	↘2	2	1	↘2	2	0	↓0	2	2	↗4	2	0	↓0	2	2	↗4	2	2	↗4	2	2	↗4	2	0	↓0	2	2	↗4	53			
TOTAL			8			13			13			15			10			17			20			12			8			15			270	



























PONDERACION IMPORTANCIA	
Muy importante	3
Modernamente importante	2
Sin importancia	1

PONDERACION CUMPLIMIENTO	
Cumple plenamente	2
Cumple parcialmente	1
No cumple	0



MATRIZ SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS						
CRITERIOS	PERMITE AUMENTO DE TEMPERATURA DE LAMINA		COSTOS	TIEMPO DE EJECUCION	RECURSOS PARA IMPLEMENTACION	TOTAL
PROPUESTA I	↑	4	↓ 1	↘ 2	↓ 1	8
PROPUESTA II	↑	4	↓ 1	↘ 2	↘ 2	9
PROPUESTA III	↗	3	↘ 2	↗ 3	↓ 1	9
PROPUESTA IV	↑	4	↗ 3	↗ 3	↑ 4	14
PROPUESTA V	↗	3	↓ 1	↗ 3	↓ 1	8
PROPUESTA VI	↑	4	↗ 3	↑ 4	↑ 4	15
PROPUESTA VII	↑	4	↑ 4	↑ 4	↑ 4	16
PROPUESTA VIII	↑	4	↓ 1	↘ 2	↑ 4	11
PROPUESTA IX	↑	4	↓ 1	↘ 2	↓ 1	8
PROPUESTA X	↑	4	↗ 3	↗ 3	↑ 4	14
TOTAL		26	15	21	17	79

PONDERACION	
BAJA	1
MEDIA	2
BUENA	3
ALTA	4

TABLA RESUMEN DE SELECCION DE ALTERNATIVAS					
	ALTERNATIVAS DE MEJORAS	EXCLUYENTE / INDEPENDIENTE	MATRIZ 1	MATRIZ 2	TOTAL
<b>1</b>	Cambio del fluido en el sistema de entrada de refrigeración	INDEPENDIENTE	 8	 8	 16
<b>2</b>	Aumento en el caudal del agua para la alimentación de entrada del sistema Refrigeración.	INDEPENDIENTE	 13	 9	 22
<b>3</b>	Implementar dispositivos en el control del fluido	INDEPENDIENTE	 13	 9	 22
<b>4</b>	Cambios de geometría en las áreas de transferencia de calor	INDEPENDIENTE	 15	 14	 29
<b>5</b>	Utilizar aislamiento de las zonas que no están en contacto con la lámina	INDEPENDIENTE	 10	 8	 18
<b>6</b>	Cambiar las dimensiones de los ductos de entrada y eliminar las reducciones	INDEPENDIENTE	 17	 15	 32
<b>7</b>	Incrementar el área de contacto de la cavidad en contacto con el agua	INDEPENDIENTE	 20	 16	 36
<b>8</b>	Concentrar más los anillos de refrigeración de las cavidades en las zonas de menor flujo de calor	INDEPENDIENTE	 12	 11	 23
<b>9</b>	Refrigeración en la placa superior más localizada	INDEPENDIENTE	 8	 8	 16
<b>10</b>	Cambiar las dimensiones de los ductos de entrada y eliminar las reducciones	INDEPENDIENTE	 15	 14	 29

I. Una vez analizado los criterios de las posibles mejoras, se estudiarán los parámetros que permitan el aumento de temperatura óptimo en el intercambio de calor y que su costo no sea elevado para su implementación.

4.4.3.2 Selección de las alternativas propuestas para el diseño. La selección de alternativas del diseño se hizo teniendo en cuenta el mejor arreglo para la transferencia de calor, la mejor combinación de las diferentes alternativas, las mejoras de su eficiencia y los costos de su implementación. Las mejoras propuestas para cada circuito de distribución se presentan a continuación.

#### ☞ Placa de Corte

1. Cambiar la geometría de las zonas de contacto para disminuir la transferencia de calor.

Al disminuir el área de transferencia hay menor transferencia de energía entre los dos medios, ya que esta transferencia no está aportando al proceso como tal. Se puede comprobar mediante la ecuación.

$$q = h_b \times A \times \text{LMTD}$$

2. Cambiar las dimensiones de los ductos de entrada y eliminar las reducciones

El aumento de los ductos en la distribución de la Línea, permite que haya más flujo de caudal y se eliminen las contracciones súbitas por reducciones de cada tramo.

El por qué utilizar el mismo diámetro del ducto de entrada, es demostrable mediante las siguientes ecuaciones, además de que se eliminarían las contracciones súbitas por reducción en la entrada del ducto.

El flujo del fluido necesario para retirar el calor en la línea de distribución en el intercambio térmico con el agua es calculado de la siguiente ecuación.

$$Q_i = \frac{Q_r}{\Delta T * C_p * \rho}$$

Para lo cual se relacionan los nuevos valores de energía suministrada al molde por la lámina retal y temperaturas de agua para ello se procedió a modificar los valores de la entalpia de entrada; de 130 grados en el anterior proceso a 150 grados propuestos en el análisis para ello uso la ecuación 4.41.

$$T_s = T_e + \frac{q}{p * Q * C_p}$$

$T_s$  = Temperatura de salida del agua

$T_e$  = Temperatura de entrada del Agua de Refrigeración (°C)

$q$  = Calor suministrado al molde por el área de la lámina no Termoformada

$P$  = Densidad del Agua a 10°C Véase anexo 4

$Q$  = Caudal línea 1

$C_p$  = Calor Especifico del Agua

Datos

$p = 992.2 \text{ kg/m}^3$  Véase anexo 4

$Q_r = 429.9183 \text{ Kg/s}$

$C_p = 4,195 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} ^\circ\text{C}$  Ver anexo 6

$T_e = 9^\circ\text{C}.$

$T_s = 10.25^\circ\text{C}.$

Despejando caudal de ecuación 4.41 y remplazando valores.

$$Q = \frac{Q_r}{\Delta T * C_p * \rho}$$

$Q = 0,0000857 \text{ m}^3/\text{s}$

El diámetro que corresponderá a este flujo volumétrico se determina de relacionar las siguientes ecuaciones.

Caudal Volumétrico:

$$Q_i = v_i \times A_i$$

Perdidas menores en función del coeficiente de resistencia y la carga de velocidad.

$$H_i = \sum K_i \frac{V_i^2}{2g}$$

$\sum K_i$  = Coeficiente de Resistencia adimensional

Despejando el Área y la Velocidad

Donde  $A_i$

$$A_i = \frac{Q_i}{V_i}$$

$$A_i = \frac{\pi \times D_i^2}{4}$$

Donde  $V_i$

$$V_i = \sqrt{\frac{H_i \times 2 \times g}{\sum K_i}}, \text{ y } D_i$$

$$D_i = \sqrt{\frac{A_i \times 4}{\pi}}$$

$$\sum K_i = 25,6$$

Ver anexo 1

$$H_i = R_i Q_i^2$$

$$H_i = 0,72 \text{ m}$$

Ver tabla 18

Remplazando los valores para calcular la velocidad  $V_i$

$$V_i = \sqrt{\frac{0,72 \text{ m} \times 2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}{25,6}}$$

$$V_i = 0,742 \text{ m/s}$$

Una vez conocido la velocidad se remplaza en la ecuación para determinar el área

$A_i$

$$A_i = \frac{0,0000857 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,742 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$A_i = 1,15 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Entonces el diámetro estimado para los ductos de la Línea de distribución corresponde.

$$D_i = \sqrt{\frac{1,15 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 4}{\pi}}$$

$$D_i = 0,012 \text{ m}$$

☞ Bloque inferior y de Cavidades

1. Alargar la superficie de l
2. a cavidad en contacto con el agua.

Se busca que las paredes de los anillos tengan un mayor intercambio de calor con el agua.

Para tal fin si se alarga la longitud de pared de los anillos aumentando su perímetro Húmedo y Área Superficial, disminuyendo su transferencia de energía y aumentando la refrigeración de estas cavidades. Esto debido a que el diámetro del anillo no se puede modificar.

Lo que se busca con este aumento es que el diámetro equivalente o diámetro húmedo se mantenga en las dimensiones que la pared de las cavidades lo permita.

El diámetro húmedo Actual está en un valor de  $0,014\text{ m}$  y el máximo permitido por estas paredes de cavidades es de  $0,017\text{ m}$ . Entonces se aumentara la altura del anillo a  $0,1\text{ m}$  para así calcular el valor de este diámetro. Las ecuaciones que permiten determinar el diámetro se mencionan en el capítulo 4.1.2.1 de la ecuación 4.0. Relacionando estas ecuaciones se tiene que el diámetro equivaldrá a:

$$D_h = 4R_h$$

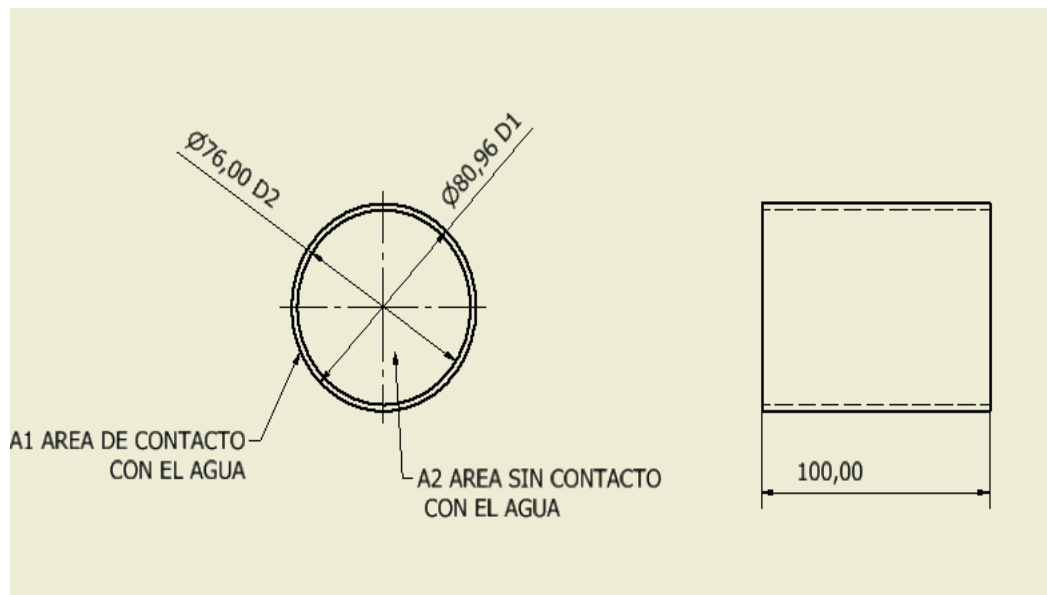
La altura del anillo estimada será de  $h_a = 100\text{ mm}$

$r_1 = 0,04048\text{ m}$                       Radio de la pared exterior del anillo

$r_2 = 0,038\text{ m}$                       Radio de la pared interna del anillo

En la figura 27 se representan las dimensiones del anillo de refrigeración.

Figura 27. Aumento de la altura del anillo de refrigeración.



Fuente. Autores

Para poder determinar el área superficial del anillo ( $A_s$ ) se toma como la geometría de un cilindro hueco como área lateral del anillo en contacto con el agua ( $A_1$ ) y área lateral del anillo que no está en contacto con el agua ( $A_2$ ).

$$A_s = A_1 - A_2$$

El Área que está en contacto con el agua será

$$A_1 = 2\pi \times r_1 \times h_a + 2\pi \times r_1^2$$

$$A_1 = (2\pi \times 0,04048 \text{ m} \times 0,01 \text{ m}) + (2\pi \times (0,04048 \text{ m})^2)$$

$$A_1 = 0,0357 \text{ m}^2$$

El Área que no está en contacto con el agua será



$$A_2 = 2\pi \times r_2 \times h_a + 2\pi \times r_2^2$$

$$A_2 = (2\pi \times 0,038 \text{ m} \times 0,01 \text{ m}) + (2\pi \times (0,038 \text{ m})^2)$$

$$A_2 = 0,0329 \text{ m}^2$$

Entonces el valor de Área superficial del anillo de refrigeración será  $A_s$

$$A_s = 0,0357 \text{ m}^2 - 0,0329 \text{ m}^2$$

$$A_s = 0,0027 \text{ m}^2$$

Una vez calculado el área superficial del anillo de refrigeración se determina el perímetro húmedo del anillo de refrigeración  $P_m$ .

$$P_m = 2h_a + 2\pi (r_1 + r_2)$$

$$P_m = 2 \times 0,01 \text{ m} + 2\pi (0,04048 \text{ m} + 0,038 \text{ m})$$

$$P_m = 0,693 \text{ m}$$

Remplazando el área superficial ( $A_s$ ) y el perímetro húmedo ( $P_m$ ) se podrá calcular el valor del Radio húmedo  $R_h$

$$R_h = \frac{A_s}{P_m}$$

$$R_h = \frac{0,0027 \text{ m}^2}{0,693 \text{ m}}$$

$$R_h = 0,004012 \text{ m}$$

El diámetro equivalente del anillo de refrigeración será  $D_h$

$$D_h = 4R_h$$

$$D_h = 4 \times 0,004012 \text{ m}$$

$$D_h = 0,016 \text{ m}$$

### 3. Cambiar las dimensiones de los ductos de entrada y eliminar las reducciones

Se realiza el mismo análisis propuesto para los ductos de entrada de la Placa de Corte, esto debido a que se eliminan las mismas contracciones súbitas de entrada y se mantiene el mismo diámetro del Circuito de alimentación a los bloques inferior y de cavidades.

Se sabe que el caudal óptimo del balance de calor de la Placa de Corte es de  $0,0000857 \text{ m}^3/\text{s}$  relacionado en la sección anterior, se realiza la siguiente analogía para los Bloques inferior y de Cavidades.

Se tiene el mismo caudal de entrada  $0,00037854 \text{ m}^3/\text{s}$  y la diferencia de caudal en la línea 1, línea 2 y línea 3 corresponde

$$\text{Línea 2 Caudal Volumétrico estimado} = 0,00014642 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Línea 3 Caudal Volumétrico estimado} = 0,00014642 \text{ m}^3/\text{s}$$

Al realizar los cálculos del diámetro de entrada en la alimentación a los Bloques Inferior y de Cavidades corresponde al mismo diámetro de la Placa de corte.

$$D_i = 0,012 \text{ m}$$

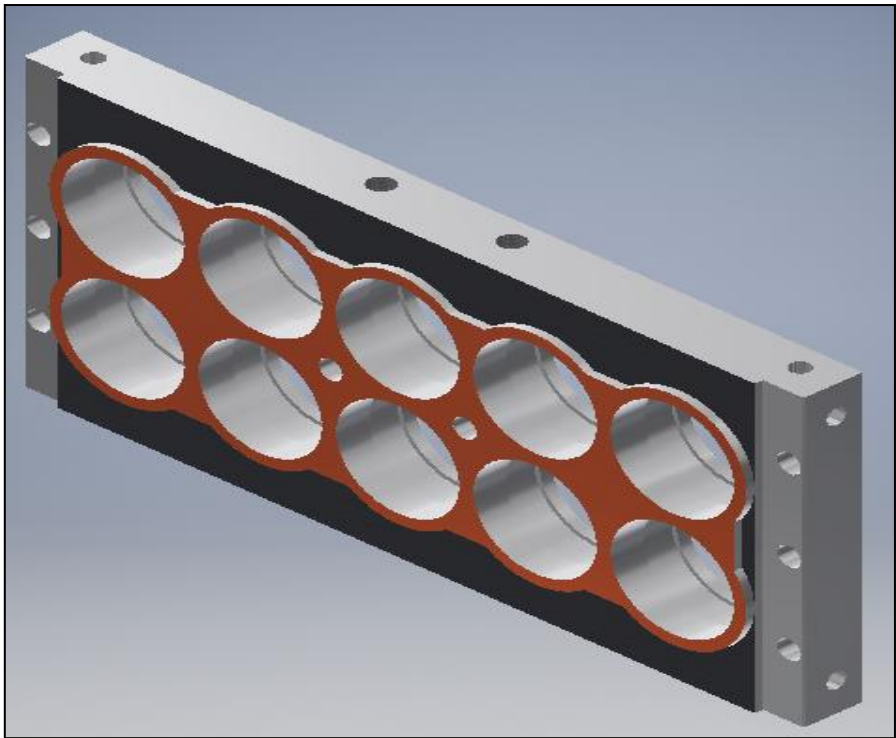
Este diámetro corresponde a las líneas de distribución línea 2 y línea 3.

4.4.4 Descripción de alternativas de diseño.

4.4.4.1 Disminución de Área de Transferencia. Se propone realizar un mecanizado especial cuyo objetivo es el de disminuir el área de contacto de la lámina con la placa de corte la cual se puede observar en la Imagen 28, donde se representa con color rojo el área de transferencia de calor modificada.

ITEM	ACTUAL	REDISEÑO	DIFERENCIA
Área de transferencia (m³)	0,032	0,023	0,009

Figura 28. Disminución del Área de Transferencia



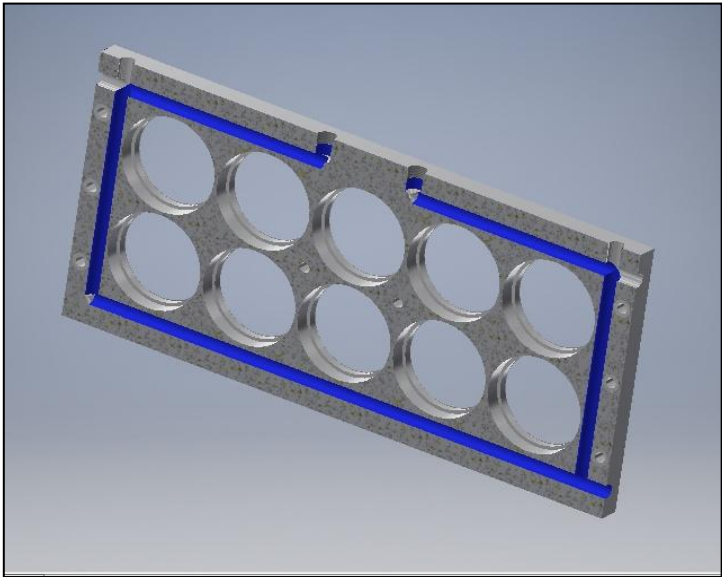
Fuente. Autores

4.4.4.2 Dimensionamiento de los Ductos de la Línea 1. Se propone aumentar el diámetro de las tuberías de 8 mm a 12 mm con el fin de aumentar el flujo másico

del agua y aumentar la temperatura de salida del agua. En la Figura 29 se representa el ducto modificado.

ITEM		ACTUAL	REDISEÑO	DIFERENCIA
Diámetro de tubería	(mm)	8	12	-4

Figura 29. Ilustración en el aumento de diámetro del ducto

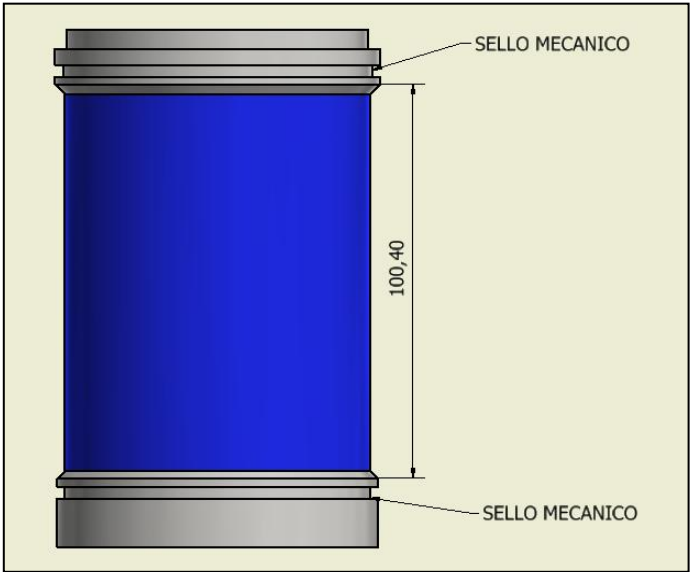


Fuente. Autores

4.4.4. 3 Aumento de longitud de anillo de refrigeración línea 2 y 3. Se propone aumentar la longitud del anillo de refrigeración de 60 mm a 100 mm con el fin de aumentar el flujo másico del agua mantener el balance de calor propuesto. En la Figura 30 se representa el ducto modificado y se representa el área de transferencia de la pieza con color azul.

ÍTEM		ACTUAL	REDISEÑO	DIFERENCIA
Diámetro de tubería	(mm)	8	12	-4

Figura 30. Ilustración aumento de longitud de anillo de refrigeración



Fuente. Autores

4.4.4.4 Dimensionamiento de los ductos de la Línea 2. Se propone aumentar el diámetro de las tuberías de 8 mm a 12 mm con el fin de aumentar el flujo másico del agua y aumentar la temperatura de salida del agua. En la Figura 30 se representa el ducto modificado.

ÍTEM	ACTUAL	REDISEÑO	DIFERENCIA
Diámetro de tubería (mm)	8	12	-4

4.4.5 Valores de las Modificaciones. Para las mejoras seleccionadas se procede a realizar nuevos cálculos y se modifican valores de acorde las mejoras propuestas para el sistema global de refrigeración, con el fin de establecer una comparación con el sistema actual y evidenciar los cambios que genera en el sistema implementando las mejoras propuestas.

4.4.5.1 Flujo Volumétricos por la Línea 1. Para determinar el Flujo Volumétrico necesario en la refrigeración de la pieza y que el balance de calor sea optimo, se realiza la analogía y procedimientos de cálculos en tuberías en paralelo mencionadas en el capítulo anterior.

a. Flujo Volumétrico de la Placa de Corte (línea 1).

Placa de Corte	(Q)m <sup>3</sup> /s	(Q) G/min	Velocidad ( m/s)	% de Flujo Volumétrico
	8,57E-05	1,3578	0,75748	22,63

b. Perdidas presentes en la Placa de Corte (Línea 1)

Placa de Corte	$H_{L1}$ (m)	$F_1$	$R_{e1}$	$\sum K_1$
	0,2772	0,0393	6994,6557	4,7245

c. Presiones en la Placa de Corte (Línea 1)

Placa de Corte	$P_e \left( \frac{N}{m^2} \right)$	$P_1 \left( \frac{N}{m^2} \right)$	$P_s \left( \frac{N}{m^2} \right)$	% de presión
	800000	802356,1178	797529,2707	33,34

4.4.5.2 Transferencia de calor propuesta para la línea 1. A continuación se relaciona los cálculos de transferencia de calor basados en las mejoras de diseño propuestas para la línea 1. En la tabla 31 se relacionan los Cálculos de la masa de producto trasformada por ciclo según ecuación 4.36.

Tabla 31. Masa de producto trasformada por ciclo.

<b><i>Masa del Producto Trasformada por Ciclo</i></b>		
m	0,0604	kg
Densidad pp	903	g/ m <sup>3</sup>
Radio de corte	0,0377	m
espesor lamina	0,0015	m
Numero cav	10	

Fuente. Autores.

En la tabla 32 se relacionan los Cálculo la masa del retal por ciclo según ecuación 4.38.

Tabla 32. Masa de retal por ciclos.

<b><i>Masa del producto Retal</i></b>		
Mr	0,0311	kg
Densidad pp	903	g/ m <sup>3</sup>
Ancho mol	0,426	m
Espesor lamina	0,0015	m
Largo mol	0,18	m
Ciclos	12	
AREA DE TRASFERENCIA	0,023	m

Fuente. Autores

En la tabla 33 se relacionan los valores de energía suministrada al molde por la lámina retal en la cual se modificó el valor de la entalpía de entrada; de 130 grados en el anterior proceso a 150 grados propuestos para manejar la lámina después de implementadas las mejoras según ecuación 4.39.

Tabla 33. Energía suministrada al molde por el retal con mejoras propuestas.

ENERGIA SUMINISTRADA AL MOLDE POR EL RETAL	
ER	69 Kj/Kg
ENTALPIA PP ENTRADA 150	361 °C
ENTALPIA PP SALD 125	292 °C

Fuente. Autores.

En la tabla 34 se relacionan los valores del calor añadido al molde por la lámina retal según ecuación 4.40.

Tabla 34. Energía suministrada al molde por el retal con mejoras propuestas.

Calor añadido al molde por el retal	
Qr	429,9183 w
ER	69 Kj/Kg
mr	0,0062307 Kg/s

Fuente. Autores

En la tabla 35 se relacionan los valores del flujo másico por la línea 1 retal según ecuación 4.42.



Tabla 35. Valores de flujo másico por línea 1.

FLUJO MASICO		
m	0,08503	kg/s
p	992,2	kg/m <sup>3</sup>
caudal	0,0000857	M <sup>3</sup> /s

Fuente. Autores.

En la tabla 36 se relacionan los valores calculados para determinar la temperatura de salida del agua por la línea 1 según ecuación 4.41.

Tabla 36. Cálculo de temperatura de salida de agua línea 1.

Temperatura salida agua	
Temp Salida agua	10,205 °C
Temp entrada agua	9 °C
Q ( calor)	429,9183 W
M	0,085 Kg
CP	4195 Kj/Kg °C

Fuente. Autores.

En la tabla 37 se relacionan los valores LMTD (media logarítmica entre temperaturas de entrada salida de la lámina y el agua) por la línea 1 retal según ecuación 4.45.

Tabla 37. Valores de LMTD para línea 1.

LTMB		
LTMB	127.448	K
TR	125	°C
TI	150	°C
TS	10,205	°C
TE	9	°C

Fuente. Autores.

En la tabla 28 se relacionan los valores para el coeficiente global de transferencia de calor para la línea 1 según ecuación 4.44.

Tabla 38. Valores coeficiente global de transferencia de calor para línea 1.

Coeficiente global de transferencia calor		
hb	146,663	W/m <sup>2</sup> *°C
Qr	429,9183	w
A	0,023	m
LTMB	127,448	°C

Fuente. Autores.

#### 4.4.6. Rediseño Línea 2 y Línea 3.

4.4.6.1 Flujo Volumétricos por la Línea 2 y Línea 3. Para poder determinar el Flujo Volumétrico de los Anillos de Refrigeración del Bloque inferior y el Bloque de Cavidades para que el balance de calor sea óptimo, se realiza la analogía y procedimientos de cálculos en tuberías en paralelo mencionadas en el capítulo anterior.

d. Flujo Volumétrico del Bloque Inferior y Bloque de Cavidades (línea 2 y línea 3).

Bloque Inferior y Bloque de Cavidades	(Q) m <sup>3</sup> /s	(Q) G/min	Velocidad ( m/s)	% de Flujo Volumétrico
	1,46E-04	2,321	0,0526	22,63

e. Perdidas presentes en el Bloque Inferior y Bloque de Cavidades (línea 2 y línea 3)

Bloque Inferior y Bloque de Cavidades	$H_{L2;3}$ (m)	$F_{2;3}$	$R_{e2;3}$	$\sum K_{2;3}$
	0,2729	0,03627	8909,16843	7,5434

f. Presiones en el Bloque Inferior y Bloque de Cavidades(línea 2 y línea 3)

Bloque Inferior y Bloque de Cavidades	$P_e \left( \frac{N}{m^2} \right)$	$P_{2;3} \left( \frac{N}{m^2} \right)$	$P_s \left( \frac{N}{m^2} \right)$	% de presión
	800000	802615,1178	797529,2707	33,34

4.4.6.2 Transferencia de calor propuesta para la línea 2 y línea 3. A continuación se relaciona los calcos de transferencia de calor esperada basados en las mejoras de diseño propuestas para las dos Líneas.

En la tabla 39 se relacionan los Cálculos de la masa de producto trasformada por ciclo para las dos líneas según ecuación 4.36.

Tabla 39. Masa de producto trasformada por ciclo línea 2 y línea 3.

Masa del producto trasformada por ciclo		
M	0,0302	kg
Densidad pp	903	g/ m <sup>3</sup>
Radio de corte	0,0377	m
espesor lamina	0,0015	m
Numero cav	5	
Ciclos	12	

Fuente. Autores

En la tabla 40 se relacionan los valores de energía suministrada al molde por la lámina para el producto final, en la cual se modificó el valor de la entalpia de entrada de 130 grados en el anterior proceso a 150 grados propuestos para manejar la lámina después de implementadas las mejoras según ecuación 4.39.

Tabla 40. Energía suministrada al molde por el retal con mejoras propuestas.

Energía suministrada al molde por el retal	
ER	250 Kj/ Kg
ENTALPIA PP ENTRA 150	361 °C
ENTALPIA PP SALD 60	111 °C

Fuente. Autores

En la tabla 41 se relacionan los valores del calor retirado del producto final según ecuación 4.40.

Tabla 41. Energía suministrada al molde por el retal con mejoras propuestas.

Calor retirado del producto		
$Q_r$	1511,232	w
ER	250	Kj/Kg
mr	0,006044	Kg/s

Fuente. Autores

En la tabla 32 se relacionan los valores del flujo másico por la línea 2 y línea 3, en donde se puede observar una variación del caudal debido a las modificaciones de diseño retal cálculos realizados según ecuación 4.42.

Tabla 42. Valores de flujo másico por línea 2 y línea 3.

Flujo másico		
m	0,144	kg/s
p	992,2	kg/m <sup>3</sup>
caudal	0,000146	m <sup>3</sup> /s

Fuente. Autores

En la tabla 43 se relacionan los valores calculados para determinar la temperatura de salida del agua por la línea 2 según ecuación 4.41.

Tabla 43. Cálculo de temperatura de salida de agua línea 2 y línea 3.

Temperatura salida agua	
Tem Salid	11,486 °C
Tem entrada	9 °C
$q$	1511,232 W
M	0,144 Kg
CP	4195 Kj/Kg °C

Fuente. Autores

En la tabla 44 se relacionan los valores calculados para determinar a la cantidad de calor retirada por el agua en la línea 2 y línea 3 según ecuación 4.40.

Tabla 44. Cantidad de calor retirado por el agua.

CALOR RETIRADO POR EL AGUA LINEA 2Y3	
Qr	1511,232 Kg/s
Tem Salida agua	11,486 °C
Tem entrada	9 °C
$Qr$	1511,232 Kg/s
M	0,144 Kg
CP	4195 Kj/Kg °C

Fuente. Autores

En la tabla 45 se relacionan los valores LMTD (media logarítmica entre temperaturas de entrada salida de la lámina y el agua) por la línea 2 y línea 3 según ecuación 4.45.

Tabla 45. Valores de LMTD para línea 2 y línea 3.

LTMB		
LTMB	79,3125	K
TR	60	°C
TI	130	°C
TS	11,486837	°C
TE	9	°C

Fuente. Autores

En la tabla 36 se relacionan los valores para el coeficiente global de transferencia de calor para la línea 2 y línea 3 según ecuación 4.44.

Tabla 46. Valores coeficiente global de transferencia de calor para línea 2 y línea 3.

COEFICIENTE GLOBAL TRASFERENCIA CALOR		
hb	159,692	W/m <sup>2</sup> *°C
q	1511,232	w
A	0,119	m
LTMB	79,311	°C

Fuente. Autores

4.4.7 Comparación de estado actual y valores después de mejoras propuestas. Con el fin de analizar los efectos de las mejoras en el sistema actual se realizaron los mismos cálculos elaborados para estudiar la transferencia de calor en el diseño actual de las líneas 1, 2 y 3. Se procedió a consolidar las formulas y datos en el software Excel modificando únicamente el valores que se propusieron en el rediseño. Los cuales de ven representados en la Tabla 47.

Tabla 47. Comparación de estado actual y valores después de mejoras propuestas para la línea 1.

ÍTEM	TEMPERATURA DE LAMINA	ENERGÍA SUMINISTRADA AL MOLDE POR EL RETAL ( KJ/KG)	CALOR AÑADIDO AL MOLDE POR LA LÁMINA ( WATS)	ÁREA DE TRASFERENCIA (M <sup>2</sup> )	TEMPERATURA DE SALIDA DEL AGUA (°C)	COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA (W/M <sup>2</sup> *°C)
LÍNEA 1	150	79,000	429,918	0,023	10,205	146,664
LÍNEA 1	130	70,000	607,792	0,032	11,932	178,310
DIFERENCIA	20,0	10	-177,8742	-0,0090	-1,7270	-31,6462

Fuente. Autores

En las tabla 47 se puede evidenciar con color rojo una disminución del coeficiente global de transferencia de calor con el nuevo diseño lo cual benéfica al sistema ya que se disminuirá al energía que la lámina aporta al molde lo cual tiene efectos beneficios para el sistema ya que este aporte de energía no es bueno para la pieza y su disminución evita problemas de calidad del producto.



Tabla 48. Comparación de estado actual y valores después de mejoras propuestas para la línea 2 y 3.

ÍTEM	TEMPERATURA DE LAMINA	ENERGÍA SUMINISTRADA AL MOLDE POR LA LAMINA (KJ/KG)	CALOR AÑADIDO AL MOLDE POR LA LAMINA ( WATS)	ÁREA DE TRASFERENCIA (M <sup>2</sup> )	TEMPERATURA DE SALIDA DEL AGUA (°C)	COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA (W/M <sup>2</sup> *°C)
LÍNEA 2	150	250	1510,0	0,119	11,48	159,559
LÍNEA 2	130	195	1178,762	0,072	11	206,720
DIFERENCIA	20,0	55,0	331,238	0,048	0,485	-47,161

Fuente. Autores

En las tablas 48 se puede evidenciar con color rojo una disminución del coeficiente global de transferencia de calor para las dos líneas lo cual garantiza que el proceso estará en mejores condiciones de las actuales y garantiza la operatividad del sistema al incrementar la temperatura de la lámina con el nuevo diseño.

## 5. VIABILIDAD Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PROPUESTA

Con la siguiente evaluación económica, se busca establecer y determinar los costos y la viabilidad económica del proyecto para lo cual se desarrollaran los siguientes apartados:

- Establecer la utilidad y productividad actual del molde 199001
- Determinar el valor de las modificaciones planteadas para la refrigeración del molde
- Establecer el costo beneficio de la implementación del proyecto

### 5.1 ANALISIS DE PRODUCTIVIDAD Y COSTOS DE OPERACIÓN DEL PRODUCTO VASO 200 MILKY PARA 17 CICLOS

Se procede a determinar el costo actual de manufacturar el producto (vaso 200 milky), producto con el cual se realizó el estudio del molde, por lo cual se relacionan los datos de entrada conocidos en la operación en la Tabla 49.

Tabla 49. Operación Actual del Molde ILIIG.

MOLDE	CICLOS	NUMERO DE CAVIDADES	UNIDADES POR MINUTO	HORAS/MES	UNIDADES MES
199001	12	10	120	624	1036800

Fuente. Autores

Los parámetros de la Evaluación Económica del molde actual están basados en la siguiente hoja de cálculo en la cual se relacionan los costos de materia prima y operación actuales, los cuales se realizaron con el fin de calcular el valor de unitario y de la caja de producto estudiado (vaso 200 milky), los datos usados en la siguiente tabla fueron descargados del sistema operativo de empresa BAAN ERP.

Hoja de Cálculo de Costos de Operación y Materia Actuales.

PRODUCTO ACTUAL A EVALUAR				
MOPHW-02400301 / VASO 200 MILKY				
		OPERACIÓN <input checked="" type="checkbox"/>	MATERIALES <input checked="" type="checkbox"/>	TOTAL
PRODUCTO	<input checked="" type="checkbox"/>	\$ 21.247	\$ 46.087	\$ 67.334
SUBTOTALES <input checked="" type="checkbox"/>				<b>COSTO TOTAL CAJA</b> \$ 67.334
				<b>COSTO UNITARIO</b> \$ 84,17

TERMOFORMADO					CONDICIONAL PRESUPUESTO			
BAAN								
ILLG 3710	TMOD	MANO DE OBRA DIRECTA	Mano de obra	\$ 8.500	MANO DE OBRA DIREC TERMOFORMAD	<input type="checkbox"/>	\$ 8.500	\$ 2.267
	TDEP	DEP / AMORTIZACION	Máquina	\$ 10.750	DEP / AMORTIZACION TERMOFORMAD	<input type="checkbox"/>	\$ 10.750	\$ 1.433
	TELE	ELECTRICIDAD	Máquina	\$ 80.250	ELECTRICIDAD TERMOFORMADO	<input type="checkbox"/>	\$ 80.250	\$ 10.700
	TMOI	MANO DE OBRA INDIRECTA	Máquina	\$ 31.700	MANO DE OBRA INDIR TERMOFORMAD	<input type="checkbox"/>	\$ 31.700	\$ 4.227
	TMTO	MANTENIMIENTO	Máquina	\$ 8.450	MANTENIMIENTO TERMOFORMADO	<input type="checkbox"/>	\$ 8.450	\$ 1.127
	TAPY	DEPARTAMENTO DE APOYO	Generales máquina	\$ 10.150	APOYO TERMOFORMADO	<input type="checkbox"/>	\$ 10.150	\$ 1.353
	TOTR	OTROS	Máquina	\$ 1.050	OTROS TERMOFORMADO	<input type="checkbox"/>	\$ 1.050	\$ 140
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 150.850</b>	<b>TOTAL</b>		<b>\$ 150.850</b>	<b>\$ 21.247</b>

TERMOFORMADO	CICLOS EFECTIVOS	CICLOS REALES	% EFICIENCIA
ILLG 3710	10	12	83%
# CAVIDADES	# PERSONAS	DESPERDICIO	
10	2	1,03	
UND/HR	6.000		UDF
CJ/HR	7,50		PESO (g)
TMAQT/CJ	\$ 21.247		PESO x CAJA (Kg)
			800
			7,8
			6,24

En la hoja de cálculo anterior se relacionan los costos de materiales y de operación del producto vaso 200 milky actual.

Los costos por operación corresponderán.

- Mano de obra directa de Termoformado
- Departamento de Amortización Termoformado
- Electricidad del Termoformado
- Mano de obra indirecta de Termoformado
- Mantenimiento Termoformado
- Apoyo Termoformado
- Otros Termoformado

a. Mano de obra directa de Termoformado

Representa el costo de los servicios realizados por personas que influyen directamente con la transformación del producto.

b. Departamento de Amortización Termoformado

Representa el pago periódico de amortización de la deuda.

c. Electricidad del Termoformado

Representa el valor del consumo eléctrico de la Maquina Termoformadora

d. Mano de obra indirecta de Termoformado

Representa el costo que desempeña el personal administrativo

e. Mantenimiento Termoformado

Representa el costo de mantenimientos preventivos que requiere la Maquina Termoformadora.

f. Apoyo al Termoformado

Representa el costo de los apoyos Técnicos.

g. Otros Termoformado

Representa el costo de Imprevistos.

Los costos por materia prima del Producto son:

- Lamina de Polipropileno
- Material de Empaque

## 5.2. ANALISIS DE PRODUCTIVIDAD Y COSTOS DE OPERACIÓN DEL PRODUTO VASO 200 MILKY PARA 17 CICLOS

Con el fin de cuantificar los efectos del aumento de ciclaje de 12 ciclos a 17 ciclos se tomaron los costos actuales de la operación y aumentaron los valores de ciclaje en el Software Excel, se pudo evidenciar una disminución de 10 pesos en el valor unitario del producto .

# Hoja de Cálculo de Costos de Operación y Materia con las Mejoras

PRODUCTO MODIFICADO A EVALUAR					
MOPHW-02400301 / VASO 200 MILKY					
		OPERACIÓN <input checked="" type="checkbox"/>	MATERIALES <input checked="" type="checkbox"/>	TOTAL	
PRODUCTO	<input checked="" type="checkbox"/>	\$ 12.498	\$ 44.210	\$ 56.708	
SUBTOTALES	<input checked="" type="checkbox"/>		<b>COSTO TOTAL CAJA</b>	<b>\$ 56.708</b>	
				<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>\$ 70,89</b>

TERMOFORMADO							
BAAN					CONDICIONAL PRESUPUESTO		
ILLG 3710	TMOD	MANO DE OBRA DIRECTA	Mano de obra	\$ 8.500	MANO DE OBRA DIREC TERMOFORMAD	<input type="checkbox"/>	\$ 8.500 \$ 1.333
	TDEP	DEP / AMORTIZACION	Máquina	\$ 10.750	DEP / AMORTIZACION TERMOFORMAD	<input type="checkbox"/>	\$ 10.750 \$ 843
	TELE	ELECTRICIDAD	Máquina	\$ 80.250	ELECTRICIDAD TERMOFORMADO	<input type="checkbox"/>	\$ 80.250 \$ 6.294
	TMOI	MANO DE OBRA INDIRECTA	Máquina	\$ 31.700	MANO DE OBRA INDIR TERMOFORMAD	<input type="checkbox"/>	\$ 31.700 \$ 2.486
	TMTO	MANTENIMIENTO	Máquina	\$ 8.450	MANTENIMIENTO TERMOFORMADO	<input type="checkbox"/>	\$ 8.450 \$ 663
	TAPY	DEPARTAMENTO DE APOYO	Generales máquina	\$ 10.150	APOYO TERMOFORMADO	<input type="checkbox"/>	\$ 10.150 \$ 796
	TOTR	OTROS	Máquina	\$ 1.050	OTROS TERMOFORMADO	<input type="checkbox"/>	\$ 1.050 \$ 82
				<b>TOTAL</b>			
				<b>\$ 150.850</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 150.850</b>	<b>\$ 12.498</b>

TERMOFORMADO	CICLOS EFECTIVOS	CICLOS REALES	% EFICIENCIA
ILLG 3710	17	17	100%
# CAVIDADES	# PERSONAS	DESPERDICIO	
10	2	1,03	

UND/HR	10.200
CJ/HR	12,75
<b>TMAQT/CJ</b>	<b>\$ 12.498</b>

UDF	800
PESO (g)	7,4
PESO x CAJA (Kg)	5,92

Para el análisis de costos de las mejoras se procede a plantear 2 opciones, bajo el precedente de que estas piezas son susceptibles a reposición con el tiempo por efectos de desgaste.

- Opción 1. Modificación de piezas actuales
- Opción 2. Fabricación de piezas nuevas

Para ambas modificaciones se propone realizar la fabricación o las modificaciones en la empresa ya que esta cuenta con taller de mecanizado donde se fabrican las piezas el valor de la hora de mecanizado para la empresa es de \$ 34 000 valor calculado por el departamento de proyectos.

5.3.1 Primera Opción de Costos directos generados por las Modificaciones al interior del Molde. Se realiza el análisis unitario de los costos por línea de las modificaciones propuestas, para realizarse utilizando los recursos de la Empresa.

5.3.1.1 Costos de Ampliación de ductos en la placa de Corte. Para tal fin se dispone del uso de talleres de la empresa, los recursos prestados por esta y los equipos necesarios para llevar a cabo esta modificación. En la tabla 50 se relacionan los costos de la modificación de la placa de corte.



Tabla 50. Relación de Costos de las modificaciones en la Placa de Corte (Línea 1).

OPCION 1 ANÁLISIS DE COSTOS MEJORAS PROPUESTAS PARA LA LÍNEA 1					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN DE LA MODIFICACIÓN	PROCESO DE MECANIZADO	CANT	TIEMPO ESTIMADO (Horas)	VALOR DE PROCESO
MEJORA 1	MECANIZADO SEGÚN PLANO EN AREA DE CORTE	Sede debe realizar un proceso de erosionado debido a que la pieza actual tiene un proceso de tratamiento térmico con una dureza de 62 HRC	1	96	\$ 3.264.000
MEJORA 2	AJUMENTO DE DIAMETRO DE TUBERIAS EN PLACA DE CORTE DE 8 mm a 12 MM	Proceso de taladrado horizontal en fresadora vertical	1	48	\$ 1.632.000
	ENSAMBLE DE TAPONES Y PRUEBA DE REFRIGERACION	Ensamble manual	1	8	\$ 272.000
				TOTAL	\$ 5.168.000

Fuente. Autores

5.3.1.2 Ampliación de ductos en el Bloque Inferior y Bloque de Cavidades. Estas modificaciones son realizadas en los Talleres de mecanizado y por tanto de realizan los costos de dichas modificación de acuerdo a los precios estipulados por la Empresa. En la tabla 51 se relacionan los costos de las modificaciones del Bloque inferior y Bloque de Cavidades.

Tabla 51. Relación de Costos del Bloque Inferior y Bloque de Cavidades (línea 2 y línea 3).

OPCIÓN 1 ANÁLISIS DE COSTOS MEJORAS PROPUESTAS PARA LA LÍNEA 2 Y LÍNEA 3					
ITEM	DESCRIPCION DE LA MODIFICACION	PROCESO DE MECANIZADO	CANT	TIEMPO ESTIMADO (Horas)	VALOR DE PROCESO
MEJORA 3	Aumento de diámetro de tuberías en placa de corte de 8 mm a 12 mm	Sede debe realizar un proceso de erosionado lateral , debido a la ubicación de los taladros	1	24	\$ 816.000
MEJORA 4	Mecanizado de cavidades de corte según plano	Cilindrado con cerámicas debido a que la pieza se encuentra tratada con una dureza de 60 HRC	10	48	\$ 1.632.000
				TOTAL	\$ 2.448.000

VALOR TOTAL MODIFICACIONES	\$ 7.616.000
----------------------------	--------------

Fuente. Autores

5.3.2 Segunda Opción de Costos directos generados para la fabricación de nuevas piezas para el molde. Se realiza el análisis unitario de los costos por línea de las fabricaciones propuestas.

5.3.2.1 Costos de fabricación de la placa de Corte. Se realiza el análisis unitario de los costos de la línea 1 con las modificaciones propuestas. En lugar de intervenir directamente la Pieza, se propone fabricar y remplazarla completamente por una

pieza nueva. En la tabla 52 se relacionan los costos de remplazar completamente la Placa de Corte.

Tabla 52. Relación de costos al fabricar la Placa de Corte con las modificaciones.

OPCIÓN 2 FABRICACIÓN DE PIEZAS NUEVAS PARA LA LÍNEA 1 DE 12 PIEZAS								
ITEM	DESCRIPCIÓN DE LA MODIFICACIÓN	PESO ( Kg)	VALOR UNITARIO ( Kg )	VALOR MATERIAL	HORAS DE MECANIZADO	VALOR MECANIZADO	TRATAMIENTO TERMICO	VALOR TOTAL
FABRICACIÓN 1	FABRICACIÓN DE PLACA DE CORTE ACERO T2436 TRATAMIENTO TÉRMICO 60-62 HRC	68,2	15.000 \$	1.023.000 \$	312	10.608.000 \$	900.000 \$	\$ 11.523.000

Fuente. Autores

5.3.2.2 Costos de fabricación de los Bloques Inferior y de Cavidades. Se realiza el análisis unitario de los costos de las líneas 2 y línea 3, con las modificaciones propuestas. En lugar de intervenir directamente la Pieza, se propone fabricar y remplazarla completamente por una pieza nueva. En la tabla 53 se relacionan los costos de remplazar completamente los Bloques Inferior y de Cavidades.

Tabla 53. Relación de costos al fabricar los Bloques Inferior y de Cavidades modificados.

OPCIÓN 2 FABRICACIÓN DE PIEZAS NUEVAS PARA LA LÍNEA 2 Y LÍNEA 3									
ITEM	DESCRIPCIÓN DE LA MODIFICACIÓN	PESO ( Kg)	VALOR UNITARIO ( Kg )	VALOR MATERIAL ( UNID)	HORAS DE MECANIZADO	VALOR MECANIZADO ( UNID)	TRATAMIENTO TERMICO	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
MEJORA 1	FABRICACIÓN DE CAVIDADES DE CORTE ACERO T2436 TRATAMIENTO TÉRMICO 60-62 HRC	5,92	\$ 15.000	\$ 88.800	36	\$ 1.224.000	\$ 100.000	\$ 1.339.000	\$ 16.068.000

Fuente. Autores

#### 5.4 VIABILIDAD Y COMPARACIÓN DE COSTOS DE LAS MEJORAS DEL PROYECTO.

Para representar plenamente los Ingresos y Viabilidad de evaluar la Inversión de costos que requieren las mejoras. Se realiza la comparación entre el molde operando a 12 y ciclos y operando a 17 ciclos como referente para definir. Variables como número de unidades, costo unitario y margen de utilidad al mes.

Tabla 54. Resumen de costos comparativos de los Efectos de las Mejoras.

RESUMEN DATOS ACTUALES	ACTUAL	CON MEJORAS PROPUESTAS	DIFERENCIA	PORCENTAJE
CICLOS	12	17	5	↑29%
UNIDADES / HORA	6.000	10.200	4200	↑41%
UNIDADES /MES	1.036800	1.468.800	4.032.000	↑41%
VALOR UNIDAD	\$ 82	\$ 71	-\$ 11	↓-15%
MARGEN DE UTILIDAD (10 %) UNIDAD	\$ 8	\$ 8	0	↔0%
UTILIDAD MENSUAL	\$ 8.294 200	\$ 11.750 400	\$ 3.456 000	↑41%

Fuente. Autores

5.4.1 Resumen de Costos de las Mejoras. Se realiza la evaluación de costos totales y la Inversión necesarias de modificación, tomando las mejoras de opción 2 para la fabricación de la Placa de Corte y la Opción 1 de las modificaciones de los Bloques Inferiores y de Cavidades. En la tabla 55 se resumen la inversión en modificaciones.

Tabla 55. Resumen de inversión en Modificaciones.

INVERSIÓN EN MODIFICACIONES	
FABRICACIÓN PLACA DE CORTE (LÍNEA 1)	\$ 11.523.000
MEJORAS PROPUESTAS PARA LA LÍNEA 2 Y 3	\$ 2.448.000
<u>TOTAL INVERSIÓN</u>	\$ 13.971.000

Fuente. Autores

5.4.2 Resumen de costo beneficio y retorno de inversión. Se realiza la evaluación para un periodo mensual de las ganancias estimadas que genera la implementación del proyecto, con sus mejoras estipuladas para el Molde ILLIG y tiempo de retorno de la Inversión neta del proyecto modificado.

TOTAL INVERSION EN EL PROYECTO	\$ 13.971.000
GANANCIA ESTIMADA ( MES)	\$ 4.040.000
RETORNO DE INVERSION ( MES )	4,04

- Material de Empaque

## 5.5. RECURSOS PARA LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo del proyecto conto con los siguientes recursos.

5.5.1 Recursos Humanos. Dos estudiantes de Ingeniería Electromecánica de Instituto Técnicos Central.

- Director de proyecto
- En forma puntal el Asesores y los Técnicos de la empresa Multidimensionales S.A.

5.5.2 Recursos Económicos. La financiación en la Investigación del proyecto fue realizada por los estudiantes mediante autofinanciación y aportes equitativos.

5.5.3 Presupuesto. En la siguiente tabla se relaciona los recursos Utilizados para la ejecución en el desarrollo de la Investigación del proyecto.

RECURSOS		ESTIMADO
1	Computador Portátil	\$ 1.100.000
2	Catálogos De referencia	\$ 50.000
3	libros de referencia termodinámica	\$ 400.000
4	libros de referencia mecánica de fluidos	\$ 300.000
5	Cronometro	\$ 50.000
6	Gastos Oficina	\$ 200.000
7	Gastos varios	\$ 200.000
8	Horas estudiantes ingeniería electromecánica	\$ 2.000.000
9	horas asesor proyecto	\$ 3.600.000
TOTAL		<b>\$ 7.900.000</b>

Fuente. Autores

## 6. CONCLUSIONES

- Se determina que el sistema de refrigeración del molde 199001 está directamente relacionado con la efectividad en ciclos del molde, lo anterior debido a que los procesos del ciclo de termoformado como aire de formado y tiempo de contra moldes tienen un periodo de duración que está predeterminado por la temperatura de lámina, si se aumenta la temperatura de la lámina aumenta el índice de fluidez del material y estos tiempos se reducirían disminuyendo entonces el tiempo total del ciclo.
- Mediante la presente investigación se pudieron definir los aspectos fundamentales a tener en cuenta en el diseño de un sistema de refrigeración para moldes de termoformado, a su vez también se establecieron los lineamientos teóricos necesarios para realizar cálculos de diámetros de ductos y áreas de transferencia de calor óptimos para garantizar una buena eficiencia de los moldes.
- Los métodos iterativos de Hardy Cross y las ecuaciones de Darcy-Weisbach son técnicas apropiadas para realizar los cálculos de mecánica de fluidos en los ductos del circuito de refrigeración del molde. Utilizando estos métodos y ecuaciones se determinaron los valores del factor de fricción y pérdidas menores, con esto se calcula el Caudal Volumétrico por cada línea del circuito, las pérdidas de presiones y de energía.
- La eficiencia del Molde ILLIG depende del balance de calor en los sistemas de refrigeración y esta predeterminada a su vez por el área de transferencia de calor y la energía aportada por la lámina termoformada.



- Para garantizar una correcta eficiencia en la refrigeración del molde es necesario que el fluido sea netamente turbulento para que las paredes internas de los ductos mejoren el contacto de transferencia con el agua.
- El sistema de refrigeración del molde actual es un sistema deficiente, se encuentra con una serie de restricciones y cambios de secciones de área transversal innecesarios, la sumatoria de estas contracciones súbitas aumentan las pérdidas de energía debido a la fricción por cada tramo de los ductos. Estas pérdidas de energía en los ductos permiten que se eleven los factores de fricción y se disminuyan la presión en los mismos. Los caudales en las líneas del circuito de refrigeración tienden a seguir la trayectoria de resistencia mínima, por esta razón se encuentran mal distribuidos debido a que la resistencia de cada flujo por línea son muy diferentes y no es consecuente el caudal necesario para el balance de calor que debe ser retirado.
- En el análisis de las nuevas alternativas de mejora, una de las más significativas fue la de aumentar el diámetro de los ductos del circuito, se evidencio entonces que mejora el porcentaje de Caudal Volumétrico al comparar el actual con el del rediseño: (Q1; 13.21 %) actual- (Q1; 22.64%) rediseño, debido a esto aumenta el valor de Número de Reynolds en el circuito de la línea 1 y es así, que a mayor turbulencia permite que las paredes internas mejoren su contacto de pared húmeda en la transferencia de calor con el agua.
- Al disminuir las zonas de contacto del molde con la lámina que no va hacer termoformada (retal) se disminuye el aporte de energía que no es necesaria en la transformación del producto, se logró determinar que este aporte de energía afecta negativamente el balance de calor entre el sistema de refrigeración y la lámina no termoformada.

- Para el análisis de costos de las mejoras propuestas es necesario realizar comparaciones entre el valor de modificar las piezas y el de fabricarlas nuevamente, de igual manera para el análisis de costos se debe considerar que las piezas a modificar están sometida a un desgaste por el proceso de termoformado debido a esto se requiere rectificar constantemente.
- Se determinó que aumentando el ciclaje de 12 ciclos a 17 ciclos para el molde 199001 se logra una disminución de 10 pesos en el valor unitario del producto final termoformado, para este cálculo se tuvieron en cuenta el número de cavidades del molde y la diferencia del valor unitario del producto en 12 y 17 ciclos efectivos.

## BIBLIOGRAFÍA

- INFOGRAFÍA
- GRUPO PHOENIX S.A. “Termoformadoras”. {En Línea}. {10 Febrero de 2015} disponible en: (<http://www.grupophoenix.com/home.com>).
- AIDIME, Instituto Tecnológico Metalmecánico “Foro de Procesos de Termoformado”. {En línea}. {20 Marzo de 2015} disponible en: ([http://www.aimme.es/informacion/informativo/ficha.asp?id\\_2773](http://www.aimme.es/informacion/informativo/ficha.asp?id_2773)).
- RUGOSIDAD RELATIVA. “Factor de Fricción”. {En línea}. {01 abril de 2015} disponible en: (<http://slideplayer.es/slide/8975860/>).
- FARMUPIBE, Practicas de laboratorio de Ingeniería farmacéutica “Medición de coeficientes de transferencia de calor en diferentes geometrías”. {En línea}. {6 Abril de 2015} disponible en: ([http://farmupibi.blogspot.com.co/2015/04/medicion-de-coeficientes-de\\_6.html](http://farmupibi.blogspot.com.co/2015/04/medicion-de-coeficientes-de_6.html)).
- UPV, Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales. “Polímeros Termoplásticos”. {En línea}. {24 Mayo de 2015} disponible en ([http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15\\_3.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_3.html)).
- MORALES ZAMORA, Juan “Pilar Mantenimiento Progresivo o Planificado: TPM, Mantenimiento Planificado”. {En línea}. {18 Septiembre de 2016} disponible en: ([www.mantenimientoplanificado.com/tpm](http://www.mantenimientoplanificado.com/tpm)).
- ETITC, Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central “Guía para la presentación de referencias bibliográficas”. {En línea}. {15 Octubre de 2016} disponible en: ([http://evirtual.lasalle.edu.co/info\\_basica/nuevos/guia/GuiaClaseNo.3.pdf](http://evirtual.lasalle.edu.co/info_basica/nuevos/guia/GuiaClaseNo.3.pdf)).

- LIBROS DE CONSULTA

SHAMES, Irving H. *Mecanica de Fluidos* 3 ed. Bogota D.C. : McGraw-Hill, 1995, (352,353).p.

Mott, Robert L. *Mecanica de Fluidos* 4 ed. Mexico : Pearson, 2002,(147,149,153,227,228,237,333,337).p.

Potter, Merle C. *Mecanica de Fluidos* 3 ed. Mexico : Thomsom, 2002, (271,327,336,337,482,484,487,488,489).p.

HOLMAN, J.P. *Transferencia de calor*. Mexico DF : Compañia Editorial Continental S.A, 1999, (56, 379,387).p.

## ANEXOS

## ANEXO 1

Toma de parámetros del Molde actual de las perdidas menores del Circuito de Refrigeración

Tabla Datos Iniciales						
Ducto	Longitud (m)	Diámetro (m)	Rugosidad $\epsilon$	Viscosidad $\vartheta$	$\Sigma K$	Fi (sin Reynolds)
1	1,45	0,008	0,000046	1,30E-06	6,5674661	0,030932606
2	1,257760957	0,0140781	0,000046	1,30E-06	9,5583877	0,026210369
3	1,257760957	0,0140781	0,000046	1,30E-06	9,5583877	0,026210369
				$\Sigma K_i$	25,684242	

LINEA 1						
Perdidas Por Accesorios						
Accesorios	Cantidad	Le/D	D (m)	K	Rugosidad $\epsilon$ (m)	Viscosidad $\vartheta$ (m <sup>2</sup> /s)
Codos 90 Estándar Largo	4	30	0,008	5,12135784	0,000046	1,30E-06
Perdidas Por Restricciones						
Restricción	Cantidad	Le (m)	D (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Ft	Kr1
Reducción 0,01 m	1	0,05	0,01	7,854E-05	0,02892651	0,144632548
Reducción 0,008 m	1	0,05	0,008	5,027E-05	0,030932606	0,193328788
Expansión 0,01 m	1	0,05	0,01	7,854E-05	0	0,5904
Expansión 0,012 m	1	0,05	0,012	1,13E-04	0	0,517746914
				$\Sigma K_1$	1,44610825	

Fuente. Autores

## ANEXO 2

Toma de parámetros del molde actual para los bloques de cavidades línea 2 y línea 3

Perdidas por cambios de sección en los anillos de refrigeración Línea 2 y Línea3								
Sección Transversal de los Anillos								
Cantidad	Altura (m)	r1 (m)	r2 (m)	Área base 1 (m <sup>2</sup> )	Área 1 (m <sup>2</sup> )	Área Lateral2 (m <sup>2</sup> )	Área base 2 (m <sup>2</sup> )	Área 2 (m <sup>2</sup> )
5	0,06	0,04048	0,038	0,01029582	0,02555642	0,01432566	0,00907292	0,023398582
Rugosidad $\epsilon$	Área neta anillo(m <sup>2</sup> )	Área Lateral 1 (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Rh = A/Pm	Dh = 4Rh (m)	Leq (m)	L(total) (m)	Ft
0,000046	0,00215784	0,0152606	0,61310438	0,00351953	0,0140781	1,23276096	1,25776096	0,026210369
								Kc2
								2,34167746

Perdidas Por Restricciones						
Restricción	Cantidad	Le (m)	Diámetro (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Factor de fricción sin Reynolds	K
Reducción 0,01	1	0,05	0,01	7,854E-05	0,02892651	0,144632548
Reducción 0,008	5	0,05	0,008	5,0265E-05	0,03093261	0,966643942
Expansión 0,014	5	0	0	0,00215784		4,997286858
Expansión 0,01	1	0,05	0,01	7,854E-05		0,5904
Expansión 0,012	1	0,05	0,012	0,0001131		0,517746914
					$\sum K_2$	7,216710262
					$\sum K$	9,558387726

Fuente. Autores

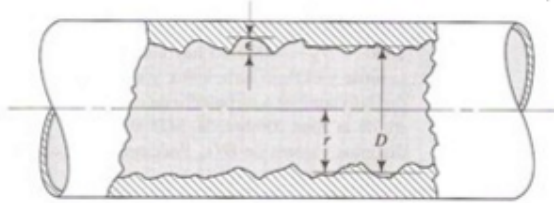
## ANEXO 3

Rugosidades de los diferentes tipos de materiales de las tuberías

### Factor de Fricción

$$f = \Psi \left( N_{Re}, \frac{\varepsilon}{D} \right)$$

$\frac{\varepsilon}{D}$  = rugosidad relativa



Material	Rugosidad $\varepsilon$ (m)	Rugosidad $\varepsilon$ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	$3,0 \times 10^{-7}$	$1,0 \times 10^{-6}$
Tubo extruido, cobre, latón y acero	$1,5 \times 10^{-6}$	$5,0 \times 10^{-6}$
Acero comercial o soldado	$4,6 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-4}$
Hierro galvanizado	$1,5 \times 10^{-4}$	$5,0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, recubierto	$1,2 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, no recubierto	$2,4 \times 10^{-4}$	$8,0 \times 10^{-4}$
Concreto, bien fabricado	$1,2 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^{-4}$
Acero remachado	$1,8 \times 10^{-3}$	$6,0 \times 10^{-3}$

Fuente: <http://slideplayer.es/slide/8975860>



## ANEXO 4

### Propiedades del agua

■ ■ ■ ■ A Propiedades del agua

TABLA A.1 Unidades SI [10]  
Kpa (abs).]

Temperatura (°C)	Peso específico $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad dinámica $\mu$ (Pa·s) o (N·s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)
0	9.81	1000	$1.75 \times 10^{-3}$	$1.75 \times 10^{-6}$
5	9.81	1000	$1.52 \times 10^{-3}$	$1.52 \times 10^{-6}$
10	9.81	1000	$1.30 \times 10^{-3}$	$1.30 \times 10^{-6}$
15	9.81	1000	$1.15 \times 10^{-3}$	$1.15 \times 10^{-6}$
20	9.79	998	$1.02 \times 10^{-3}$	$1.02 \times 10^{-6}$
25	9.78	997	$8.91 \times 10^{-4}$	$8.94 \times 10^{-7}$
30	9.77	996	$8.00 \times 10^{-4}$	$8.03 \times 10^{-7}$
35	9.75	994	$7.18 \times 10^{-4}$	$7.22 \times 10^{-7}$
40	9.73	992	$6.51 \times 10^{-4}$	$6.56 \times 10^{-7}$
45	9.71	990	$5.94 \times 10^{-4}$	$6.00 \times 10^{-7}$
50	9.69	988	$5.41 \times 10^{-4}$	$5.48 \times 10^{-7}$
55	9.67	986	$4.98 \times 10^{-4}$	$5.05 \times 10^{-7}$
60	9.65	984	$4.60 \times 10^{-4}$	$4.67 \times 10^{-7}$
65	9.62	981	$4.31 \times 10^{-4}$	$4.39 \times 10^{-7}$
70	9.59	978	$4.02 \times 10^{-4}$	$4.11 \times 10^{-7}$
75	9.56	975	$3.73 \times 10^{-4}$	$3.83 \times 10^{-7}$
80	9.53	971	$3.50 \times 10^{-4}$	$3.60 \times 10^{-7}$
85	9.50	968	$3.30 \times 10^{-4}$	$3.41 \times 10^{-7}$
90	9.47	965	$3.11 \times 10^{-4}$	$3.22 \times 10^{-7}$
95	9.44	962	$2.92 \times 10^{-4}$	$3.04 \times 10^{-7}$
100	9.40	958	$2.82 \times 10^{-4}$	$2.94 \times 10^{-7}$

535

Fuente. Mott, Robert L. Mecánica de fluidos aplicada; 6 Edición México: Prentice Hall, 1996, 589 p.

## ANEXO 5

### Propiedades del Polipropileno

# POLIPROPILENO

Termoplástico comercial, semicristalino, blanco semiopaco elaborado en una amplia variedad de calidades y modificaciones. El polipropileno como los polietilenos tiene una buena resistencia química pero una resistencia débil a los rayos UV (salvo estabilización o protección previa).

**PROPIEDADES FÍSICAS:**

- Absorción de agua: 0,03%
- Densidad (g cm<sup>3</sup>): 0,9
- Índice refractivo: 1,49
- Índice de oxígeno límite: 18%
- Inflamabilidad: Combustible
- Resistencia UV: Aceptable

**PROPIEDADES QUÍMICAS:**

- Ácidos concentrados: Buena
- Ácidos diluidos: Buena
- Alcalís: Buena
- Alcoholes: Buena
- Cetonas: Buena
- Grasas y aceites: Aceptable
- Halógenos: Mala
- Hidrocarburos aromáticos: Aceptable

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**

- Alargamiento a la rotura: 150-300 para filmes biax. >50
- Coeficient de Fricción: 0,1-0,3
- Dureza - Rockwell: R80-100
- Módulo de Tracción ( GPa ): 0,9-1,5 - par filmes biax. 2,2-4,2,
- Resistencia a la Abrasión - ASTM D1044 ( mg/1000 ciclos ): 13-16
- Resistencia a la Tracción ( MPa ): 25-40, para filmes biax. 130-300,
- Resistencia al Impacto Izod ( J m<sup>-1</sup> ): 20-100

Fuente. [http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15\\_3.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_3.html)

## ANEXO 6

### Calor específico del agua

$^{\circ}\text{C}$	$c_p, \text{kJ/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$	$\rho, \text{kg/m}^3$
0	4,225	999,8
4,44	4,208	999,8
10	4,195	999,2
15,56	4,186	998,6
21,11	4,179	997,4
26,67	4,179	995,8
32,22	4,174	994,9
37,78	4,174	993,0
43,33	4,174	990,6
48,89	4,174	988,8
54,44	4,179	985,7
60	4,179	983,3
65,55	4,183	980,3
71,11	4,186	977,3
76,67	4,191	973,7
82,22	4,195	970,2
87,78	4,199	966,7
93,33	4,204	963,2
104,4	4,216	955,1
115,6	4,229	946,7
126,7	4,250	937,2
137,8	4,271	928,1
148,9	4,296	918,0
176,7	4,371	890,4
204,4	4,467	859,4
232,2	4,585	825,7
260	4,731	785,2
287,7	5,024	735,5
315,6	5,703	678,7

Fuente. HOLMAN, J.P. *Transferencia de calor*. Mexico DF : Compañía Editorial Continental S.A, 1999.

## ANEXO 7

### Efectos de la temperatura en los polímeros

Polímero	T <sub>f</sub> (°C)	T <sub>v</sub> (°C)
Polietileno de baja densidad (BD)	115	-120
Polietileno de alta densidad (AD)	137	-120
Cloruro de polivinilo	175-212	87
Polipropileno	168-176	-16
Poliestireno	240	85-125
Poliacrilonitrilo	320	107
Teflón	327	
Policlorotrifluoroetileno	220	
Polimetilmetacrilato (acrílico)		90-105
ABS		88-125
<b>Polímeros por condensación</b>		
Acetal	181	-85
6.6-nylon	265	50
Acetato de celulosa	230	
Policarbonato	230	145
Poliéster	255	75
<b>Elastómeros</b>		
Silicón		-123
Polibutadieno	120	-90
Policloropreno	80	-50
Poliisopreno	30	-73

Fuente. [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/Imagenes/Tabla15\\_3.jpg](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/Imagenes/Tabla15_3.jpg)

## ANEXO 8

### PRUEBA DE NESTING

#### OBJETIVO

La prueba de Nesting es un procedimiento de control de calidad en la empresa Multidimensionales en el cual se le hace a los productos plásticos de consumo del área de termoformado, para saber si estos se enganchan unos con otros evitando problemas en la producción más adelante.

#### PROCEDIMIENTO A SEGUIR

- ✓ Se recoge la muestra de una de las maquinas (en este caso de termoformado)
- ✓ Se deja enfriar la muestra.
- ✓ Se colocan bocarriba la muestra (obligatorio) y se colocan los pesos encima de la muestra con una base de plástico, los cuales estos pesan cada uno 0.5 kg estos son 10 unidades para sumar un total de 5 kg.
- ✓ Los envases se dejan en ese estado durante 10 minutos y luego se quita la base con las pesas.
- ✓ Si los vasos no se enganchan la prueba ha de haber concluido, si estos por el contrario se enganchan se rechaza el producto y se devuelve.

## Ilustración de la Prueba Nesting



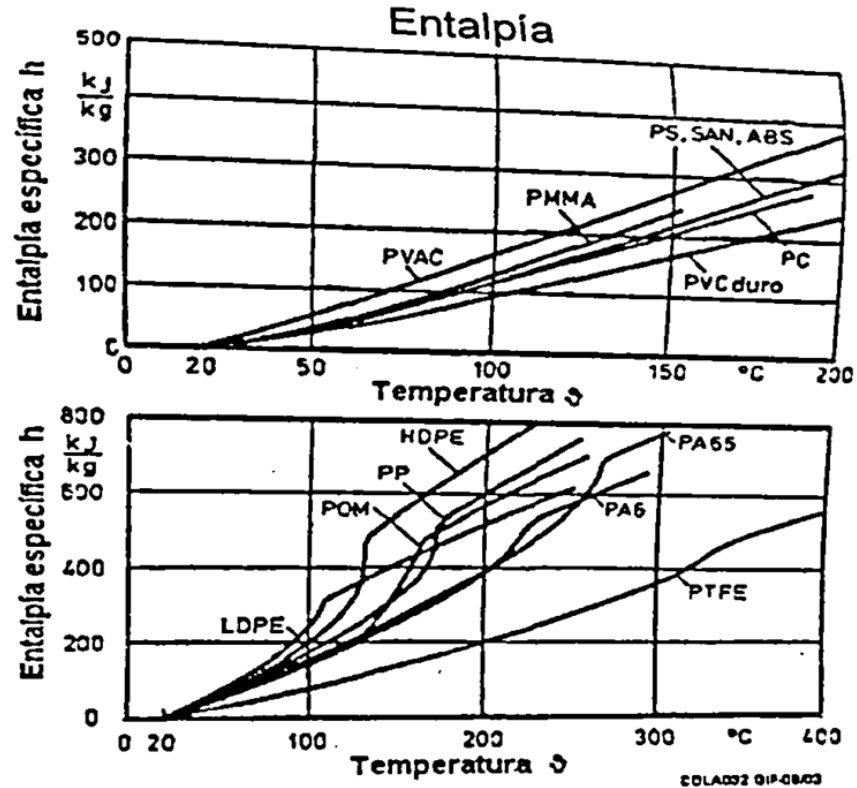
Fuente. Autores

### OBSERVACIONES

- ☞ Esta prueba se realiza cada hora
- ☞ La NTC 3717 nos indica que el Nesting siempre ha de estar bocarriba.

## ANEXO 9

### Entalpia del Polipropileno



Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho

Fuente. <http://www.icipc.org/site/es/>



## ANEXO 10

### Ficha Técnica del Acero

**Acero SISA D2**  
**acero para trabajo en frío**  
**ACEROS**  
**SISA**  
(Grupo SIA)

---

**SERVICIO INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.**

---

Color de distinción: azul claro amarillo

---

**CARACTERÍSTICAS**  
 Acero al alto carbón y alto cromo. Dimensionalmente estable de excelente rendimiento al corte y resistencia al desgaste. Especialmente apto para temple al aire.

**APLICACIONES TÍPICAS**

Estampado y Formado	Partes de Desgaste
Matrios y Punzones	Dados de Laminación
Troquelado y Perforado	Insertos para Moldes
Rodillos	Cuchillas, Sitters y Cizallas
Troquelado Fino	Husillos y Puntas para Inyección de Plástico
Dados para Acuñado	Cuchillas para Molino de Plástico
Herramientas de Roscado	
Triluradoras de Llanitas	
Herramientas para Rebabear	

**COMPOSICIÓN QUÍMICA - % PROMEDIO**

C	Mn	Si	Cr	Mo	V
1.55	0.35	0.35	11.80	0.85	0.85

**NORMAS**

SAE / AISI	DIN	JIS
D2	1.2379	SKD 11

**COMPARACIÓN DE PROPIEDADES**

Legend: ■ Tenacidad, ■ Resistencia al Desgaste

Grades: D2, S7, O1, A2, M2, SISA CR8, SISA CR8, SISA MET M4, SISA MET M4, SISA MET A11

**SISA D2**

**PROPIEDADES FÍSICAS**

Módulo de Elasticidad: 30 psi x 10<sup>6</sup> (207 GPa)  
 Densidad: 7895 kg/m<sup>3</sup> (0.278 lb/in<sup>3</sup>)

**Conductibilidad Térmica<sup>1</sup>**

°C	BTU/hr-ft <sup>2</sup> -°F	W/m <sup>2</sup> -K	cal/cm-s-°C
a 95°C (200°F)	12.1	20.9	0.0500
a 205°C (400°F)	13.0	22.5	0.0538
a 315°C (600°F)	14.0	24.2	0.0579
a 425°C (800°F)	14.6	25.3	0.0604
a 540°C (1000°F)	14.9	25.6	0.0612

<sup>1</sup>Temple a 1010°C/13 hr - Revenido 205°C/13 hr

**Coefficiente de Dilatación Térmica**

°C	°F	mm/mm-°C	in/in-°F
20-95	70-200	10.4x10 <sup>-6</sup>	5.8x10 <sup>-6</sup>
20-205	70-400	11.3x10 <sup>-6</sup>	6.3x10 <sup>-6</sup>
20-315	70-600	11.8x10 <sup>-6</sup>	6.6x10 <sup>-6</sup>
20-425	70-800	12.2x10 <sup>-6</sup>	6.8x10 <sup>-6</sup>
20-540	70-1000	12.6x10 <sup>-6</sup>	7.0x10 <sup>-6</sup>

**PROPIEDADES MECÁNICAS**

	Temperatura <sup>1</sup> de Temple		Dureza		Resistencia <sup>2</sup> al Impacto		Resistencia <sup>3</sup> al Desgaste	
	°C	°F	HRC	ft.-lb. (J)	Adhesivo			
D2	1010	1850	60	21 (28)	3-4			
S7	955	1750	57	125 (165)	1			
A2	955	1750	60	40 (53)	2-3			
SISA-CR8	1065	1950	62	30 (40)	5-6			
SISA-MET CR8	1065	1950	62	70 (95)	5-6			
M2	1120	2050	62	20 (27)	8-10			
SISA-MET M4	1120	2050	62	32 (43)	20-25			
SISA-MET A11	1175	2150	63	14 (19)	90			

<sup>(1)</sup> Tratamiento Térmico: Templeado según se indica con revenido a la dureza.  
<sup>(2)</sup> Prueba de Impacto Entalla Charpy C.  
<sup>(3)</sup> Método de ensayo: (el número mayor representa resistencia al desgaste superior).

**CAMBIO DIMENSIONAL DURANTE TRATAMIENTO TÉRMICO**

Temperatura de Temple	Temperatura de Revenido	Dureza	Cambio Longitudinal en Medida
°C	°F	HRC	%
1010 1850	205 400	61	+0.025
1010 1850	315 600	59	-0.010
1010 1850	425 800	58	-0.017
1010 1850	540 1000	55	-0.006

**TRATAMIENTOS SUPERFICIALES**

El Acero SISA D2 puede ser nitrado, recubrimiento con TiN (nitruro de titanio) o cromo duro. Cuando se utilizan recubrimientos superficiales, templar a rango de temperaturas altas de austenización (1070°C) y revenir de acuerdo a la gráfica de revenido (>510°C).

Nota: Las propiedades indicadas en esta hoja técnica son valores típicos. Variaciones normales en la química, tamaño y condiciones de tratamiento térmico pueden producir desviaciones de estos valores. Las aplicaciones indicadas son típicas. No se debe inferir su aplicación específica sin un estudio independiente y una evaluación de funcionalidad.  
 Para datos adicionales o asistencia en ingeniería metalúrgica y aplicaciones, acudir al departamento técnico de SISA.

**SISA D2**

**TRATAMIENTO TÉRMICO**

**Forjar**  
 1050-850°C (1920-1560°F)  
 No forjar por debajo de 825°C (1520°F), enfriamiento lento en horno o material termoaislante.

**Recocer**  
 Calentamiento a 870°C (1600°F), mantener 2 horas, enfriamiento lento 15°C (25°F) por hora hasta alcanzar 540°C (1000°F), posterior enfriamiento al aire.

**Recocido Alternativo** Calentamiento a 870°C (1600°F), mantener 2 horas, enfriamiento a 775°C (1425°F), mantener 6 horas, posterior enfriamiento al aire.

**Dureza en Estado Recocido** BHN 221/225

**Relevado de Tensiones**  
**Material Recocido** 650-675°C (1200-1250°F) Mantener 2 horas después de calentamiento al núcleo, enfriamiento lento en horno o al aire.

**Material Templado** Calentar 15-30°C (25-50°F) por debajo de la temperatura de revenido, mantener 2 horas después de calentamiento al núcleo, enfriamiento lento en horno o al aire.

Recomendable para reducir las tensiones causadas por un extenso maquinado en caso de herramientas de configuración complicada y para reducir las tensiones después de un proceso de electro-erosión.

**Enderezado**  
 Preferible a 205-425°C (400-800°F).

**TEMPLE**  
**Precalentar**  
 595-650°C (1100-1200°F) - Normalizar.  
 Posteriormente a 760-790°C (1400-1450°F) - Normalizar.

**Temple (Austenización)**  
 995-1025°C (1825-1875°F) - Mantener 30 a 45 minutos a temperatura.

**Enfriamiento**  
 Al aire, aceite o enfriamiento con presión positiva (2 bar mínimo) a 65°C (150°F). Tratamiento en baño de sales, cuando es práctico, asegura la máxima tenacidad alcanzable para un tratamiento térmico.  
 Revenir inmediatamente.

**Revenir**  
 205-540°C (400-1000°F) - Doble revenido es necesario. Revenir por un mínimo de 2 horas por cada revenido o por lo menos 1 hora por cada pulgada (25 mm) de espesor para secciones arriba de 2" (50 mm) de espesor. Enfriar a temperatura ambiente entre revenidos.

**RESPUESTA AL TRATAMIENTO TÉRMICO Dureza y Tenacidad al Impacto**

Temple a 1010°C (1850°F) Enfriamiento al Aire

Temperatura de Revenido	HRC	Entalla Charpy C	Joules
Temple al Aire	63	---	---
150°C - (300°F)	62	17	23
205°C - (400°F)	61	21	29
260°C - (500°F)	60	23	31
315°C - (600°F)	59	22	30
380°C - (700°F)	58	22	30
425°C - (800°F)	58	21	29
480°C - (900°F)	58	21	29
540°C - (1000°F)	55	19	26

Los resultados pueden variar dependiendo del método de temple y al tamaño de la pieza. Enfriamiento al vacío o en atmósfera puede resultar hasta en 1-2 puntos HRC menos.

**MAQUINABILIDAD Y RECTIFICABILIDAD**  
 La maquinabilidad y rectificabilidad en estado recocido es aproximadamente un 35% de un acero tipo W1 (1% C).

**DIAGRAMA DE REVENIDO**

Legend: — Temple a 1010°C, - - - Temple a 1070°C

**ACEROS**  
**SISA**  
GRUPO SIA

Servicio Industrial, S.A. de C.V.  
www.servicioindustrial.com.mx

---

**Aceros Especiales Grados Herramienta y Maquinaria**  
**Aceros SISA-MET® de Metalurgia en Polvo (PM)**  
**Piezas Industriales Forjadas**

Ciudad de México: Narangos 6 - Col. San Francisco Cuauhtlan, Naucalpan - cp 53569, Estado de México  
 Tel.: (55) 5576-4011 Fax: (55) 5576-4997 sisasisa1.com.mx  
 Monterrey: Guerrero Norte 4120 - Col. del Norte, Monterrey - cp 64500, Nuevo León  
 Tel.: (81) 8351-7220 Fax: (81) 8351-2981 sisamty@sisa1.com.mx

Cal. 02 1-2012 © Derechos Reservados, Mexico D.F., 2012 Servicio Industrial, S.A. de C.V. SISA® y SISA-MET® son Marcas Registradas. Impreso en México

Fuente. Aceros SISA/ Servicio Industrial S.A de C.V.



## ANEXO 11

## Ficha Técnica del vaso Actual de la Empresa Multidimensionales S.A

[illegible]

<p><b>11. NIVEL ACEPTABLE DE CALIDAD -N.A.C. El Nivel de Inspección a utilizar es Nivel 3</b></p> <table border="1"> <tr> <td>Defectos críticos</td> <td>0.55%</td> </tr> <tr> <td>Defectos mayores</td> <td>4.0%</td> </tr> <tr> <td>Defectos menores</td> <td>8.5%</td> </tr> </table>		Defectos críticos	0.55%	Defectos mayores	4.0%	Defectos menores	8.5%														
Defectos críticos	0.55%																				
Defectos mayores	4.0%																				
Defectos menores	8.5%																				
<p><b>12. LISTA DE DEFECTOS</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Defectos críticos</th> <th>Defectos Mayores</th> <th>Defectos Menores</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <p>Ausencia de uno de los componentes de la estructura</p> <p>Embalaje deteriorado que afecta el material</p> <p>Material diferente al pedido</p> <p>Mezcla de diferentes materiales</p> <p>Partículas de material pegado</p> <p>Perforaciones o huecos</p> <p>Pesadía del producto deforme, difícil de sellado</p> <p>Peso de grava (resaca)</p> <p>Suciedad del como: insectos, larvas, cabellos, papavero, pintura, polvo, etc</p> <p>Transmisión de olor o sabor al producto</p> <p>Viscosidad o que se rompan en prueba de cohesión</p> </td> <td> <p>Ausencia de rotulo que identifique el material</p> <p>Baja transparencia del material y efecto presentación</p> <p>Boca ovalada</p> <p>Borde de la boca exterior con ondulaciones pronunciadas</p> <p>Contaminación con polvo, suciedad y/o humedad</p> <p>Corte o borde defectivos</p> <p>Deformaciones</p> <p>Descolorido</p> <p>Dimensiones controladas</p> <p>Fuera de especificación</p> <p>Empaque diferente al requerido</p> <p>Enganche mayor al aprobado</p> <p>Enganche. Envasados enganchados.</p> <p>Falla en la prueba de cohesión</p> <p>Falla en la funcionalidad de fondo móvil</p> <p>Falla prueba de impacto</p> <p>Faltantes en la unidad de empaque</p> <p>Nivel de estética fuera de especificaciones</p> <p>Olor residual crítico (más acentuado que el característico a monitorio) y/o extra</p> <p>Peso por fuera de especificación</p> <p>Rotulación incorrecta (Ausencia de orden de trabajo)</p> <p>Defectos en la pesadía (ligeridad, ovalidad, redondez, ...)</p> <p>que afectan funcionalidad</p> </td> <td> <p>Ausencia en la superficie externa</p> <p>Brillo diferente al requerido</p> <p>Capacidad fuera de especificación</p> <p>Deformaciones leves que no afectan presentación o funcionalidad</p> <p>Dimensiones generales</p> <p>Fuera de especificación</p> <p>Embalaje ligeramente deteriorado y no afecta el producto</p> <p>Mala distribución del material y que no afecte funcionalidad</p> <p>Oscilado</p> <p>Peso fuera de especificación y no afecta funcionalidad</p> <p>Pomada</p> <p>Rayas o huellas superficiales</p> <p>Rotura de envase en caída libre</p> </td> </tr> </tbody> </table>		Defectos críticos	Defectos Mayores	Defectos Menores	<p>Ausencia de uno de los componentes de la estructura</p> <p>Embalaje deteriorado que afecta el material</p> <p>Material diferente al pedido</p> <p>Mezcla de diferentes materiales</p> <p>Partículas de material pegado</p> <p>Perforaciones o huecos</p> <p>Pesadía del producto deforme, difícil de sellado</p> <p>Peso de grava (resaca)</p> <p>Suciedad del como: insectos, larvas, cabellos, papavero, pintura, polvo, etc</p> <p>Transmisión de olor o sabor al producto</p> <p>Viscosidad o que se rompan en prueba de cohesión</p>	<p>Ausencia de rotulo que identifique el material</p> <p>Baja transparencia del material y efecto presentación</p> <p>Boca ovalada</p> <p>Borde de la boca exterior con ondulaciones pronunciadas</p> <p>Contaminación con polvo, suciedad y/o humedad</p> <p>Corte o borde defectivos</p> <p>Deformaciones</p> <p>Descolorido</p> <p>Dimensiones controladas</p> <p>Fuera de especificación</p> <p>Empaque diferente al requerido</p> <p>Enganche mayor al aprobado</p> <p>Enganche. Envasados enganchados.</p> <p>Falla en la prueba de cohesión</p> <p>Falla en la funcionalidad de fondo móvil</p> <p>Falla prueba de impacto</p> <p>Faltantes en la unidad de empaque</p> <p>Nivel de estética fuera de especificaciones</p> <p>Olor residual crítico (más acentuado que el característico a monitorio) y/o extra</p> <p>Peso por fuera de especificación</p> <p>Rotulación incorrecta (Ausencia de orden de trabajo)</p> <p>Defectos en la pesadía (ligeridad, ovalidad, redondez, ...)</p> <p>que afectan funcionalidad</p>	<p>Ausencia en la superficie externa</p> <p>Brillo diferente al requerido</p> <p>Capacidad fuera de especificación</p> <p>Deformaciones leves que no afectan presentación o funcionalidad</p> <p>Dimensiones generales</p> <p>Fuera de especificación</p> <p>Embalaje ligeramente deteriorado y no afecta el producto</p> <p>Mala distribución del material y que no afecte funcionalidad</p> <p>Oscilado</p> <p>Peso fuera de especificación y no afecta funcionalidad</p> <p>Pomada</p> <p>Rayas o huellas superficiales</p> <p>Rotura de envase en caída libre</p>														
Defectos críticos	Defectos Mayores	Defectos Menores																			
<p>Ausencia de uno de los componentes de la estructura</p> <p>Embalaje deteriorado que afecta el material</p> <p>Material diferente al pedido</p> <p>Mezcla de diferentes materiales</p> <p>Partículas de material pegado</p> <p>Perforaciones o huecos</p> <p>Pesadía del producto deforme, difícil de sellado</p> <p>Peso de grava (resaca)</p> <p>Suciedad del como: insectos, larvas, cabellos, papavero, pintura, polvo, etc</p> <p>Transmisión de olor o sabor al producto</p> <p>Viscosidad o que se rompan en prueba de cohesión</p>	<p>Ausencia de rotulo que identifique el material</p> <p>Baja transparencia del material y efecto presentación</p> <p>Boca ovalada</p> <p>Borde de la boca exterior con ondulaciones pronunciadas</p> <p>Contaminación con polvo, suciedad y/o humedad</p> <p>Corte o borde defectivos</p> <p>Deformaciones</p> <p>Descolorido</p> <p>Dimensiones controladas</p> <p>Fuera de especificación</p> <p>Empaque diferente al requerido</p> <p>Enganche mayor al aprobado</p> <p>Enganche. Envasados enganchados.</p> <p>Falla en la prueba de cohesión</p> <p>Falla en la funcionalidad de fondo móvil</p> <p>Falla prueba de impacto</p> <p>Faltantes en la unidad de empaque</p> <p>Nivel de estética fuera de especificaciones</p> <p>Olor residual crítico (más acentuado que el característico a monitorio) y/o extra</p> <p>Peso por fuera de especificación</p> <p>Rotulación incorrecta (Ausencia de orden de trabajo)</p> <p>Defectos en la pesadía (ligeridad, ovalidad, redondez, ...)</p> <p>que afectan funcionalidad</p>	<p>Ausencia en la superficie externa</p> <p>Brillo diferente al requerido</p> <p>Capacidad fuera de especificación</p> <p>Deformaciones leves que no afectan presentación o funcionalidad</p> <p>Dimensiones generales</p> <p>Fuera de especificación</p> <p>Embalaje ligeramente deteriorado y no afecta el producto</p> <p>Mala distribución del material y que no afecte funcionalidad</p> <p>Oscilado</p> <p>Peso fuera de especificación y no afecta funcionalidad</p> <p>Pomada</p> <p>Rayas o huellas superficiales</p> <p>Rotura de envase en caída libre</p>																			
<p><b>13. MANEJO Y CONSERVACIÓN</b></p> <p>Debe controlarse que no haya humedad y/o contaminación de los materiales.</p> <p>El almacenamiento de las cajas dentro del carro debe garantizar la integridad de los productos y deben transportarse en carros cerrados y/o furgones diseñados para tal fin. No debe transportarse con carga máxima que pueda afectar características funcionales (materiales tóxicos, detergentes, solventes y/o contaminantes).</p> <p>Las cajas deben de estar selladas y se deben almacenar en bodegas techadas, limpias, cerradas y ventiladas, libres de humedad y/o agentes contaminantes, protegidos del sol directo y el exceso calor.</p> <p>Los productos almacenados deben estar en contacto con el piso.</p> <p>Tener áreas delimitadas, áreas cubiertas para cada producto y con suficiente espacio que permita su ubicación y evita que el tránsito del montacargas sea el empuje.</p> <p>El área de exhibición debe ser adecuado al diseño del mismo producto, para no someterlo a esfuerzos mecánicos adicionales.</p>																					
<p><b>14. IDENTIFICACIÓN DEL LOTE</b></p> <p>El número de lote está compuesto por un código alfanumérico (MM #####), con las siguientes características:</p> <p>M = Primera letra corresponde a la planta de producción. (MULTIDIMENSIONALES)</p> <p>M = Segunda letra hace referencia a la tecnología o planta en la cual se produjo</p> <p>El número es único para cada lote de producción, definido por el sistema S&amp;AN.</p>																					
<p><b>15. VIDA ÚTIL</b></p> <p>Según condiciones adecuadas de almacenamiento y manipulación, los productos pueden ser usados hasta 6 meses después de ser desechados tiempo en el cual se garantiza su funcionalidad. Después de 6 meses se recomienda revisar el embalaje y estado físico del producto.</p> <p>Después de 18 meses se recomienda realizar análisis sensorial, microbiológico y funcional para definir el estado del producto.</p>																					
<p><b>16. NORMATIVIDAD</b></p> <p>FDA: Todos los materiales primos están certificados por la U.S FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA)</p> <p>MS: Certificación MS</p> <p>CE: Cumplen con el directive of the Comunidad Europea 2002/72/CE de la Comisión.</p> <p>CONEG: Cumplimiento de la Legislación Modelo sobre 140000 Estados Unidos sobre el contenido de metales pesados.</p> <p>CONITEC: Norma ISO 9001:2008</p> <p>BASC: Sistema de seguridad de la BASC.</p> <p>Cumple con la Resolución Número 853 y 4143 del 2012 (Ministerio de salud y protección social)</p>																					
<p><b>17. CONFIDENCIALIDAD</b></p> <p>La información contenida en este documento es confidencial y no podrá ser copiada o redistribuida.</p>																					
<p><b>18. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>ESPECIFICACIONES</th> <th>METODO DE ENSAYO</th> <th>FRECUENCIA DE MONITOREO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Residuos Aerobios UP/Cnt</td> <td>≤10</td> <td>Petrifm</td> <td>Mínimo una vez por mes</td> </tr> <tr> <td>Coliformes totales UP/Cnt</td> <td>Ausente</td> <td>Petrifm</td> <td>Mínimo una vez por mes</td> </tr> <tr> <td>Mohos y levaduras UP/Cnt</td> <td>+1</td> <td>Petrifm</td> <td>Mínimo una vez por mes</td> </tr> <tr> <td>S. Gati UP/Cnt</td> <td>Ausente</td> <td>Petrifm</td> <td>Mínimo una vez por mes</td> </tr> </tbody> </table>		DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES	METODO DE ENSAYO	FRECUENCIA DE MONITOREO	Residuos Aerobios UP/Cnt	≤10	Petrifm	Mínimo una vez por mes	Coliformes totales UP/Cnt	Ausente	Petrifm	Mínimo una vez por mes	Mohos y levaduras UP/Cnt	+1	Petrifm	Mínimo una vez por mes	S. Gati UP/Cnt	Ausente	Petrifm	Mínimo una vez por mes
DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES	METODO DE ENSAYO	FRECUENCIA DE MONITOREO																		
Residuos Aerobios UP/Cnt	≤10	Petrifm	Mínimo una vez por mes																		
Coliformes totales UP/Cnt	Ausente	Petrifm	Mínimo una vez por mes																		
Mohos y levaduras UP/Cnt	+1	Petrifm	Mínimo una vez por mes																		
S. Gati UP/Cnt	Ausente	Petrifm	Mínimo una vez por mes																		
<p>Elaborado por: Mar Lavende</p> <p>Revisado por: Miguel Cabezas</p> <p>Aprobado por: Jerry Gonzalez</p> <p>Fecha última actualización: 30/10/2015</p>																					
<p><i>Manuel</i></p> <p><i>[Firma]</i></p> <p><i>[Firma]</i></p>																					
<p>Aseguramiento de calidad</p> <p>Coordinador de planta</p> <p>Gerente Aseguramiento calidad</p>																					

Fuente. Muldimensionales S.A

## ANEXO 12

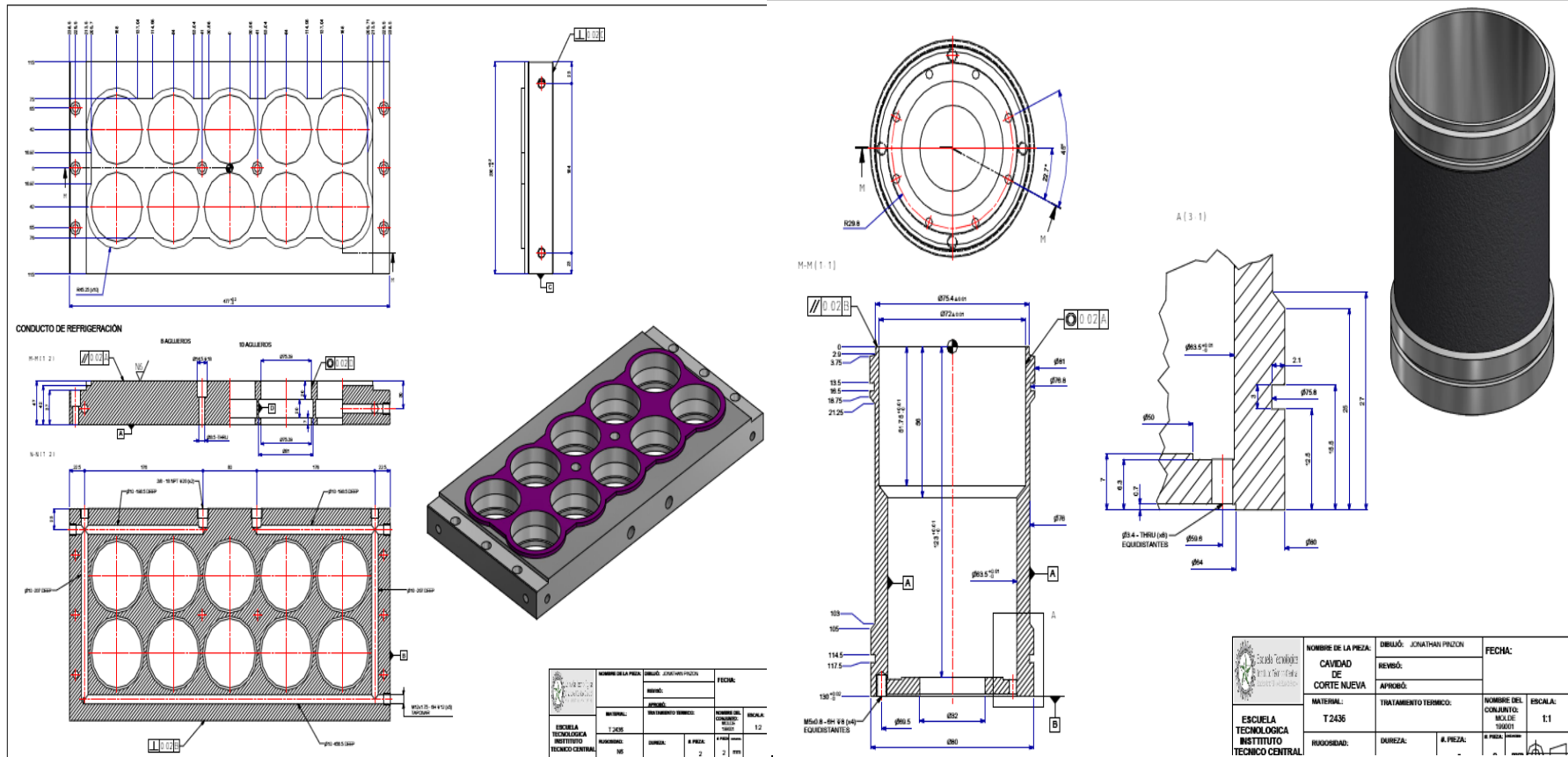
### Carta de Aprobación



Fuente. Multidimensionales S.A

## ANEXO 13

## Planos de las mejoras propuestas en la Refrigeración del molde de Termoformado 199001



Fuente. Autores