

DISEÑO DE MÁQUINA INYECTORA DE TERMOPLÁSTICOS PARA LA
FABRICACIÓN DE SUELAS CON DOBLE BOQUILLA DE SALIDA

CARLOS ALBERTO QUIJANO RODRÍGUEZ
JORGE IVAN SALAMANCA BECERRA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2.017

DISEÑO DE MÁQUINA INYECTORA DE TERMOPLÁSTICOS PARA LA
FABRICACIÓN DE SUELAS CON DOBLE BOQUILLA DE SALIDA

CARLOS ALBERTO QUIJANO RODRÍGUEZ
JORGE IVAN SALAMANCA BECERRA

Proyecto integral de grado para optar por el título de
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2.017

Nota de aceptación

Presidente del Jurado
Ing. Oscar Mauricio Ochoa Álvarez

Jurado 1
Ing. Jairo Andrés Coral Campaña

Jurado 2
Ing. Oscar Chamarravi Guerra

Bogotá D.C., Junio de 2017

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa herrera Vargas

Secretario General

Juan Carlos Posada García-Peña

Decano General Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director del Departamento de Ingeniería Mecánica

Ing. Carlos Mauricio Veloza Villamil

Las directivas de la Universidad de América, los jurados y el cuerpo docente no se hacen responsables por los criterios e indicios expuestos en este documento, esta responsabilidad corresponde únicamente al autor.

A mi madre que con su inmensurable esfuerzo me ha permitido crecer personal y profesionalmente, que con sus enseñanzas me hace ser mejor día a día, a Dios por permitirme estudiar y cumplir las metas que me he propuesto, a mi novia por su apoyo, cariño y compañía incondicional en los momentos más importantes de este proceso.

A mi amigo Carlos Quijano, compañero de trabajo de grado con quien culmino esta etapa de mi vida y convertirnos en Ingenieros Mecánicos.

Jorge Iván Salamanca Becerra

Dedicado a Dios por iluminarme con su fe y bondad permitiéndome llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos. De la misma forma de manera muy especial a mi madre y padre quienes me han apoyado en cada momento, sus consejos, valores, sabiduría, amor, lecciones de vida y permanente motivación el cual ha permitido mi crecimiento personal guiándome a ser la gran persona que soy hoy en día, a mi familia por el apoyo brindado en los logros alcanzados y momentos vividos.

A mi amigo Jorge Salamanca, compañero de trabajo de grado con quien culmino esta etapa de mi vida y convertirnos en Ingenieros Mecánicos.

Carlos Alberto Quijano Rodríguez

Jorge Iván Salamanca Becerra y Carlos Alberto Quijano Rodríguez autores expresan agradecimientos a las siguientes personas por su participación en este proyecto;

Ing. Oscar Mauricio Ochoa Alvaréz. Orientador del proyectó. Docente. Facultad de ingeniería. Integrante del comité de proyecto de grado. Fundación universidad de América.

Ing. Carlos Mauricio Veloza Villamil. Director departamento de ingeniería mecánica. Fundación Universidad de América.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	21
1. ESTADO ALCTUAL	24
1.1 MOLDEO POR INYECCIÓN	24
1.2 MÁQUINA INYECTORA	25
1.2.1 Unidad de cierre	25
1.2.2 Unidad de inyección	26
1.2.3 Unidad de potencia	26
1.2.4 Unidad de control	27
1.3 TIPOS DE MÁQUINAS INYECTORAS	28
1.3.1 Máquina de pistón	28
1.3.2 Máquina de pistón con pre-plastificación	28
1.3.3 Máquina de husillo	30
1.4 BOQUILLAS DE INYECCIÓN	31
1.4.1 Boquilla de doble salida	31
1.5 MATERIAL A PROCESAR	32
1.5.1 PVC	32
1.5.2 Estructura del PVC	34
1.5.3 Propiedades del PVC	34
1.6 FABRICACIÓN DE MOLDES	35
2. PARAMETRIZACIÓN Y CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROCESO	36
2.1 APLICACIÓN DEL PROYECTO	36
2.2 MOLDES DE INYECCIÓN DE PLASTICOS	36
2.2.1 Tipos de molde	36
2.2.2 Selección de material del molde	37
2.3 PVC A UTILIZAR	38
2.3.1 Características del PVC flexible	38
2.3.2 Tamaño del pellet	40
2.4 CAPACIDAD DE LA TOLVA	40
2.5 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN	41
2.6 TORNILLO SIN FIN	47
2.6.1 Clasificación	47
2.7 MEZCLADOR	48
2.8 COMPONENTES DEL SISTEMA	48
2.8.1 Grupo motriz	48
2.8.2 Hélice y eje	49
3. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	50
3.1 SISTEMA DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	50
3.2 SISTEMA DE INYECCIÓN	51

3.2.1	Diseño conceptual y funcional sistema de inyección	51
3.2.2	Alternativas	52
3.2.2.1	Primera alternativa pistón de inyección	52
3.2.2.2	Segunda alternativa tornillo de inyección	53
3.2.2.3	Tercera alternativa tornillo-pistón	54
3.2.3	Descripción criterios de evaluación	55
3.2.4	Selección alternativa sistema de inyección	56
3.3	BOQUILLA	58
3.3.1	Diseño conceptual y funcional para boquilla	58
3.3.2	Alternativas	58
3.3.2.1	Primera alternativa boquilla cónica	58
3.3.2.2	Segunda alternativa boquilla de flujo libre	59
3.3.2.3	Tercera alternativa boquilla de conicidad invertida	59
3.3.2.4	Cuarta alternativa boquilla con cierre mecánico	60
3.3.2.5	Quinta alternativa boquilla con válvula cónica	61
3.3.3	Descripción criterios de evaluación	61
3.3.4	Selección de alternativas para boquilla	62
3.4	ALTERNATIVAS PARA LA BOQUILLA DE DOBLE SALIDA	63
3.4.1	Diseño conceptual y funcional boquilla de doble salida	63
3.4.2	Alternativas	64
3.4.2.1	Primera alternativa para el diseño de boquilla de doble salida	64
3.4.2.2	Segunda alternativa para el diseño de boquilla de doble salida	65
3.4.2.3	Tercera alternativa para el diseño de boquilla de doble salida	66
3.4.3	Descripción criterios de evaluación	67
3.4.4	Selección alternativa sistema de doble salida	67
4.	DISEÑO DEL PROYECTO	69
4.1	PARAMETROS FUNCIONALES	69
4.1.1	Espacio mínimo necesario	69
4.1.2	Presión de inyección	71
4.1.3	Presión de cierre	72
4.1.4	Temperatura de operación	74
4.1.5	Caudal	75
4.1.6	Viscosidad de trabajo del PVC	76
4.2	SIMULACIÓN MEDIANTE MOLDFLOW	78
4.2.1	Definir la cavidad del molde	79
4.2.2	Modelar varias cavidades	79
4.2.3	Establecer plano de partición	80
4.2.4	Medidas del molde	80
4.2.5	Establecer puntos de inyección	81
4.2.6	Entradas	81
4.2.7	Canales de inyección	81
4.2.8	Bebedero	82
4.2.9	Resultados obtenidos	82
4.2.9.1	Tiempo de llenado	82

4.2.9.2	Presión de inyección	83
4.2.9.3	Temperatura media	83
4.2.9.4	Análisis de resultados de simulación en el software MOLDFLOW	84
4.3	DISEÑO DETALLADO	85
4.3.1	Tornillo sin fin	85
4.3.1.1	Diámetro del tornillo	88
4.3.1.2	Longitud del tornillo	89
4.3.1.3	Ángulo de hélice	89
4.3.1.4	Anchura de filete	90
4.3.1.5	Profundidad del canal helicoidal	90
4.3.1.6	Holgura del tornillo	91
4.3.1.7	Calculo número de filetes	92
4.3.1.8	Ancho del canal	92
4.3.1.9	largo de la hélice	93
4.3.1.10	Velocidad de giro del tornillo	93
4.3.1.11	Presión de operación	95
4.3.1.12	Potencia requerida	96
4.3.1.13	Torque	99
4.3.2	Tolva de alimentación	100
4.3.2.1	Dimensiones de la tolva	100
4.3.2.2	Espesor de pared de la tolva	105
4.3.2.3	Soldadura de la tolva	107
4.3.3	Camisa del tornillo	108
4.3.3.1	Espesor de la camisa	108
4.3.3.2	Tiempo de calentamiento de la camisa	111
4.3.3.3	Sujeción de la camisa	117
4.3.4	Tobera	123
4.3.4.1	Pérdida de presión en la tobera	124
4.3.4.2	Sujeción de la tobera	129
4.3.5	Boquilla de doble salida	137
4.3.5.1	Espesor de la carcasa	138
4.3.5.2	Pérdida de presión en la boquilla de doble salida	140
4.4	SELECCIÓN DE COMPONENTES	145
4.4.1	Selección de las bandas calefactoras	145
4.5	PESO DEL TORNILLO SIN FIN	150
4.5.1	Volumen del tornillo sin fin en cada sección	150
4.5.2	Volumen de los filetes en cada una de las secciones de los Tornillos sin fin	152
4.6	PESO DE LA CAMISA	156
4.7	SELECCIÓN MOTORREDUCTOR	157
4.7.1	Acople mecánico tornillo-motorreductor	157
4.8	ANÁLISIS DE LA ESTRCUTURA DE LA MÁQUINA	160
4.8.1	Análisis de la viga	160
4.8.2	Análisis de la columna	166
4.9	ANÁLISIS DE SULDADURA	170

4.10	SOPORTE DE FIJACIÓN DE LA CAMISA	178
5.	ANÁLISIS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	181
5.1	SIMULACIÓN BOQUILLA DOBLE SALIDA	181
5.1.1	Comportamiento del fluido	181
5.1.2	Comportamiento de la estructura	183
5.1.3	Convergencia de malla	185
5.2	SIMULACIÓN ESTRUCTURA	190
6.	MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	194
6.1	MANUEALES DE OPERACIÓN	194
6.2	MANUEAL DE MANTENIMIENTO	198
6.2.1	Métodos de inspección	198
6.2.2	Rutinas de mantenimiento	201
6.2.3	Posibles fallas y correcciones	202
7.	EVALUACIÓN FINANCIERA	204
7.1	ANÁLISIS DE LOS COSTOS	204
7.1.1	Costos de ingeniería	204
7.1.2	Costos de materiales de la máquina	204
7.1.3	Costo total de la máquina	206
7.2	COSTOS OPERACIONALES	206
7.2.1	Costo total de fabricación	207
7.3	BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA	208
7.4	ANÁLISIS FINANCIERO	209
7.4.1	Supuestos financieros para el flujo de caja neto	209
7.4.2	Flujos de caja neto	210
7.4.3	Valor presente neto	212
7.4.4	Tasa interna de retorno	212
8.	CONCLUSIONES	213
9.	RECOMENDACIONES	214
	BIBLIOGRAFÍA	215
	ANEXOS	218

LISTA DE IMÁGENES

		pág.
Imagen 1.	Unidad de cierre	25
Imagen 2.	Unidad de inyección	26
Imagen 3.	Unidad de potencia	27
Imagen 4.	Unidad de control	27
Imagen 5.	Esquema máquina inyectora de pistón	28
Imagen 6.	Máquina de pistón y en ángulo	29
Imagen 7.	Máquina de pistón en línea	30
Imagen 8.	Máquina de husillo	30
Imagen 9.	Boquilla	31
Imagen 10.	Sistema de doble salida	32
Imagen 11.	Formula estructural del PVC	33
Imagen 12.	Formula estructural del policloruro de vinilo	34
Imagen 13.	Fabricación de moldes	35
Imagen 14.	Molde estándar	37
Imagen 15.	Pellet de PVC	40
Imagen 16.	Tolva	41
Imagen 17.	Tornillo sin fin	47
Imagen 18.	Mezclador	48
Imagen 19.	Grupo motriz	48
Imagen 20.	Sistema de inyección	51
Imagen 21.	Pistón de inyección	52
Imagen 22.	Tornillo de inyección	53
Imagen 23.	Sistema tornillo-pistón	55
Imagen 24.	Esquema boquilla	58
Imagen 25.	Boquilla cónica	59
Imagen 26.	Dibujo boquilla de flujo libre	59
Imagen 27.	Dibujo boquilla cónica invertida	60
Imagen 28.	Boquilla con cierre mecánico	60
Imagen 29.	Boquilla con válvula cónica	61
Imagen 30.	Esquema boquilla de doble salida	63
Imagen 31.	Sistema de canales	64
Imagen 32.	Sistema en U	65
Imagen 33.	Sistema en Y	66
Imagen 34.	Dimensionamiento de la máquina (unidades en mm)	69
Imagen 35.	Vista de perfil	70
Imagen 36.	Dimensionamiento sistema de inyección (unidades en mm)	71
Imagen 37.	Perfil de presiones del tornillo	71
Imagen 38.	Cavidad del molde (unidades en mm)	72
Imagen 39.	Temperaturas del PVC	74
Imagen.40.	Definir la cavidad del molde	79
Imagen 41.	Varias cavidades	79

Imagen 42.	Plano de partición	80
Imagen 43.	Medidas del molde	80
Imagen 44.	Puntos de inyección	81
Imagen 45.	Entradas	81
Imagen 46.	Canales de inyección	82
Imagen 47.	Bebedero	82
Imagen 48.	Tiempo de llenado	83
Imagen 49.	Presión de Inyección	83
Imagen 50.	Temperatura media	84
Imagen 51.	Configuración de un tornillo helicoidal de un solo canal	86
Imagen 52.	Relación longitud diámetro del tornillo	87
Imagen 53.	Longitud de las zonas del tornillo	87
Imagen 54.	Esquema tornillo sin fin	89
Imagen 55.	Geometría de la tolva	101
Imagen 56.	Geometría de polígono trapezoidal	102
Imagen 57.	Soldadura de la tolva	107
Imagen 58.	Esquema de la camisa	108
Imagen 59.	Esquema esfuerzos en la camisa	109
Imagen 60.	Esquema disposición tornillos de sujeción en la camisa	118
Imagen 61.	Esquema tornillo Allen M16 según Din 912	123
Imagen 62.	Tobera	123
Imagen 63.	Factores K para entradas	127
Imagen 64.	Ajuste con interferencia	130
Imagen 65.	Esquema apoyo de la tobera	132
Imagen 66.	Dimensiones normalizadas tornillo tipo Allen	135
Imagen 67.	Esquema tornillo Allen M8 según Din 912	137
Imagen 68.	Esquema canales boquilla de doble salida	138
Imagen 69.	Esquema estructura boquilla de doble salida	140
Imagen 70.	Bandas calefactoras	145
Imagen 71.	Esquema calculo volumen perfil	153
Imagen 72.	Cargas puntuales en la estructura	160
Imagen 73.	Diagrama de cuerpo libre de la viga	161
Imagen 74.	Diagrama de fuerza cortante V, en la viga	162
Imagen 75.	Diagrama de momento flexionante M, en la viga	163
Imagen 76.	Medidas de las columnas de la estructura	166
Imagen 77.	Tipos de pandeo en columnas	168
Imagen 78.	Factores geométricos para el análisis de soldaduras	170
Imagen 79.	Análisis soldadura	171
Imagen 80.	Esfuerzos cortantes y fuerzas sobre soldadura	173
Imagen 81.	Factores de seguridad contra falla estática	174
Imagen 82.	Tamaños mínimos de soldadura en filetes	176
Imagen 83.	Resistencias mínimas de algunos aceros	176
Imagen 84.	Tipos de electrodos de soldadura	178
Imagen 85.	Esquema apoyo de la camisa	178
Imagen 86.	Canales de la boquilla de doble salida	181

Imagen 87.	Resultados de presión en el fluido	182
Imagen 88.	Fuerza de contacto fluido-estructura	182
Imagen 89.	Estructura de la boquilla	183
Imagen 90.	Resultados de esfuerzo en la estructura de la boquilla	184
Imagen 91.	Resultado de esfuerzo en la estructura con espesor de 6 mm	185
Imagen 92.	Resultado de esfuerzo en la estructura con espesor de 7.5 mm	185
Imagen 93.	Resultado de esfuerzo en la estructura con espesor de 9 mm	187
Imagen 94.	Desplazamiento	188
Imagen 95.	Esquema bebedero en la boquilla	189
Imagen 96.	Estructura de máquina	190
Imagen 97.	Deformación máxima de la estructura	191
Imagen 98.	Esfuerzo máximo de la estructura	192
Imagen 99.	Esfuerzo máximo de la estructura (Otra vista)	192
Imagen 100.	Control de temperatura	195
Imagen 101.	Vaciado de la tolva	195
Imagen 102.	Residuos de material en la boquilla	196
Imagen 103.	Compuerta de salida de la tolva	196
Imagen 104.	Líquidos penetrantes en la soldadura	200

LISTA DE TABLAS

		pág.
Tabla 1.	Tiempo de inyección promedio	42
Tabla 2.	Capacidad de inyección con boquilla de salida simple	42
Tabla 3.	Tiempos de alistamiento y tiempos muertos	44
Tabla 4.	Peso de suelas en un turno	44
Tabla 5.	Tipos de hélices	49
Tabla 6.	Asignación de ponderación para los criterios a evaluar	57
Tabla 7.	Asignación del rating para las alternativas	57
Tabla 8.	Cálculo del score para cada alternativa	57
Tabla 9.	Asignación de ponderación para los criterios a evaluar	62
Tabla 10.	Asignación del rating para las alternativas	62
Tabla 11.	Cálculo de score para cada alternativa	63
Tabla 12.	Asignación de ponderación para los criterios a evaluar	68
Tabla 13.	Asignación del rating para las alternativas	68
Tabla 14.	Cálculo del score para cada alternativa	68
Tabla 15.	Temperaturas del PVC a lo largo del tornillo	74
Tabla 16.	Capacidad específica a presión constante del PVC	98
Tabla 17.	Coeficientes para la conducción transitoria	114
Tabla 18.	Funciones Bessel de orden cero y uno	115
Tabla 19.	Factor de carga K1	158
Tabla 20.	Factor de carga K2	159
Tabla 21.	Factor de carga K3	159
Tabla 22.	Propiedades de los ángulos de acero de lados iguales	165
Tabla 23.	Convergencia de malla	186
Tabla 24.	Convergencia de malla para espesor de 9mm	188
Tabla 25.	Propiedades del acero ASTM A-36	190
Tabla 26.	Costos de ingeniería	204
Tabla 27.	Costos de materiales de la máquina	205
Tabla 28.	Costos a causa de la fabricación y el montaje	206
Tabla 29.	Costo total de la máquina	206
Tabla 30.	Costos anuales que genera la máquina en el desarrollo de sus operaciones	207
Tabla 31.	Costos indirectos de fabricación	207
Tabla 32.	Costos de mantenimiento preventivo	207
Tabla 33.	Costo total de operación	208
Tabla 34.	Ingresos anuales por producción	209
Tabla 35.	Flujo de caja neto	211

LISTA DE GRÁFICOS

		pág.
Gráfico 1	Gráfica viscosidad VS 1/T del PVC	77
Gráfico 2	Gráfica viscosidad VS velocidad de cizalladura	77
Gráfico 3	Gráfica viscosidad VS 1/T del PVC	94
Gráfico 4	Gráfica viscosidad VS velocidad de cizalladura	94
Gráfico 5	Factor de pérdidas de energía para bifurcaciones	143
Gráfico 6	Difusividad térmica del PVC	146
Gráfico 7	Comportamiento esfuerzo con respecto al tamaño de malla	187
Gráfico 8	Comportamiento esfuerzo con respecto al tamaño de malla	189
Gráfico 9	Diagrama de proceso	197
Gráfico 10.	Flujo de caja neto	211

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Características del PVC	33
Cuadro 2. Fabricación de moldes	35
Cuadro 3. Clasificación de moldes	36
Cuadro 4. Propiedades de los materiales para moldes	38
Cuadro 5. Propiedades químicas del PVC flexible	39
Cuadro 6. Propiedades físicas del PVC flexible	39
Cuadro 7. Propiedades térmicas del PVC flexible	39
Cuadro 8. Resumen resultados de la simulación	85
Cuadro 9. Propiedades térmicas del acero AISI SAE 1020	112
Cuadro 10. Coeficientes para la conducción	114
Cuadro 11. Interpolación funciones Bessel de orden cero y uno	116
Cuadro 12. Lubricante recomendado para engranajes	199
Cuadro 13. Rutinas de mantenimiento	201
Cuadro 14. Fallas posibles	203

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Ficha técnica de los aceros seleccionados	219
Anexo B. Selección Motorreductor	224
Anexo C. Selección del acople	226
Anexo D. Cotizaciones	227
Anexo E. Evaluación financiera	233
Anexo F. Ficha técnica PVC	236
Anexo G. Dimensiones motorreductor	228
Anexo H. Planos	237

RESUMEN

El proyecto empezó con la descripción detallada del estado actual de las máquinas inyectoras de plástico, sus boquillas y las características del material usado para fabricación de suelas. Luego con la parametrización y conceptualización del proceso que realizan este tipo de máquinas, se evaluaron las condiciones a la que están sometidos los elementos de la inyectora en operaciones normales. Con la información recopilada se establecieron alternativas de diseño para el sistema de inyección, boquilla y la boquilla de doble salida, donde por medio del método de ponderación lineal Scoring, se seleccionó la alternativa adecuada, evitando desperdicio de material, ni pérdidas excesivas de calor, haciendo que el proceso de llenado de las cavidades del molde sea lo más eficiente posible por medio de un estudio de transferencia de calor, diseño de elementos de la máquina y análisis de elementos finitos para comprobar el correcto funcionamiento del sistema de inyección y su estructura, la cual soporta: tornillo sin fin, camisa, resistencias, tolva con el material a inyectar y motorreductor, esta nos arroja un factor de seguridad, donde se puede saber la medida de seguridad relativa, con la cual se diseñó la estructura y que esta no va a fallar mientras esté en funcionamiento.

Comprobado el diseño, se realizaron los planos de sus elementos, ubicación, ensamble, montaje y fabricación de componentes. También manuales de operación y mantenimiento, donde se indicó el correcto uso y montaje de la máquina, para evitar que el operario presente fallencias a la hora de usarla. Para terminar, se realizó la evaluación financiera, donde se llevaron todos los costos a flujo de caja, y mediante el uso de los indicadores como; TIR y TIO, se evidencia la viabilidad financiera del proyecto.

Palabras clave: Diseño, Máquina inyectora, Doble inyección, Suelas.

INTRODUCCIÓN

La *importancia* de este proyecto se sustenta en que la maquinaria para fabricación de suelas encontrada en las empresas productoras del sector del Restrepo en la ciudad de Bogotá no está en capacidad para producir altos volúmenes, ni en mejorar los tiempos de entrega de los lotes de producción lo que genera retrasos y consiguiente insatisfacción del cliente, esto afecta la rentabilidad de los pequeños productores ya que las grandes compañías están optando por fabricar sus propias suelas. Debido al aumento significativo de la demanda del sector, los fabricantes de suelas se comprometen a entregar el producto sin tener en cuenta que la configuración de la maquina inyectora usada, no está en capacidad de producir la cantidad necesaria para la entrega oportuna de pedidos.

El *origen* del proceso de inyección es uno de los más importantes en la industria de transformación del plástico. Se encuentra que uno de los productos más fabricados son las suelas de zapatos. A lo largo de la historia, el zapato y los materiales que lo conforman, han evolucionado incluso en aspectos, totalmente divergentes: se han empleado metales, pieles, hojas de palmera, madera de diferentes tipos, bordados y una larga lista de materias diversas. Desde el siglo XVII, la mayoría de los zapatos de cuero se han caracterizado por un cocido único. Los avances en la industria del caucho, del plástico, de las telas sintéticas y de los adhesivos industriales han permitido a los fabricantes crear zapatos que se distinguen considerablemente de las técnicas tradicionales de elaboración. Es preciso tener en cuenta que hasta 1790 no se fabricaban pares de zapatos, sino un mismo modelo que servía indistintamente para el pie izquierdo y derecho¹.

La parte más complicada en todo el proceso de fabricación es el piso o suela: la horma se puede obtener de manera más o menos sencilla con un torno, los materiales se pueden cortar a mano mediante cuchilla o con máquinas automáticas, sin embargo, el prototipo de la suela es un procedimiento mucho más complejo. Para ello, un experto maquetista parte de la horma, de los bocetos de los modelistas y “talla” la suela sobre un bloque de resina. Este es un proceso engorroso que realiza un profesional artesano y que depende de la interpretación que se haga de los bocetos, ya que generalmente no definen con exactitud las medidas.

Actualmente la fabricación de las suelas se realiza mediante el proceso de inyección de la materia prima PVC por medio de una maquina inyectora. La fabricación de los moldes para dicho proceso se hace por medio de un programa el cual a través de una maquina CNC, se realiza el mecanizado deseado para obtener el molde a fabricar, posteriormente este molde es acoplado a la maquina

¹ Disponible en: <https://tiendasponti.myshopify.com/blogs/zapatosyzapatos/62762755-conoces-como-fue-el-primer-zapato-de-la-historia> citado el 20 de Noviembre de 2016.

inyectora rotativa y esta inicia el proceso de inyección de la materia prima para así concluir con el producto terminado, la suela requerida. El corazón de una inyectora es un tornillo sin fin que gira dentro de una camisa, siendo capaz de empujar materia prima a una velocidad específica, bajo ciertas condiciones de operación.

Este proyecto tiene como *objetivo* general; “Diseñar una máquina inyectora de termoplásticos para fabricación de suelas con doble boquilla de salida”. Se busca conseguir el cumplimiento de este objetivo, por lo que se plantearon los siguientes objetivos específicos;

- ✓ Determinar y evaluar el estado actual de las máquinas inyectoras de plástico y de sus boquillas
- ✓ Parametrizar y conceptualizar el proceso
- ✓ Plantear alternativas del subsistema de boquillas
- ✓ Conceptualizar la alternativa elegida
- ✓ Diseñar los componentes de la máquina
- ✓ Analizar por método de elementos finitos la estructura de apoyo
- ✓ Elaborar planos de ubicación, ensamble, montaje y fabricación de componentes
- ✓ Elaborar manuales de operación y mantenimiento de la máquina
- ✓ Realizar evaluación financiera del proyecto

En la limitación de este proyecto se encuentra el diseño de un sistema de inyección, diseño de doble salida, además se mostrará el análisis por elementos finitos y la animación del funcionamiento de la máquina.

El proyecto tendrá como *alcance* simulación y elaboración de planos. En este documento se mostrará el diseño detallado de cada uno de los sistemas que constituyen la máquina, la cual no será construida.

La *metodología* comprende las siguientes tareas:

Diseñar la máquina inyectora de termoplásticos para fabricación de suelas con doble boquilla de salida. Investigar el estado actual de las máquinas inyectoras, tomando como base los datos de la industria a nivel global (especialmente Italia, China). Conceptualizar el proceso de inyección mediante el uso de referencias

bibliográficas e indagación del proceso en la industria colombiana. Analizar los sistemas de boquillas actuales de tal modo que la alternativa elegida, sea la que cumpla con las especificaciones requeridas.

Mediante el uso de los conocimientos adquiridos durante el proceso de aprendizaje, se realizará el diseño de los componentes del sistema de inyección de la maquina inyectora, los cuales incluyen tornillo sin fin, estructura de apoyo y la selección del motor hidráulico, pistón hidráulico, resistencias de banda, tolva de alimentación. Por medio de un software de elementos finitos se analizará la estructura de apoyo, para verificar que el conjunto diseñado resista las cargas aplicadas.

Para un correcto funcionamiento del sistema y las partes que componen la máquina se elaboran planos y manuales que expliquen el procedimiento para el ensamble, montaje, fabricación, operación y mantenimiento de la máquina. Por medio de un análisis financiero se estudia la viabilidad de la realización del proyecto.

1. ESTADO ACTUAL

La fabricación de suelas para calzado consiste en plastificar el material y vaciarlo en un molde con la forma deseada, para que el material el cual entra fundido a las cavidades, al solidificarse obtenga la forma final. Los procesos más comunes para la fabricación de la suela son: Inyección, vulcanizado y termo formado. El proceso que es mayormente utilizado es la inyección, gracias a que este proceso es el más eficiente en términos de producción. A continuación, se describe el proceso de producción de un par de suelas;

- ✓ Se realiza el modelo de la suela, mediante el uso de un software CAD, donde se tiene en cuenta los parámetros de diseño y tallas
- ✓ El proceso de fabricación del molde se realiza mediante un centro de mecanizado CNC, donde por arranque de viruta, los escariadores mecanizan el molde a partir de una placa que puede ser de aluminio o acero al carbono
- ✓ Posterior al mecanizado el molde es pulido, donde se retiran las rebabas, se colocan filtros y se hacen los canales de inyección por donde va a pasar el material hacia las cavidades
- ✓ La inyectora es la encargada de fundir el material, y transportarlo hacia el molde, para obtener el producto final

1.1 MOLDEO POR INYECCIÓN

El moldeo por inyección es una técnica de conformado típica de los materiales termoplásticos, en el caso de las suelas de PVC, se obtienen productos que varían ampliamente en forma y tamaño, consiste básicamente en fundir el PVC e inyectarlo a una presión adecuada en las cavidades del molde, donde por medio de refrigeración por agua, se enfría el molde lo que hace que la suela pueda ser extraída sin deformarse.

“Actualmente se pueden hacer modelados del proceso, mediante software como MOLDFLOW², que han contribuido al estado actual de desarrollo de esta tecnología. El moldeo por inyección es el método de transformación de plásticos más utilizado en la industria, gracias al tipo de máquinas utilizadas que ayudan a la producción masiva de piezas”³.

² Disponible en <https://www.autodesk.com/products/moldflow/overview> citado el 2 de agosto de 2017

³ BELTRÁN. Maribel, MARCILLA. Antonio. Tecnología de polímeros. España Universidad de Alicante. 2012. 276p.

El proceso tiene dos partes, la primera tiene lugar en la fundición del material, y la segunda en el vaciado del material, la forma en que se realiza este proceso en cada máquina es lo que las diferencia unas de otras, pueden ser de cierre vertical, horizontal o rotativo, la inyección puede ser igualmente, horizontal o vertical.

1.2 MÁQUINA INYECTORA

Es el equipo utilizado para realizar el proceso de inyección, en el pueden identificarse diferentes sistemas fundamentales que lo componen los cuales son;

- ✓ Unidad de cierre
- ✓ Unidad de inyección
- ✓ Unidad de potencia
- ✓ Unidad de control

1.2.1. Unidad de cierre. Consta de los elementos necesarios para la colocación, accionamiento y cierre de las dos partes del molde (macho y hembra). Las partes de la unidad de cierre son la cual la constituyen: pistones hidráulicos, guías para colocación del molde, cabezal móvil (el cual tiene movimiento para apertura y cierre del molde y aporta la presión necesaria para el cierre, normalmente utiliza presiones que varían entre 70 y 140 kg/cm²)⁴, cabezal fijo (fijo a la base de la máquina, ocupa normalmente la parte central de la misma y conecta, la unidad de inyección y la unidad de cierre). (Ver Imagen 1).

Imagen 1. Unidad de cierre

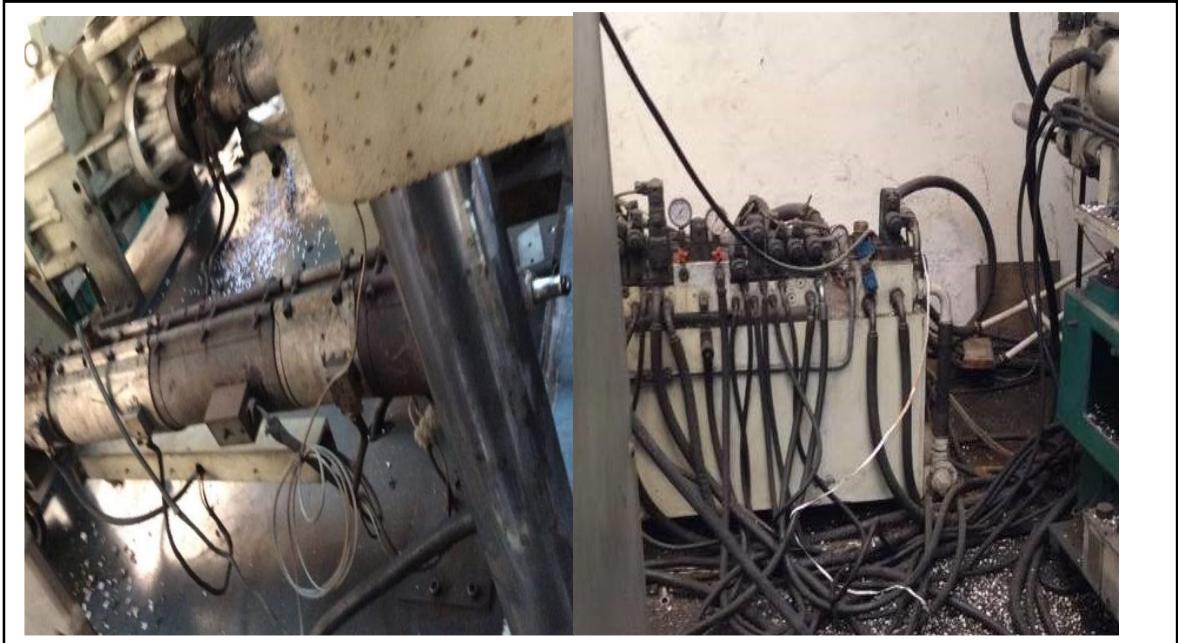


⁴ BURBANO. Christian. Diseño de molde de 4 cavidades para la producción de rejilla y tapón de 50 mm de PVC reutilizando placas normalizadas existentes. Escuela superior politécnica del litoral. Tesis de grado. 2010. 175p.

1.2.2. Unidad de inyección. Consta de los elementos necesarios para carga, plastificación e inyección del material. Lo constituyen: tolva, tornillo sin fin, camisa del tornillo sin fin, resistencias de banda y boquilla. Esta unidad funciona mediante el giro y movimiento axial del tornillo. Existen tres tipos importantes de unidades de inyección: unidades de inyección de una fase, unidades de inyección de dos fases pistón -tornillo y unidades en línea con tornillo alternativo.

Actualmente la mayoría de las máquinas inyectoras se fabrican con el sistema de tornillo alternativo, también llamado recíprocante, porque alterna las funciones de giro e inyección⁵. Las funciones principales de este tipo de unidades son: moverse para acercar o alejar la boquilla al bebedero del molde y cuando este llegue a su posición girar el tornillo durante la etapa de llenado, cuando el tornillo deja de girar, actúa el cilindro hidráulico empujando el material hasta la boquilla que conduce al bebedero del molde y a su vez a las cavidades (Ver Imagen 2).

Imagen 2. Unidad de inyección



1.2.3. Unidad de Potencia. Es el conjunto de dispositivos que tienen como función suministrar la fuerza motriz a la unidad de inyección. Estos dispositivos son: motor hidráulico o eléctrico, pistón hidráulico y bomba de desplazamiento positivo, los cuales transforman la energía hidráulica del aceite en energía mecánica, dándole la potencia necesaria al tornillo sin fin para que cumpla su función.

⁵CABALLERO ÁGUILA. Manuel. Manual de inyección de plásticos, ciclo de operaciones de transformación de plásticos y caucho. Junta de Andalucía 2010. 157p.

Una parte de la energía necesaria para la fundición del PVC se debe al calor de fricción, este se suministra por el giro del tornillo, por lo tanto, durante esta etapa de Inyección, se consume gran cantidad de energía, requiriendo un motor que suministre suficiente potencia para vencer las fuerzas de oposición del tornillo que se generan en la fusión del material (Ver Imagen 3).

Imagen 3. Unidad de potencia



1.2.4 Unidad de control. Serie de elementos electrónicos y neumáticos o hidráulicos, que hacen que se realice el proceso de una forma predeterminada, controlan variables de trabajo de la máquina como temperatura, tiempo de inyección, tiempo de enfriamiento y posición del plato porta moldes. El sistema de control está ligado íntimamente al de potencia, a través de las distintas señales eléctricas las cuales se convierten en paros y movimientos.

Los controles pueden ser análogos, digitales y pantallas táctiles. Los análogos se encuentran en máquinas que tienen mayor tiempo de uso, los digitales en máquinas modernas y pantallas táctiles en máquinas de última tecnología.

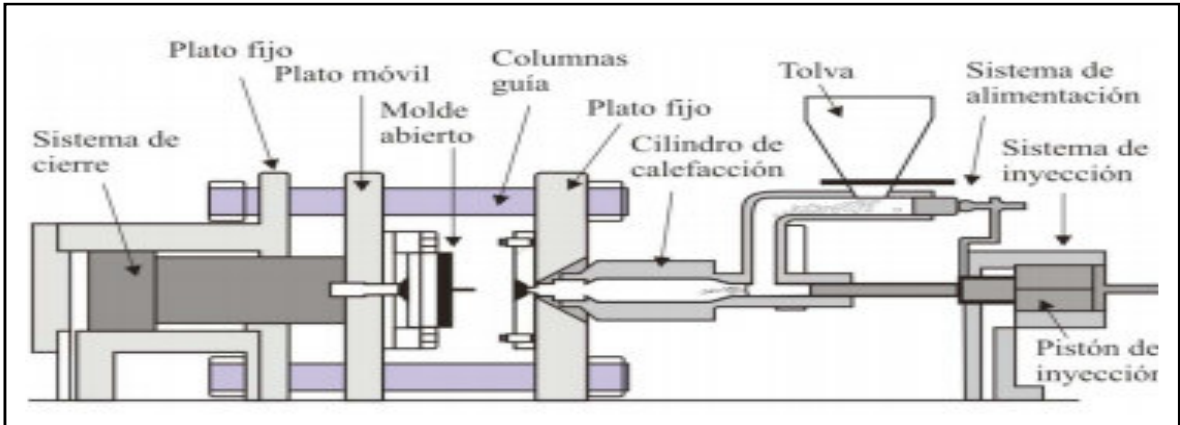
Imagen 4. Unidad de control



1.3 TIPOS DE MÁQUINAS INYECTORAS

1.3.1 Máquina de pistón. En este tipo de máquinas no existe tornillo sin fin, el material es empujado en veces sucesivas, hacia las cavidades del molde mediante un pistón que se mueve dentro del cilindro de calefacción. El material ingresa al sistema mediante una tolva ubicada sobre un canal de alimentación.

Imagen 5. Esquema máquina inyectora de pistón



Fuente: BELTRÁN. Maribel, MARCILLA. Antonio. Tecnología de polímeros. España Universidad de Alicante. 2012. 276p.

En la imagen 5, se muestra el esquema de la máquina inyectora, constituida por: Sistema de dosificación y alimentación, encargado de distribuir los pellets del polímero a inyectar: un pistón de inyección el cual se encarga de empujar al material dentro de la cámara de calefacción y debido a su movimiento repetitivo de empuje lleva el material hasta el molde; la cámara de calefacción encargada de calentar el material a la temperatura suficiente para que pueda fluir mediante el empuje del pistón.

La unidad de inyección de este tipo de máquinas está constituida solamente por el cilindro en el que se realiza la fusión del material, al no proveer de material constante sino ser de empuje, los tiempos de inyección se incrementan haciendo que este tipo de máquinas sean poco utilizadas en la industria por lo que este tipo de máquinas de inyección se utilizan actualmente en laboratorios o para producciones a pequeña escala, ya que presentan una serie de desventajas para elaborar piezas a gran escala de producción⁶.

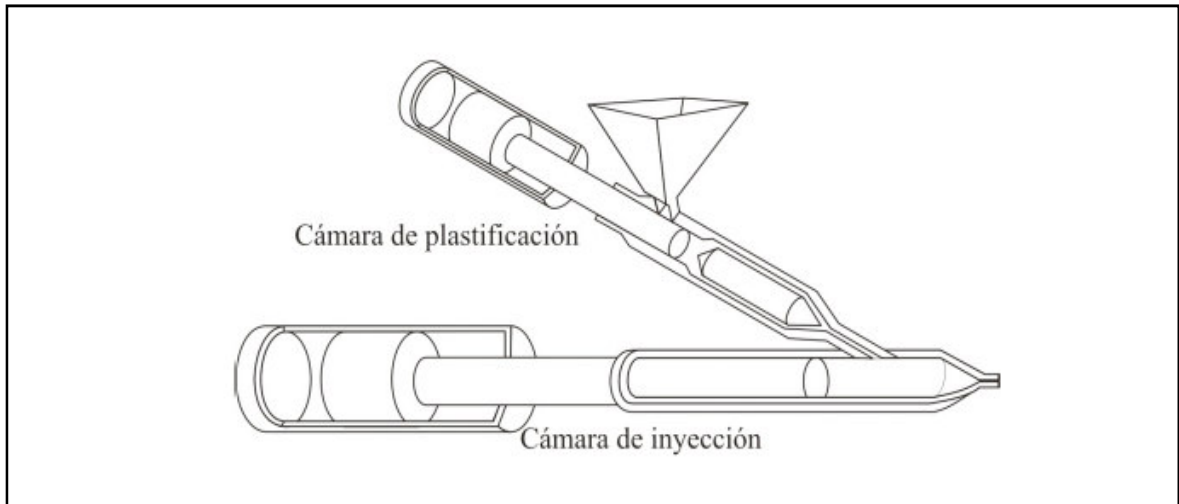
1.3.2 Máquina de pistón con pre-plastificación. A falta de eficiencia y capacidad de producción, las máquinas de pistón fueron poco a poco sustituidas por las máquinas de pistón con pre plastificación. La mejora realizada fue separar la etapa

⁶BELTRÁN. Maribel, MARCILLA. Antonio. Tecnología de polímeros. España Universidad de Alicante. 2012. 276p.

de fusión y plastificación. Existen dos tipos de máquinas con pre plastificación: de pistón y de husillo; las cuales pueden ser a su vez en ángulo o en paralelo.

En las máquinas de pistón y a su vez en ángulo, el material se transfiere al cilindro de inyección cuando este se encuentra sin carga. Este tipo de máquinas tiene el inconveniente que deben disponer de una estructura para cada cámara, para soportar los esfuerzos originados en la plastificación y la inyección (Ver Imagen 6).

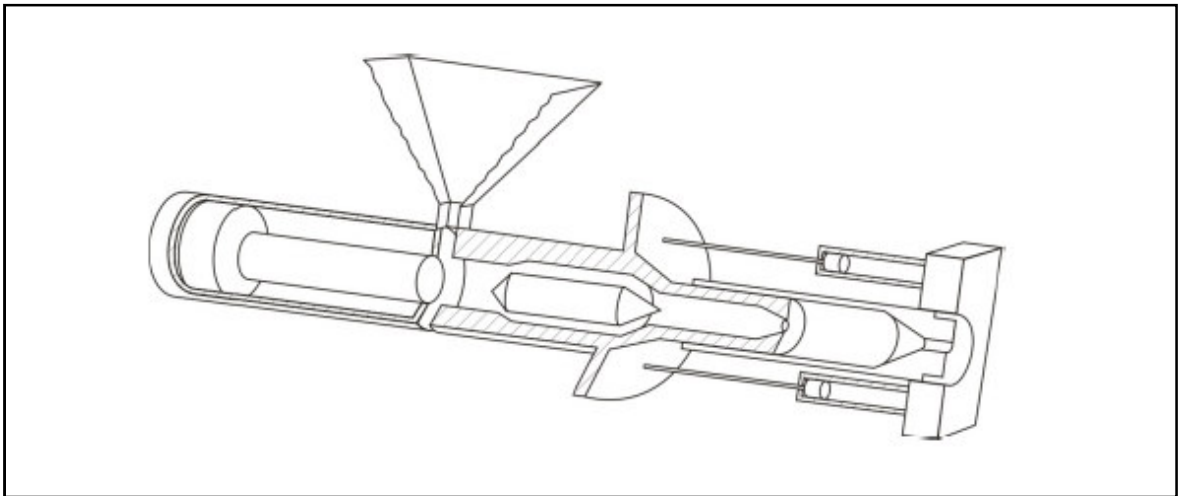
Imagen 6. Máquina de pistón y en ángulo



Fuente: BELTRÁN. Maribel, MARCILLA. Antonio. Tecnología de polímeros. España Universidad de Alicante. 2012. 276p.

En las máquinas de pistón y en línea, no se necesitan las estructuras para apoyar dos cámaras diferentes, sino se unen en una sola, pero el cilindro de pre plastificación se utiliza ahora como pistón para empujar el material. Se agrega una válvula anti retorno, que evita que el material se devuelva debido a la presión ejercida durante el proceso y permite el flujo en una sola dirección, pero genera un inconveniente de flujo del material fundido, donde pueden tener repercusiones en el producto terminado. Tienen una ventaja la cual es la reducción del área ocupada, y de su mayor facilidad de construcción en comparación con las máquinas de pistón en ángulo (Ver imagen 7).

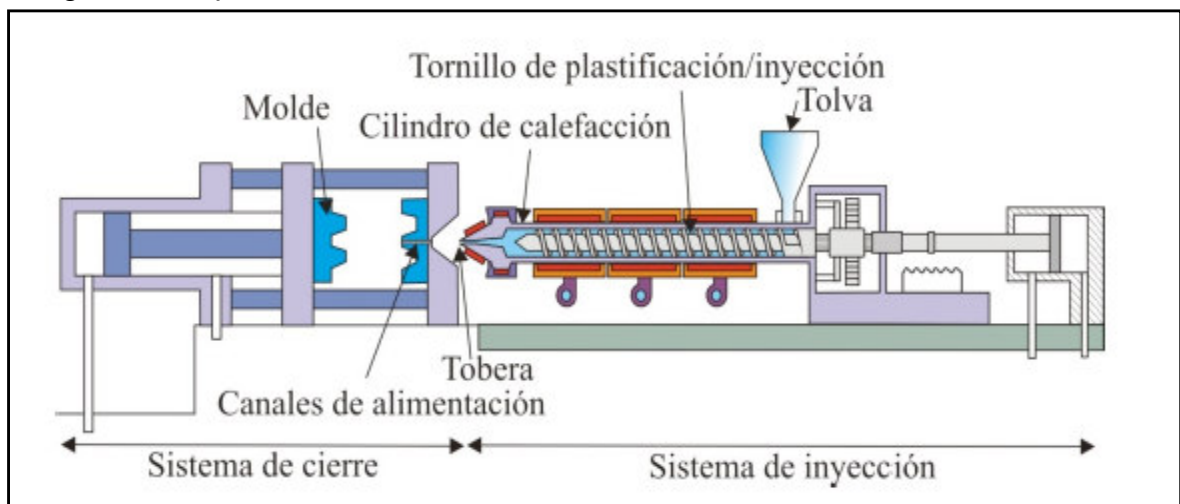
Imagen 7. Máquina de pistón en línea



Fuente: BELTRÁN. Maribel, MARCILLA. Antonio. Tecnología de polímeros. España Universidad de Alicante. 2012. 276p.

1.3.3 Máquina de husillo. Se incorpora un tornillo sin fin, el cual hace que el calentamiento sea uniforme para todo el material, evitando así afectar su composición, si se presenta un calentamiento excesivo o partículas sólidas cuando por falta de calor, se realiza el giro del husillo por medio de motores, los cuales pueden ser eléctricos o hidráulicos. El diseño del tornillo es definido por las características del material a inyectar y las condiciones del proceso, los diseños se enfocan en el paso de la hélice, profundidad del canal y longitud del tornillo. La eficiencia en transferencia de calor es muy alta en comparación con las demás máquinas, es la que mayor aceptación tiene en la industria (Ver Imagen 8).

Imagen 8. Máquina de husillo



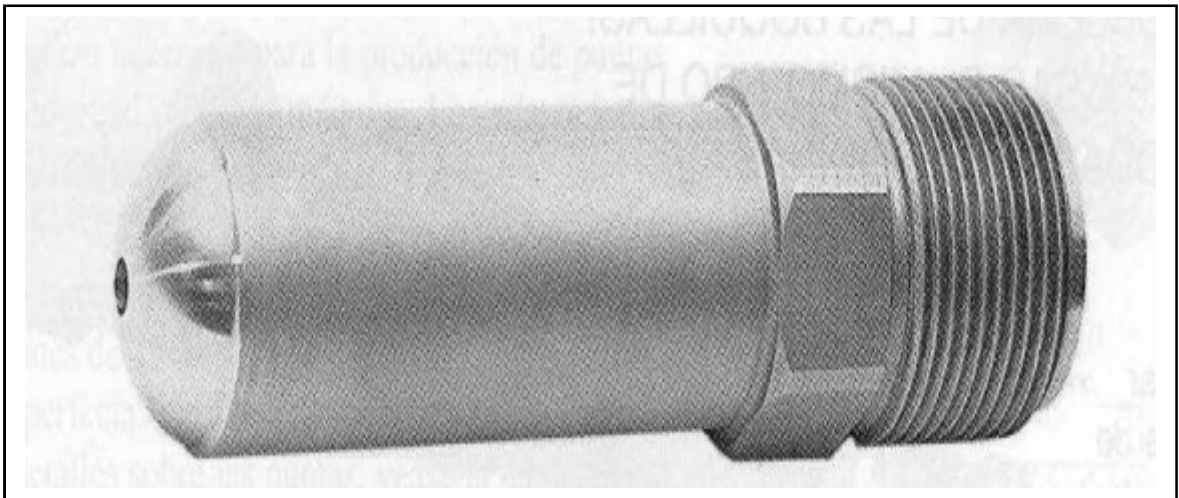
Fuente: BELTRÁN. Maribel, MARCILLA. Antonio. Tecnología de polímeros. España Universidad de Alicante. 2012. 276p.

1.4 BOQUILLAS DE INYECCIÓN

Elemento encargado de permitir el paso de plástico fundido desde la cámara de plastificación, para que el material fundido fluya desde la unidad de inyección hasta los canales del molde, pasa por un elemento llamado boquilla. Se encuentra localizado en el extremo de la cámara y es la única parte de la unidad de inyección que tiene contacto directo con el molde, más exactamente con el bebedero. Su diseño viene definido por el tipo de material y la pieza a inyectar. La función principal de la boquilla es mantener la presión y no obstaculizar el paso del polímero, además mantener la temperatura adecuada para que no haya solidificación ni goteo en el momento de inyectar. (Ver Imagen9)

En la mayoría de los casos la forma de las boquillas es esférica, haciendo que las fuerzas que actúan sobre la boquilla generen el menor desgaste posible. Otro aspecto que considerar a la hora de diseñar la boquilla de inyección es que esta debe ser de un diámetro igual o máximo 2 mm menor que el bebedero, para evitar que el material sea devuelto debido a la presión ejercida por el material, provocando desperdicios⁷.

Imagen 9. Boquilla



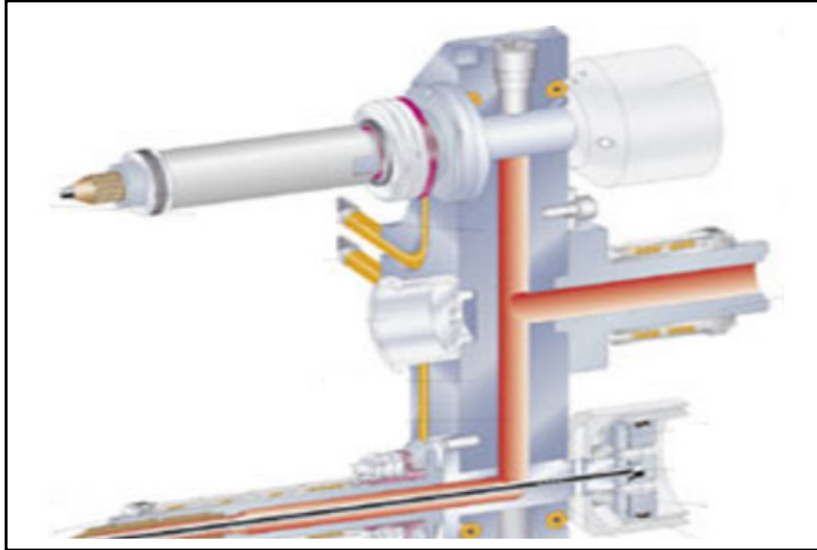
Fuente: CABALLERO ÁGUILA. Manual. Manual de inyección de plásticos, ciclo de operaciones de transformación de plásticos y caucho. Junta de Andalucía 2010. 157p.

1.4.1 Boquilla de doble salida. Le proporciona un estrangulamiento al material, aumentando la velocidad de flujo del PVC. Para que este proceso se haga en dos moldes a la vez es necesario realizar un dispositivo que tenga doble salida, es

⁷ Disponible en <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/pvc/queeselpvc.html> consultado el 22 de noviembre de 2016.

decir, dos boquillas que alimenten dos moldes contiguos, en el mismo tiempo en que se alimentaba uno solo.

Imagen 10. Sistema de doble salida



Fuente: disponible en <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/14356-Por-que-un-sistema-de-camara-caliente-con-obturador.html> citado el 30 de noviembre de 2016.

En la imagen 10, se muestra un sistema de doble salida, el cual estará diseñado para que a la llegada del material a la boquilla su temperatura se mantenga entre 200 y 250°C⁸, este sistema reduce el tiempo de ciclo, en todas las tallas de moldes que vayan a entrar en producción. Los moldes deben tener enfriamiento suficiente para ambos moldes, así se garantizan los mismos resultados de inyección en los dos sistemas.

1.5 MATERIAL A PROCESAR

1.5.1 PVC. Este es producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a policloruro de vinilo. Es un polímero obtenido de dos materias primas naturales: cloruro de sodio (NaCl) (57%) y petróleo o gas natural (43%), siendo menos dependiente de recursos no renovables que otros plásticos. El PVC se presenta en su forma original como polvo blanco, amorfo y opaco⁹. A partir de

⁸ Disponible en <http://www.polyone.com/products/thermoplastic-elastomers/tpe-knowledge-center/injection-molding-guide/injection-molding-1> citado el 23 de noviembre de 2016.

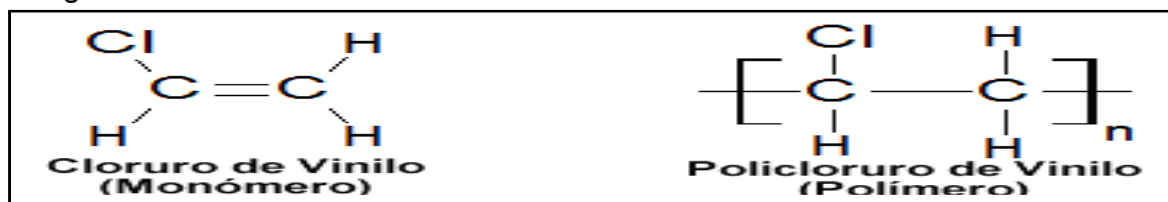
⁹ Disponible en <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/pvc/queeselpvc.html> consultado el 22 de noviembre de 2016.

procesos de polimerización, se obtienen compuestos en forma de polvo o pellet, plastisol, soluciones y emulsiones.

La resina que resulta de esta polimerización es la más versátil de la familia de los plásticos, pues además de ser termoplástica, a partir de ella se pueden obtener productos rígidos y flexibles.

Debido a que resulta más económico y durable que otros materiales es uno de los polímeros más estudiados y utilizados por el hombre para su desarrollo y confort, dado que por su amplia versatilidad es utilizado en áreas tan diversas como la construcción, energía, salud, preservación de alimentos y artículos de uso diario, entre otros. A continuación, se muestra la imagen 11 donde se observa la fórmula estructural del PVC.

Imagen 11. Fórmula estructural del PVC



Fuente: disponible en www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/pvc/queeselpvc.html consultado el 22 de noviembre de 2016

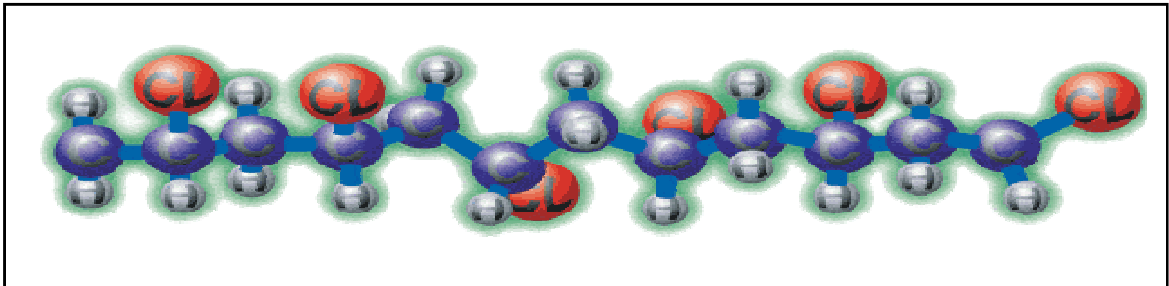
Además de su gran versatilidad, el PVC es la resina sintética más compleja y difícil de formular y procesar, pues requiere de un número importante de ingredientes y un balance adecuado de estos para poder transformarlo al producto final deseado. Con el empleo de estabilizadores adecuados se hizo posible el desarrollo del PVC rígido, lo que permitió que el PVC se convirtiera en el termoplástico más versátil e importante del mercado mundial. En el cuadro 1 se listan algunas características del PVC.

Cuadro 1. Características del PVC

1.	Alta resistencia a la abrasión
2.	Resistencia al impacto
3.	Baja densidad
4.	Material estable
5.	Poco inflamable
6.	Alto valor energético
7.	Amplio rango de dureza
8.	Bajo costo
9.	Resistente a la corrosión

1.5.2 Estructura del PVC. Estructuralmente, el PVC es un polímero vinílico, similar al polietileno, con la diferencia que cada dos átomos de carbono, uno de los átomos de hidrogeno esta sustituido por un átomo de cloro¹⁰ (Ver imagen 12).

Imagen 12. Fórmula estructural del Policloruro de vinilo



Disponible en www.eis.uva.es/~macromol/curso0304/PVC/estruct_sintesis.html citado el 22 de noviembre de 2016.

La estructura del policloruro de vinilo corresponde a una disposición cabeza-cola; existe evidencia de la ramificación del polímero y esta depende de la temperatura de polimerización y del peso molecular. El Policloruro de vinilo se produce a escala industrial por medio de la polimerización radicalica, en bloque, en suspensión o en emulsión. Los métodos de polimerización en solución tienen menor importancia comercial¹¹.

1.5.3 Propiedades del PVC. Este es un material esencialmente amorfo, con porciones sintácticas que no constituyen más del 20% del total, y que, generalmente cuenta con grados de cristalinidad menores, es difícilmente inflamable, no arde por sí solo.

La configuración de partículas de PVC varía desde esferas no porosas y lisas, hasta partículas irregulares y porosas. El PVC especial para compuestos flexibles debe poseer suficiente y uniforme porosidad para absorber los plastificantes rápidamente; para compuestos rígidos, la porosidad es menos importante, debido a que a menor rango se obtiene mayor densidad aparente.

Para formular un compuesto de PVC, se requiere escoger la resina conforme a los requerimientos en propiedades físicas finales, como la flexibilidad, procesabilidad y aplicación para un producto determinado. La estructura de este material puede ser comparada con la del Polietileno, la diferencia radica en que un átomo de la cadena de polietileno es sustituido por un átomo de cloro en la molécula de PVC.

¹⁰ Disponible en www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/PVC/estruct_sintesis.html citado el 22 de noviembre de 2016.

¹¹ Disponible en www.ocw.um.es/gat/contenidos/agarcia/Tiddly09/img/publicacion/es/Pedro-Alonso-Proyecto.pdf citado el 22 de noviembre de 2016.

Este átomo aumenta la tracción entre las cadenas poli vinílicas, dando como resultado un polímero rígido y duro¹².

1.6 FABRICACIÓN DE MOLDES

Los moldes son aquellos elementos que contienen la forma del material a inyectar, se fabrican en metal, y su clasificación es la siguiente:

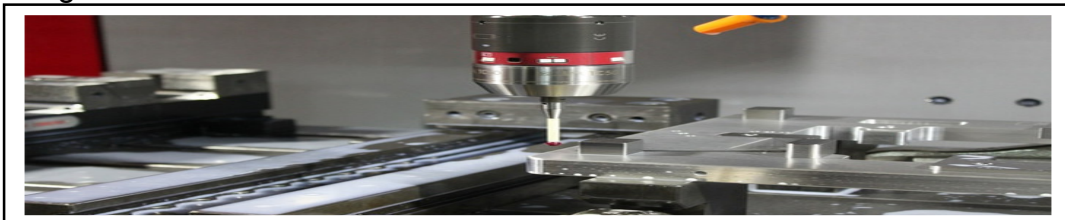
- ✓ El moldeo en frío. Son los que se fabrican con las mezclas de material líquido o semilíquido, que luego una vez vertido, se van endureciendo hasta quedar totalmente sólido como pueden ser los morteros, el yeso, las resinas
- ✓ El moldeo caliente. Son los que se fabrican con materiales líquidos que se han fundido, como pueden ser los metales y las ceras.

Para la fabricación de moldes se siguen los pasos listados en el cuadro 2 (ver imagen 13).

Cuadro 2. Fabricación de moldes

1.	Se diseña la pieza mediante software CAD
2.	Se programa la pieza mediante software CAM
3.	Se mecaniza el molde mediante CNC (Ver imagen 7)
4.	Se pule el molde
5.	Se lleva a producción

Imagen 13. Fabricación de moldes



Fuente: disponible en www.vanguardia-industrial.net/planean-centro-para-capacitar-en-fabricacion-de-moldes citado el 23 de noviembre de 2016.

¹² Tomado de: <https://sites.google.com/site/polimeros121/pvc> citado el 22 de noviembre de 2016.

2. PARAMETRIZACIÓN Y CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROCESO

Para parametrizar el proceso, se definen los aspectos que intervienen en el diseño de los elementos propuestos en este proyecto de la máquina inyectora.

2.1 APLICACIÓN DEL PROYECTO

Como se describe en la introducción de este documento la baja capacidad de producción de suelas en la industria colombiana la pone en desventaja frente a productos importados. Para aumentar la capacidad de producción sin incurrir en los costos que implica la adquisición de nuevas máquinas, el presente proyecto propone como solución el diseño de un sistema de inyección de doble boquilla, que duplique la producción (alimentando dos moldes simultáneamente) y pueda ser montado sobre las maquinas existentes. Estos moldes son de la misma talla y el tipo de máquina a la cual se puede ajustar el diseño del sistema de inyección es de tipo estática vertical, es decir, no se realiza ninguna modificación en la mesa donde se apoyan los moldes. Si la máquina es de tipo rotativa la mesa donde están apoyados los moldes debe ser ajustada para disminuir el espacio que existe en el centro.

2.2 MOLDES DE INYECCIÓN DE PLASTICOS

2.2.1 Tipo de molde. Según la norma DIN E 16750, se clasifican los moldes como se indica en el cuadro 3.

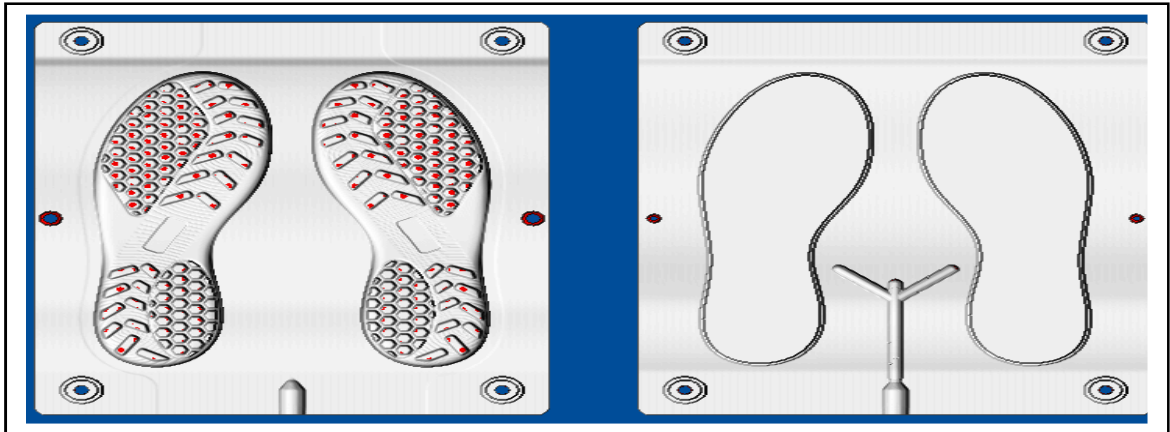
Cuadro 3. Clasificación de moldes

1	Molde estándar (dos placas)
2	Molde de mordazas (correderas)
3	Molde de extracción por segmentos
4	Molde de tres placas
5	Molde de pisos (Sándwich)
6	Molde de canal caliente

Fuente: GASTROW. H. Moldes de inyección para plásticos, 100 casos prácticos, Plasic comunicación. 2 edición. España. 1992. 256p.

Según la clasificación del cuadro 3, el molde utilizado para la inyección de suelas monocolor es un molde estándar, el cual lo conforma dos placas, una para la hembra y otro para la tapa como se muestra en imagen 14.

Imagen 14. Molde estándar



2.2.2 Selección de material del molde. Con el objetivo de conseguir la máxima utilidad es necesario que los materiales usados en la fabricación de moldes tengan las siguientes propiedades:

- ✓ Resistencia al desgaste para aumentar la rigidez de algunas piezas inyectadas, estas se refuerzan con fibras de vidrio o materiales minerales, lo que significa que son materiales altamente abrasivos, es por esto que el material del molde debe tener una alta resistencia al desgaste
- ✓ Resistencia a la corrosión: los componentes de algunos materiales inyectados, la refrigeración del molde y el contacto con el medio exterior causa que los moldes sufran de corrosión, es por esto que el material debe ser resistente a la corrosión
- ✓ alta temperatura de fusión, donde no disminuyan las propiedades mecánicas cuando se eleve la temperatura del molde, dado que este está en contacto directo con el material plastificado a una temperatura de 250°C, esto causa deformaciones del molde debido a las altas temperaturas, repercutiendo en las medidas y tolerancias de la pieza inyectada
- ✓ Conductividad térmica: la conductividad del molde adquiere gran importancia para disipar adecuadamente el calor, por eso se debe seleccionar un material que mejore la conductividad térmica
- ✓ Maquinabilidad: como la fabricación del molde se realiza por arranque de viruta, mediante CNC, se debe seleccionar un material que presente una buena maquinabilidad para evitar la ruptura de herramientas que en muchos

casos son de acero rápido y con aleaciones de tungsteno, además de esto debe permitir un buen pulido, obteniendo una rugosidad bastante baja¹³.

Cuadro 4. Propiedades de los materiales para moldes

Material	Resistencia al desgaste	Resistencia a corrosión	T° de fusión	Conduc. Térmica	Maquinabilidad	Densidad
Acero bonificado AISI 4340 ¹⁴	Alta	Baja	1510°C	Media	Media	7850 Kg/m ³
Acero inoxidable ASTM240 ¹⁵	Alta	Alta	1400°C	Media	Media	8000 Kg/m ³
Acero AISI 4140 ¹⁶	Alta	Baja	1585°C	Media	Media	7850 Kg/m ³
Cobre ¹⁷	Baja	Alta	1085°C	Alta	Alta	8960 Kg/m ³
Aluminio AW 7022 ¹⁸	Media	Alta	660°C	Alta	Alta	2700 Kg/m ³

Según las propiedades de los diferentes materiales para la fabricación de moldes, mostradas en el cuadro 4 el material más adecuado es el Aluminio AW 7022 para una temperatura media y obtener una media resistencia al desgaste, con una alta resistencia a la corrosión, alta conductividad térmica y una alta maquinabilidad, el Aluminio es de mayor costo que el acero, pero presenta conductividad térmica y resistencia a la corrosión mucho mejor que la que presenta el acero. Otro factor determinante para la selección del aluminio es su baja densidad en comparación con los otros materiales, haciendo que la masa del molde en aluminio sea menor y se facilite el montaje y desmontaje de este a la máquina.

2.3 PVC A UTILIZAR

2.3.1 Características del PVC flexible. Este es el material más comúnmente utilizado para la inyección de suelas, el cual provee propiedades mecánicas adecuadas para ser utilizado como parte fundamental del calzado. En su

¹³ GASTROW. H. Moldes de inyección para plásticos, 100 casos prácticos, Plasic comunicación. 2 edición. España. 1992. 256p.

¹⁴ Disponible en http://www.acerosotero.cl/acero_aleado_sae_4340.html citado el 2 de agosto de 2017

¹⁵ Disponible en <https://es.scribd.com/document/225659312/ASTM-A240-pdf> citado el 2 de agosto de 2017

¹⁶ Disponible en <http://www.tubosybarrashuecas.com/acero-al-cromo-molibdeno-aisi-4140> citado el 2 de agosto de 2017

¹⁷ Disponible en <http://www.webconsultas.com/dieta-y-nutricion/dieta-equilibrada/micronutrientes/minerales/cobre-1836> citado el 2 de agosto de 2017

¹⁸ Disponible en <http://www.delta-trading.de/es/produktuebersicht/aluminium-schwermetalle/34345-en-aw-7022/> citado el 2 de agosto de 2017

composición este material contiene un 57% de cloro y un 43% proveniente de hidrocarburos. Para darle la característica a cada tipo de PVC se le agregan aditivos que pueden ser: plastificantes, estabilizantes, lubricantes, cargas, pigmentos, espumantes, absorbedores de rayos ultravioleta, ayudas de proceso, modificador de impacto, modificadores de viscosidad, antiestáticos, fungicidas y solventes¹⁹, todo esto con el fin de obtener el material más propicio para la fabricación de suelas, los cuadros 5, 6 y 7, muestran las propiedades físicas, químicas y térmicas respectivamente de este material.

Cuadro 5. Propiedades Químicas del PVC flexible

PROPIEDADES QUÍMICAS			
Propiedades	Especificación	Unidad	Método de análisis
Apariencia	Pellets Cilíndrico	-	Visual
Dureza	60 - 80	Shore D	ASTM D-2240
Índice de Fluidéz	45 - 50	°Celsius	ASTM D-1238
Densidad	1.22	g/cm ³	ASTM D-1505
Contracción	0.2	%	-

Fuente: Ficha técnica PVC flexible solicitada a la empresa Quimiplast ingeniería S.A.S

Cuadro 6. Propiedades físicas del PVC flexible

PROPIEDADES FÍSICAS		
Propiedades	Especificación	Unidad
Última fuerza extensible	30	MPa
Limitación de la tensión	90	MPa
Alargamiento en rasgón	20	%
Módulo de la elasticidad	3000	MPa
Fuerza de impacto	KB	MPa
Valor de impacto	4	KJ/m ²
Dureza de indentación	130	Shore D
Tensión del arrastramiento para la extensión del 1% después de 1000 h	19	MPa
Coefficiente de fricción deslizante	0.60	1 x 10 ⁻⁶ m

Disponible en www.plasticosferplast.com/files/producto/pvc.pdf citado el 29 de noviembre de 2016.

Cuadro 7. Propiedades térmicas del PVC flexible

PROPIEDADES TÉRMICAS		
Propiedades	Especificación	Unidad
Temperatura que derrite	160	°Celsius
Resistencia a la deformación térmica	75	°Celsius
Resistencia a la deformación en frío	-15	°Celsius
Capacidad específica de calor	1.17	kJ/kg
Conductividad calórica	0.14	W/K*m
Coefficiente de expansión térmica lineal	70	1x10 ⁻² K ⁻¹
Expansión térmica	20-100	°Celsius

Disponible en www.plasticosferplast.com/files/producto/pvc.pdf citado el 29 de noviembre de 2016.

¹⁹ Disponible en www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/pvc/materiasprimasyaditivos.html citado el 29 de noviembre de 2016

Como lo muestra el cuadro 7 la temperatura de fusión del PVC flexible es de 160°C, se requiere sobrepasar esta temperatura para que el material a inyectar cambie a estado líquido. La temperatura a la que fluye el PVC cuando sale de la boquilla de inyección e ingresa en el molde es de 200 a 250°C²⁰, con esta temperatura el material fluye correctamente, no es lo suficientemente alta para quemar el polímero, ni lo suficientemente baja para que se solidifique en los canales de inyección de llegada al molde.

2.3.2 Tamaños del pellet. Los fabricantes de polímeros, para facilitar el transporte, comercialización y posterior transformación en el producto final, empaican el producto en bultos de 25kg de pequeños pellets, los cuales se muestran en la imagen 15.

Imagen 15. Pellet de PVC



Fuente: disponible en <http://www.solostocks.com/venta-productos/termoplasticos-materiales-plasticos/pvc-cloruro-polivinilo/pvc-cloruro-de-polivinilo-granulos-flexibles-9497149> citado el 30 de noviembre de 2016.

Como se muestra en la imagen 15. El tamaño de cada pellet es de 3 mm de diámetro aproximadamente, el ángulo de reposo de este material se encuentra entre 55° y 60°, el cual se mide dejando el material en reposo sobre una superficie, cuando este deja de esparcirse, se mide su ángulo y así poder fabricar las paredes de la tolva correctamente, para evitar que el material quede atascado en la tolva a la hora de inyectar.

2.4 CAPACIDAD DE LA TOLVA

En la imagen 16, se muestra la geometría básica que tiene una tolva de alimentación de una máquina inyectora, la cual tiene capacidad para almacenar 25

²⁰ Disponible en <http://www.polyone.com/products/thermoplastic-elastomers/ tpe-knowledge -center/ injection-molding-guide/injection-molding-1> citado el 23 de noviembre de 2016.

kg de material sin procesar, lo que equivale a 1 bulto de PVC, el cual es distribuido por las diferentes empresas de materias primas para el procesamiento de plástico como es el caso de QUIMIPLAST INGENIERIA LTDA; la tolva es fabricada de Acero mediante el doblado y soldado, el ángulo de la sección cónica o piramidal se encuentra entre 60 y 70°, el cual es el ángulo de reposo de los pellets de PVC²¹ para evitar que el material quede estancado a la hora de inyectar.

Imagen 16. Tolva



La dosificación del material a la tolva se realiza manualmente, el operario tendrá que abrir el bulto de 25kg y dosificarlo en la tolva, para su posterior distribución en el cañón de inyección, a continuación, se muestra el cálculo de cuantas veces en promedio tendrá el operario que agregar material a la tolva, en un turno de 8 horas.

$$\text{Número de bultos} = \frac{\text{Cantidad de material total}}{\text{Cantidad de material en un bulto}}$$

$$\text{Número de bultos} = \frac{395.976\text{g}}{25.000\text{g}}$$

$$\text{Número de bultos} = 15,839 \approx 16$$

Según los resultados de la anterior ecuación, se necesitan 16 bultos por turno de 8 horas, es decir que el operario tendrá que alimentar la tolva 16 veces manualmente en el turno de trabajo.

2.5 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

La capacidad de inyección de la máquina, como se consultó con las empresas productoras de suelas del sector del Restrepo en Bogotá, no es suficiente para entregar los pedidos a tiempo, incumpliendo con un 30% en promedio de su

²¹ LEADBITTER.J, DAY.J,RYAN.J. PVC-Compounds, processing and applications. Rapra technology. United kingdown.1994.143p.

producción, dependiendo el periodo del año, sabiendo que la mayor demanda ocurre en los meses anteriores a Diciembre y el inicio de la temporada escolar²², a continuación, se muestran las tablas 2 y 3 comparando la capacidad de producción y la tabla 1 del porque tarda ese tiempo en inyectar un par de suelas:

Tabla 1. Tiempo de inyección promedio

Operación	Tiempo (s)
Inyección	40
Enfriamiento	15
Extracción	10
Total	65

Fuente: Tomado de Sueliplast. Empresa de fabricación de suelas ubicada en la ciudad de Bogotá en el sector del Restrepo.

En la tabla 1 se muestra el tiempo total de la inyección en cada molde, este parámetro se debe tener en cuenta para el diseño conceptual del proyecto, al ser de doble inyección se van a inyectar los dos moldes en el mismo tiempo en que se inyectaba uno.

Tabla 2. Capacidad de inyección con boquilla de salida simple

PRODUCCION PARES DE SUELAS TURNO 8 HORAS				
REFERENCIA	TALLAS	TIEMPO PROMEDIO DE INYECCION	CANTIDAD X HORA	CANTIDAD X TURNO
VANS	36	1 PAR CADA 8 MINUTOS	8	64
VANS	37	1 PAR CADA 8 MINUTOS	8	64
VANS	38	1 PAR CADA 8 MINUTOS	8	64
VANS	39	1 PAR CADA 8 MINUTOS	8	64
VANS	40	1 PAR CADA 8 MINUTOS	7	56
VANS	41	1 PAR CADA 8 MINUTOS	7	56
VANS	42	1 PAR CADA 8 MINUTOS	7	56
VANS	43	1 PAR CADA 8 MINUTOS	7	56
TOTAL			60	480

Fuente: Tomado de Sueliplast. Empresa de fabricación de suelas ubicada en la ciudad de Bogotá en el sector del Restrepo.

Como se muestra en la tabla 2 en un turno de 8 horas, se inyectan 480 pares de suelas de una sola serie de moldes, en una máquina inyectora rotativa con boquilla de salida simple y con un solo operario por turno, este valor se obtiene a

²² Entrevista con Elkin Andrés Yaya, jefe del departamento de diseño empresa Tridimensionales.

partir de un tiempo de trabajo de la máquina de 8 h por turno, a continuación, se calcula el aumento de la producción real con la implementación de la boquilla de doble salida, disminuyendo el tiempo de entrega de los pedidos de suelas, el siguiente estudio se realiza mediante el sistema MTM, utilizado en la industria denominada como la medida del tiempo de los métodos, el cual es el procedimiento para perfeccionar los métodos y establecer los tiempos de producción²³, el siguiente método utiliza símbolos para caracterizar cada proceso, en este caso no serán utilizados para la mejor comprensión del lector, en el cuadro 8 se muestran los movimientos del cuerpo para un operario y sus respectivos símbolos.

Cuadro 8. Movimientos del cuerpo

TIPO	SÍMBOLO	TMU	DISTANCIA	DESCRIPCIÓN	
MOVIMIENTO PIERNA-PIE	FM	8.5	A 4"	Gira sobre el tobillo.	
	FMP	19.1	A 4"	Con mucha presión.	
	LM__	7.1	A 6"	Gira la rodilla o cadera en cualquier dirección.	
1.2		Agregar 1" a cu			
MOVIMIENTO HORIZONTAL	PASO LATERAL	SS__C1	.	Usar el tiempo Alcanzar o Trasladar cuando sea menos de 12". Completar cuando la pierna dominante hace contacto con el piso.	
			17.0		
		0.6	Agregar 1" a cu		
		SS__C2	34.1		La otra pierna debe hacer contacto con el piso antes de que pueda realizarse el movimiento siguiente.
	1.1		Agregar 1" a cu		
	GIRAR EL CUERPO	TBC1	18.6	---	Completar cuando la pierna dominante hace contacto con el piso.
		TBC2	37.2	---	La otra pierna debe hacer contacto con el piso antes de que pueda realizarse el movimiento siguiente.
	CAMINAR	W__FT	5.3	Por pie	Sin obstáculos.
		W__P	15.0	Por velocidad	Sin obstáculos.
		W__PO	17.0	Por velocidad	Cuando hay obstrucción o peso.
MOVIMIENTO VERTICAL	SIT	34.7	---	Posición de pie.	
	STD	43.4	---	Posición sentado.	
	B,S,KOK	29.0	---	Indi., Agacharse, Arrod. sobre una rod.	
	AB,AS,AKOK	31.9	---	Surge de Indi., Agach, Arrod. sobre una rod.	
	KBK	69.4	---	Arrodillarse sobre las dos rodillas.	
	AKBK	76.7	---	Surge de Arrod. sobre las dos rod.	

Fuente: Tomado de <http://tareasingyaravi.blogspot.com.co/2015/09/tarea-1-ensayo-sistemas-predeterminados.html> citado el 25 de Julio de 2017.

²³ R. Anasofia, S. Germán, S. Manuel. Estudio de tiempos y movimientos. Universidad Nacional Experimental Politécnica. Venezuela. 2010. 39p.

Tabla 3. Tiempos de alistamiento y tiempos muertos

Proceso	Tiempo duración	Descripción del proceso
Alistamiento del Molde	100 s por el molde adicional	El molde antes de iniciar el proceso de inyección debe ser alistado, los tornillos que permiten el paso a través de los canales de inyección deben ser acomodados y los filtros para el escape de gases deben estar correctamente colocados, es necesario cambiar las variables del proceso en la máquina para cada talla de moldes.
Vaciado del material en la tolva	60 s por bulto de 25 kg	El operario debe vaciar los pellets de material almacenados en los bultos de 25 Kg, este proceso incluye caminar hacia la tolva de alimentación.
Situar cada par de suelas	6 s por cada par	El operario debe acomodar los pares inyectados de forma tal que sea fácil la recolección de estas por parte del empacador, este movimiento incluye un giro para colocar sobre una mesa.
Suplemento por fatiga	10% del tiempo normal de inyección	A medida que el turno laboral avanza el operario sufre cansancio, generando tiempos muertos por fatiga, para esta aplicación al tener que aumentar la producción de la maquina inyectora con el mismo operario se le aplica este suplemento.
Paradas programadas	56 horas al año	En las paradas programadas interviene el tiempo de mantenimiento, sabiendo que al año se laboran 8760h.

Fuente: Tomado de la planta productiva de la empresa de fabricación de suelas Tridimensionales.

En la tabla 3 se muestran tiempos de alistamiento y tiempos muertos que ocurren durante el proceso de inyección, se utiliza para determinar la producción total de la máquina inyectora con la boquilla de doble salida en al año.

Tabla 4. Peso de suelas en un turno

PESOS DE CADA PAR DE SUELAS POR TALLA				
REFERENCIA	TALLAS	PESO PROMEDIO POR PAR (g)	CANTIDAD X TURNO (pares)	PESO POR TURNO (g)
VANS	36	275	128	35200
VANS	37	310	128	39680
VANS	38	345	128	44160
VANS	39	380	128	48640
VANS	40	415	112	46480
VANS	41	450	112	50400
VANS	42	485	112	54320
VANS	43	520	112	58240
TOTAL		3180	960	377120

Fuente: Tomado de Sueliplast. Empresa de fabricación de suelas ubicada en la ciudad de Bogotá en el sector del Restrepo.

En la tabla 4. se muestran los pesos en promedio para cada par de suelas y el peso promedio de material de la producción que se realiza en un turno de 8 horas, con la boquilla de doble salida de la referencia Vans, se toma como base de cálculo que la producción será el doble a la presentada en una boquilla de salida

simple dando como resultado un peso de 377.120g de material por cada turno de producción.

A continuación, se realiza el cálculo de la cantidad de material consumida en un turno de 8h, “sabiendo que el desperdicio de material en cada ciclo de inyección es de aproximadamente del 5%”²⁴.

$$\text{Cantidad de material} = 377.120 \text{ g} + 5\%$$

$$\text{Cantidad de material} = 395.976 \text{ g}$$

A continuación, se calcula la capacidad de producción en un turno de 8 horas y en el año teniendo en cuenta las tablas 1,2 y 3;

Para la inyección de un par de suelas, se tiene como tiempo promedio del tiempo de inyección de 65 segundos, los moldes utilizados son de la talla 36 a 43 como se muestra en la tabla 2, se cuenta con dos moldes por cada talla para que la producción sea mas eficiente, estos se deben cambiar 8 veces en el turno con un tiempo de cambio de 300 segundos por par de moldes, el vaciado de la tolva se realiza 16 veces, un tiempo muerto de 6 segundos para situar la producción, se tiene un suplemento del 10% por fatiga del operario, a continuación, se calcula el tiempo total que dispone el operario para completar el ciclo de inyección;

$$tc = \frac{ti + tm + Sf}{2}$$

Donde;

tc = Tiempo total del ciclo por cada par

ti = Tiempo de inyección

tm = Tiempo muerto

Sf = Suplemento por fatiga

Es necesario dividir entre 2, ya que se inyectan dos pares simultáneamente, reemplazando los valores se obtiene

$$tc = \frac{(65 \text{ s} + 6 \text{ s}) + 10\%}{2}$$

$$tc = 39,05 \text{ s/par}$$

Para la inyección de cada par de suelas se requiere un tiempo de 78,1 segundos, al turno de 8 horas es necesario restarle el tiempo de alistamiento de los moldes y

²⁴ Entrevista con Elkin Andrés Yaya, jefe del departamento de diseño empresa Tridimensionales.

el tiempo de vaciado del material en la tolva, para determinar el tiempo disponible en el turno para la producción como tal;

$$td = tt - tcm - tv$$

Donde;

td = Tiempo disponible

tt = Tiempo total del turno

tcm = Tiempo de cambio del molde

tv = Tiempo de vaciado de la tolva

Sabiendo que el tiempo total del turno son 8 horas, el tiempo de cambio de molde es de 300s por cada talla y el tiempo de vaciado de la tolva de 60s, se reemplazan los valores y se obtiene un tiempo disponible de;

$$td = \left(8h * \frac{3600 s}{1h}\right) - (8 * 100 s) - (16 * 60 s)$$

$$td = 27.040 s$$

Con este tiempo disponible, se calcula el numero de pares producidos durante el turno, sabiendo que la inyección del par de suelas toma 78,1 s.

$$Pt = \frac{td}{tc}$$

Donde;

Pt = Producción total

td = Tiempo disponible

tc = Tiempo total del ciclo por cada par

$$Pt = \frac{27.040 s}{39,05 s/\text{par}}$$

$$Pt = 693 \text{ pares}$$

El aumento en porcentaje de la producción diaria es de aproximadamente;

$$\text{Aumento} = \frac{Pt}{P} - 1 \times 100\%$$

Donde;

Pt = Producción total con la boquilla de doble salida

P = Producción con boquilla simple

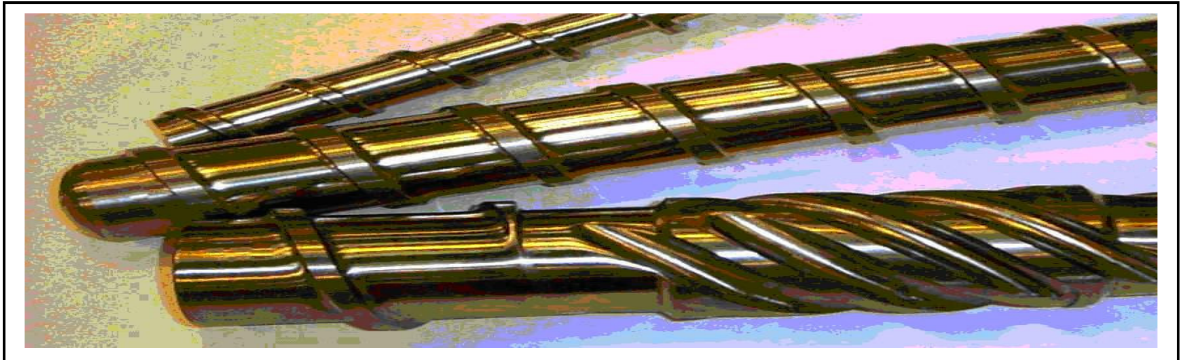
$$\text{Aumento} = \frac{693 \text{ pares}}{480 \text{ pares}} - 1 \times 100\%$$

$$\text{Aumento} \approx 45\%$$

2.6 TORNILLO SIN FIN

La configuración del tornillo sin fin depende fundamentalmente del material a transformar, para este caso, el PVC. En la imagen 17 se observa un tornillo sin fin compuesto por tres zonas exactamente definidas.

Imagen 17. Tornillo sin Fin



Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-i.html> citado el 25 de noviembre de 2016.

Es un sistema de manipulación y transporte de material extremadamente versátil, que puede ser empleado como dispositivo dosificador, o también como elemento que funciona como mezclador o agitador.

2.6.1 Clasificación. La característica fundamental de un tornillo sin fin es la presencia en su diseño de un tornillo giratorio o árbol que hace desplazar al material en la dirección de su eje longitudinal, gracias a la acción de empuje que ejercen unas hélices o paletas soldadas al eje del tornillo.

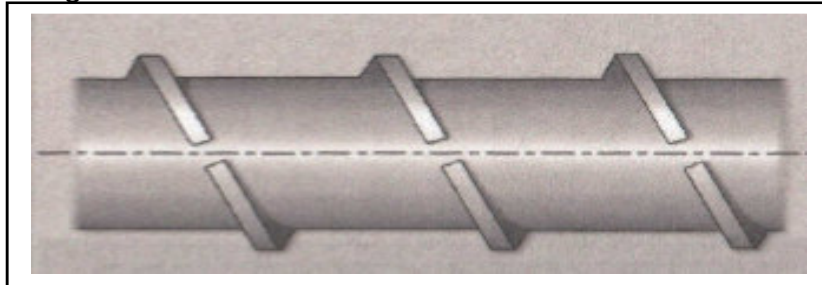
- ✓ Tornillo sin fin de hélice helicoidal
- ✓ Tornillo sin fin de hélice seccional
- ✓ Tornillo sin fin de paletas cortadas
- ✓ Tornillo sin fin de paletas tipo cinta
- ✓ Tornillo sin fin de palas

2.7 MEZCLADOR

Las máquinas inyectoras desempeñan una gran variedad de funciones dentro de las cuales se considera como una de las más importantes la generación de presión y el transporte del polímero fundido. Si la inyectora se alimenta con polímeros en estado sólido (gránulos), se trata de una inyectora de plastificación y, por lo tanto, surgen dos funciones adicionales: transporte de sólidos y plastificación.

Para el diseño de la maquina será utilizado un mezclador para el transporte del material a utilizar el cual es el PVC, estos mezcladores poseen un buen desempeño para aditivos o pigmentos y se clasifican según su desempeño.

Imagen 18. Mezclador

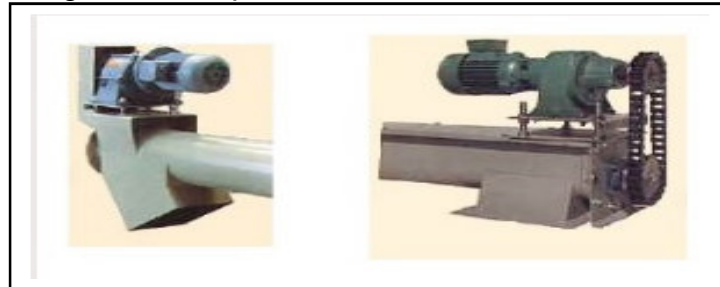


Fuente: disponible en <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>. citado el 25 de noviembre de 2016

2.8 COMPONENTES DEL SISTEMA

2.8.1 Grupo Motriz. Para el accionamiento de giro del eje del tornillo es necesaria la instalación en el sistema del transportador de un grupo motriz, normalmente de accionamiento eléctrico (ver imagen 19).

Imagen 19. Grupo motriz



Fuente: disponible en <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>. citado el 25 de Noviembre de 2016.



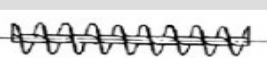

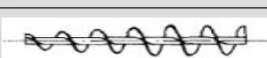



El grupo motriz está formado por un motorreductor con base de fijación sobre una bancada solidaria a la carcasa, efectuándose la unión de la manguera del reductor con el eje del tornillo sin fin mediante un acoplamiento.

En los casos de tornillo de mayor potencia es recomendable incluir un acoplador hidráulico entre el motor y el reductor de velocidad, con objeto de conseguir un arranque suave del sistema a plena carga.

2.8.2 Hélice y eje. Para el manejo de materiales y productos normales, la hélice de un transportador de tornillo está normalmente fabricada en chapa de acero al carbono de 3 a 4 mm de espesor. Su diámetro suele ser inferior en unos 0,2 mm al de la carcasa, ya que no deberá rozar las paredes de la misma cuando el eje del tornillo gire. El tipo de hélice varía en relación con el producto a transportar y de su función.

En la Tabla 5 se muestran los distintos tipos de hélices, según el tipo de material a transportar y de la función a realizar;

Tabla 5. Tipos Hélices

Tipo de Hélice	Tipo de Material para Transportar / Aplicación	Figura
Hélice continua, de paso igual al diámetro	Tipo de hélice normal para transporte de sólidos	
Hélice de gran paso, de 1,5 a 2 veces el diámetro	Se utiliza para productos que fluyen muy bien	
Hélice de pequeño paso, normalmente la mitad del diámetro	Se utiliza en tornillos sin fin inclinados hasta unos 20-25°, o cuando se quiere un prolongado tiempo de permanencia del producto en el transportador con el objeto de enfriarlo, secarlo, etc.	
Hélice de paso variable	Utilizado para compresión de productos, como es el caso de las prensas de tornillo.	
Hélice de diámetro variable	Se utiliza como extractor dosificador de sólidos de tolvas.	
Hélice de cinta	Tipo de hélice adecuada para productos que producen atascamiento.	
Hélice mezcladora, con dos hélices tipo cinta, uno a derecha y otro a izquierda	Se utiliza como equipo mezclador	
Hélice mezcladora, con eje provisto de paletas	Se utiliza como equipo mezclador	

Fuente: disponible en <http://ingemecanica.com/tutorialsemanaltutorialn143.html>.

3. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

En este capítulo se plantean diferentes alternativas posibles para la ejecución del diseño funcional del sistema de inyección, selección de boquilla de salida y la doble boquilla de inyección, se evalúan según requerimientos y parámetros funcionales de la operación de la máquina inyectora, para llegar a la selección de la opción que sea más adecuada.

3.1 SISTEMA DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

La selección de la alternativa adecuada para el diseño se hace a partir de una división en subconjuntos, en cada una de estas se proponen alternativas para el desarrollo de cada una. Se realiza por medio de un sistema de evaluación, en el cual se utiliza el método de ponderación lineal (Scoring) este método presenta una manera eficaz para la identificación y selección de la mejor alternativa en un problema de decisión multicriterio, este se lleva a cabo por medio de los siguientes pasos;

1. Identificación de la meta del problema
2. Identificación de alternativas
3. Lista de criterios a analizar en la toma de decisión
4. Asignación de la ponderación para los criterios a evaluar
5. Establecer el nivel de satisfacción de cada una de las alternativas
6. Calcular el promedio para cada una de las alternativas

Se empleará la siguiente ecuación para la aplicación del método:

$$S_j = \sum_i W_i r_{ij}$$

Dónde:

r_{ij} = rating de la alternativa j en función del criterio i

W_i = ponderación para cada criterio i.

S_j = score para la alternativa j.

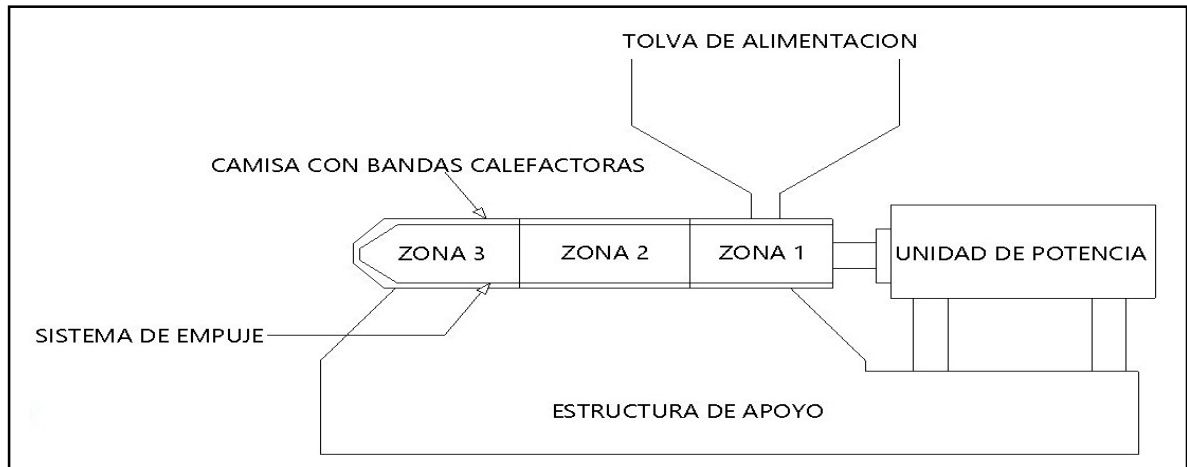
La selección cuenta con una asignación de ponderación con puntuaciones que van de 1 hasta 5 teniendo en cuenta que 1 es muy poco importante y 5 muy importante, posteriormente se establece una calificación de rating de satisfacción la cual va desde 1 hasta 9 teniendo en cuenta que 1 es extra bajo y 9 extra alto. Estas puntuaciones serán asignadas según criterio del conocimiento adquirido por parte de los autores en el transcurso de su carrera y la revisión bibliográfica de libros, tesis y artículos relacionados con la inyección de plásticos. Para efectuar esta evaluación se debe realizar una multiplicación entre el número de

ponderación y el rating de satisfacción asignado para cada una de las alternativas. Al final se realiza una sumatoria de los valores por criterio y se selecciona la alternativa más idónea para realizar el diseño.

3.2 SISTEMA DE INYECCIÓN

3.2.1 Diseño conceptual y funcional sistema de inyección

Imagen 20. Sistema de inyección



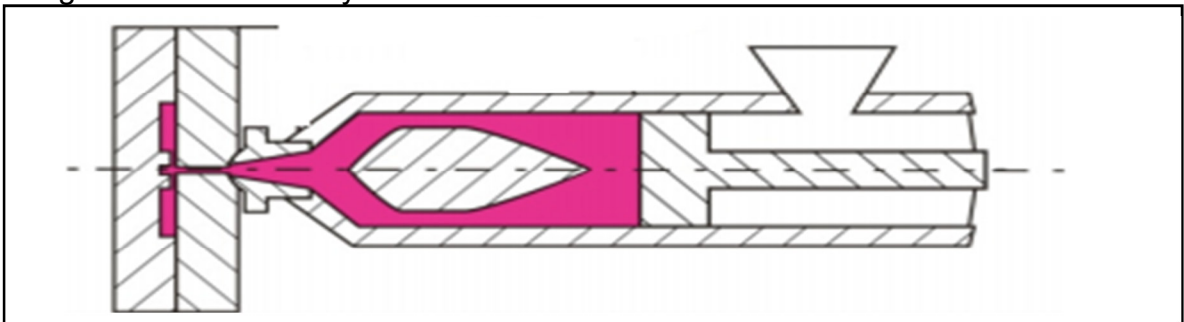
La imagen 20 muestra un esquema del sistema de inyección. El funcionamiento comienza en la tolva de alimentación, el material ingresa en forma de pellets, la unidad de potencia que puede ser de motor eléctrico, motor hidráulico o pistón de empuje, mueve el material dentro de la camisa, las bandas calefactoras que están en contacto con la camisa, la calientan y por medio de transferencia de calor funden el material, llevándolo a temperatura y viscosidad adecuadas para que fluya fácilmente, luego pasa por la boquilla y el sistema de doble salida, posteriormente es vaciado a los moldes cuyas cavidades contienen la geometría de la suela a inyectar.

La presión de inyección la da la unidad de potencia y el sistema de empuje, debe ser la adecuada para llenar las cavidades de los dos moldes, que están montados en la salida de la boquilla de doble salida. La transferencia de calor desde las bandas calefactoras hacia el PVC debe ser adecuado, calentando homogéneamente el material para que no sufra quemaduras o contenga partículas solidificadas por falta de calentamiento, el material debe ser mezclado dentro de la camisa homogéneamente más aun cuando se requiere de un color secundario, evitando así manchas de colores que no fueron mezclados homogéneamente en el producto final. El mantenimiento del sistema debe hacerse lo más fácil posible y a bajo costo.

3.2.2 Alternativas. A continuación, se muestran las alternativas para elegir el sistema de inyección más apropiado para el diseño de la máquina inyectora. Los parámetros evaluados para elegir la mejor alternativa son: Temperatura, homogenización del material dentro de la cámara de inyección, presión de inyección, complejidad del sistema y costos.

3.2.2.1 Primera alternativa pistón de inyección. En este sistema el material entra desde la tolva a la cámara de calefacción donde es fundido, luego es empujado por baches o bloques por el pistón hacia las cavidades del molde, presentando una serie de parámetros de trabajo a tener en cuenta para su posible elección como alternativa de sistema de inyección.

Imagen 21. Pistón de inyección



Fuente: BELTRÁN. Maribel, MARCILLA. Antonio. Tecnología de polímeros. España Universidad de Alicante. 2012. 276p.

En la imagen 21 se muestra el esquema de la máquina de pistón. Este sistema presenta calentamiento no uniforme del material, generando quemaduras del material a inyectar en lugares que están en contacto directo con el cilindro de calefacción, esto se debe a que el material no gira, sino que es empujado por el pistón.

Adicionalmente, la mezcla y homogenización del PVC fundido es deficiente. Eventualmente, cuando es necesario mezclar diferentes colores del material en la cámara de calefacción para obtener un color secundario, no son mezclados uniformemente, ya que este es empujado por el pistón y no está en movimiento de rotación para poder ser mezclado homogéneamente.

La presión de inyección obtenida por este sistema es adecuada para la inyección de suelas, ya que es entregada por la bomba de desplazamiento positivo y se puede controlar mediante uso de válvulas; la presión es llevada hacia el pistón mediante el aceite hidráulico y finalmente del pistón al material fundido para llenar las cavidades del molde.

Para poder controlar el volumen de material a inyectar se necesita una serie de elementos para controlar el avance o retroceso del vástago del pistón, la

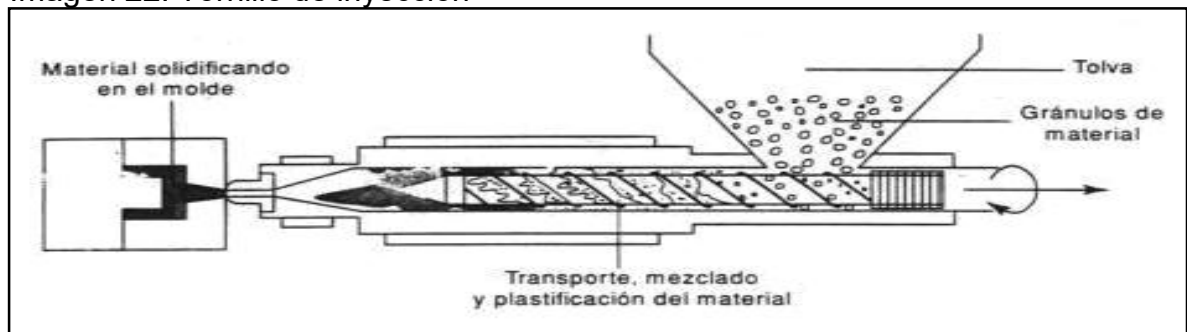
complejidad del sistema aumenta cuando cambia de molde a inyectar, ya que cada molde de suelas está dado por su talla, haciendo que el volumen necesario para inyectar cada molde sea diferente.

El montaje y mantenimiento del sistema no es tan complejo, ya que solo se compone del pistón hidráulico que va conectado a la cámara de calefacción y que se puede desmontar fácilmente, ayudando a la fácil reparación del sistema. La probabilidad de que se presente taponamiento por material es muy baja, porque no hay un elemento que obstruya el paso como en el caso de existir tornillo, en el que el material se puede pegar a la superficie de este.

Los costos de construcción de este sistema no son tan elevados porque no se necesitan métodos especiales de mecanizado para fabricar los elementos.

3.2.2.2 Segunda alternativa tornillo de inyección. En este sistema se incorpora un tornillo sin fin, el cual es movido mediante la transmisión de potencia desde un motor que puede ser hidráulico o eléctrico. La transmisión de potencia se hace mediante engranes, poleas o un acople del motor al tornillo; el calentamiento del PVC es realizado por bandas calefactoras o resistencias que están montadas a la camisa del tornillo y por transferencia de calor funden el material a la temperatura de trabajo, las termocuplas conectadas a la resistencia son las que controlan esta temperatura.

Imagen 22. Tornillo de inyección



Fuente: disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/06/inyección-de-materiales-plasticos-i.html> citado el 9 de febrero de 2017.

En la imagen 22 se observa el esquema de la máquina de tornillo, el calentamiento de este sistema es uniforme en todo el material, ya que este está en constante giro durante el tiempo de inyección, lo que produce contacto directo con la camisa del tornillo que le transmite por conducción forzada el calor necesario para fundirlo.

Al igual que el calentamiento uniforme en el PVC, la mezcla y homogenización es la ideal para la aplicación, el movimiento de rotación ayuda a mezclar homogéneamente los colores en caso tal de necesitar un color secundario.

El tornillo genera la presión necesaria para la inyección del material, aunque es el sistema de mayor utilización en las maquinas inyectoras existe una gran probabilidad de que el material se devuelva cuando se está inyectando, generando desperdicios de material y demoras en la producción, esto puede ser controlado mediante el uso de una válvula.

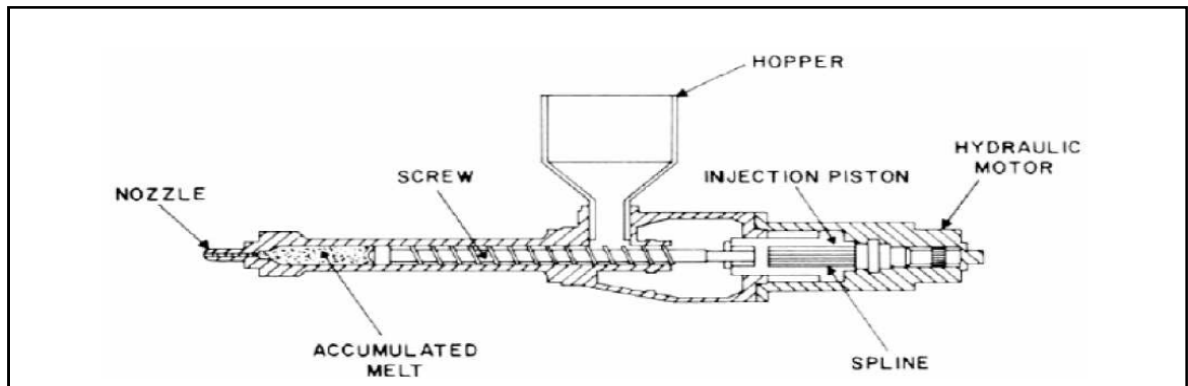
Este sistema permite controlar la cantidad de material a inyectar ya que puede aplicar la cantidad necesaria solamente controlando los giros del motor que impulsa al tornillo. En inyección de suelas este es un parámetro fundamental a tener en cuenta por la curva de pedidos de los clientes, ya que estos pedidos no son siempre de la misma talla y por ende el volumen a inyectar cambia según la talla.

El mantenimiento de este sistema se hace con mayor frecuencia que en el sistema de pistón ya que si se presenta quemado del por calentamiento excesivo se pega a la superficie del tornillo causando taponamiento del material, lo que obliga a tener que desmontar la camisa del tornillo y destapar el sistema, este fenómeno se presenta por calor excesivo, por no desocupar el tornillo completamente cuando se termina la operación o cuando el operario hace una mezcla de diferentes materiales como PVC y TR.

Los costos de fabricación en este sistema se elevan con respecto al sistema de pistón de inyección, ya que se necesita un proceso de arranque de viruta por medio de mecanizado para fabricar el tornillo sin fin, con tolerancias y ajustes dimensionales específicos que incrementan los costos.

3.2.2.3 Tercera alternativa tornillo-pistón. En este sistema se acoplan los dos mecanismos mencionados anteriormente con el fin de hacer más eficiente el proceso de inyección. El PVC ingresa a la tolva, cae en estado sólido a la cámara de calefacción que se compone del tornillo sin fin y camisa con sus respectivas bandas calefactoras que se encargan de fundir el material, el tornillo gira empujando y acumulando el volumen de material preestablecido para el llenado de las cavidades del molde, posteriormente el pistón empuja el tornillo cuando este deja de girar y se hace el vaciado del material con la presión necesaria para realizar el proceso.

Imagen 23. Sistema tornillo-pistón



Fuente: disponible en <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Polimeros.Leccion11.Moldeoinyeccion.2013.pdf> citado el 10 de febrero de 2017.

En la imagen 23 se muestra el esquema de la máquina que funciona con el sistema de tornillo-pistón, en este se presenta calentamiento uniforme del material, ya que se cuenta con un tornillo de inyección, sus propiedades están descritas en el anterior sistema, presentando al igual que en el calentamiento una mezcla ideal para el proceso.

Este tipo de montaje tornillo-pistón es la que mejores características presenta para la inyección de suelas, al unir los dos sistemas combina sus parámetros de trabajo, es decir, compensa las falencias del otro y por ende el sistema trabaja con mayor eficiencia, como es en el caso de los parámetros como: mezcla, presión, calentamiento y el control del volumen de PVC a inyectar.

Los costos para realizar la fabricación, montaje y mantenimiento para esta alternativa son los más elevados, porque se suman los costos del tornillo y del pistón. Su complejidad hace que el mantenimiento se eleve en dificultad, ya que si se presenta algún inconveniente en alguno de los dos subsistemas se tendrán que desmontar para su posterior reparación, elevando el tiempo de parada y disponibilidad.

3.2.3 Descripción criterios de evaluación. Para elegir la alternativa en el sistema de inyección que mejore propiedades presentes y que satisfaga las necesidades del cliente, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de evaluación:

- ✓ Calentamiento: Este factor califica el calentamiento que le proporciona el sistema al material para que este llegue a su temperatura de trabajo sin que se presenten quemaduras o material sólido debido a incorrecto calentamiento. Se dará calificación de 9 a la alternativa que permita controlar mejor el calentamiento del material.

- ✓ Calidad de mezcla: En este factor se tiene en cuenta que la mezcla del material sea homogénea cuando se desea obtener un color secundario a partir de cierto número de colores primarios, ya que los pedidos de suelas en muchas ocasiones así lo demandan. Se dará calificación de 9 a la alternativa que permita homogeneidad de la mezcla más alta.
- ✓ Presión de inyección: Se tiene en cuenta el valor de la presión con la cual se inyecta el material hasta el molde y cómo en cada alternativa se varía este valor haciéndolo favorable o no al proceso. Se dará calificación de 9 a la alternativa que proporcione presión adecuada al sistema.
- ✓ Complejidad: Lo que se evalúa con la complejidad en el sistema de inyección es lo fácil o difícil para controlar las variables en el proceso como lo es el volumen de material a inyectar o el montaje y desmontaje del sistema a la máquina. Se dará calificación de 9 a la alternativa en la cual sea más fácil controlar las variables del proceso y la que menos complejidad presente a la hora de realizar su ensamble y montaje.
- ✓ Costos: Al ser un proyecto donde su aplicación está en la industria de transformación del plástico, las empresas tienen muy en cuenta este concepto, lo que significa que estas evalúan con qué facilidad se recupera la inversión. Se dará calificación de 9 a la alternativa que genere menos costos
- ✓ Mantenimiento: Lo hace un factor de gran importancia, ya que dependiendo de la mantenibilidad de cada alternativa se incrementará su disponibilidad y por ende las ganancias para la empresa, ya que se estarían evitando paradas de emergencia o demoras en el mantenimiento de la máquina. Se dará calificación de 9 a la alternativa en la que el mantenimiento sea más fácil.

3.2.4 Selección alternativa sistema de inyección. Para la selección del tipo de sistema de inyección a utilizar, se tienen en cuenta los parámetros de cada alternativa con una puntuación que va desde 1 hasta 5 (1 muy poco importante y 5 muy importante), posteriormente se analizan las alternativas planteadas estableciéndoles una calificación de satisfacción la cual va desde 1 hasta 9 (1 es extra bajo y 9 extra alto). Se debe realizar una multiplicación entre el número de ponderación y el rating de satisfacción asignado para cada una de las alternativas. Al final se realiza una sumatoria de los valores por criterio y se selecciona la alternativa más idónea para realizar el diseño.

En la tabla 6 se presentan los valores para realizar la ponderación de los criterios, 1= muy poco importante, 2= poco importante, 3= importancia media, 4= algo importante, 5= muy importante.

Tabla 6. Asignación de ponderación para los criterios a evaluar

Criterios	Ponderación
Calentamiento	4
Calidad de la mezcla	2
Presión de inyección	5
Complejidad	3
Costos	4
Mantenimiento	3

En la tabla 7 se presentan los valores de rating para las alternativas, 1 = extra bajo, 2 = muy bajo, 3 = bajo, 4 = poco bajo, 5 = medio, 6 = poco alto, 7 = alto, 8 = muy alto, 9 = extra alto.

Tabla 7. Asignación del rating para las alternativas

Criterios	1	2	3
Calentamiento	5	9	9
Calidad de la mezcla	4	9	9
Presión de inyección	9	8	9
Complejidad	9	8	5
Costos	8	6	4
Mantenimiento	8	7	6

Tabla 8. Calculo del Score para cada alternativa

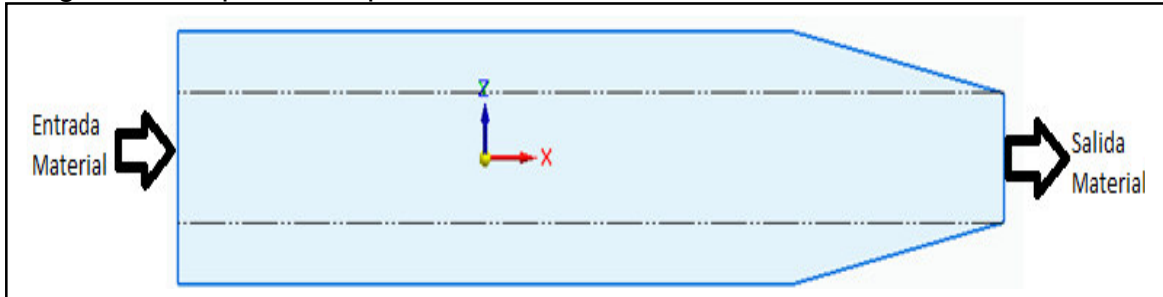
Criterios	Ponderación	1	2	3
Calentamiento	4	5	9	9
Calidad de la mezcla	2	4	9	9
Presión de inyección	5	9	8	9
Complejidad	3	9	8	5
Costos	4	8	6	4
Mantenimiento	3	8	7	6
SCORE		156	163	148

En la tabla 8 se aprecia que utilizando el método lineal (Score), establecer la ponderación de los criterios y la asignación del rating para las alternativas, multiplicar cada uno de los factores y luego se suman de tal forma que la alternativa que arroje el mayor Score sea la más idónea para implementar. En los cuadros se observa que la mejor alternativa a partir del mayor puntaje es el sistema de inyección a utilizar es la número 2, tornillo sin fin.

3.3 BOQUILLA

3.3.1 Diseño conceptual y funcional para boquilla

Imagen 24. Esquema Boquilla



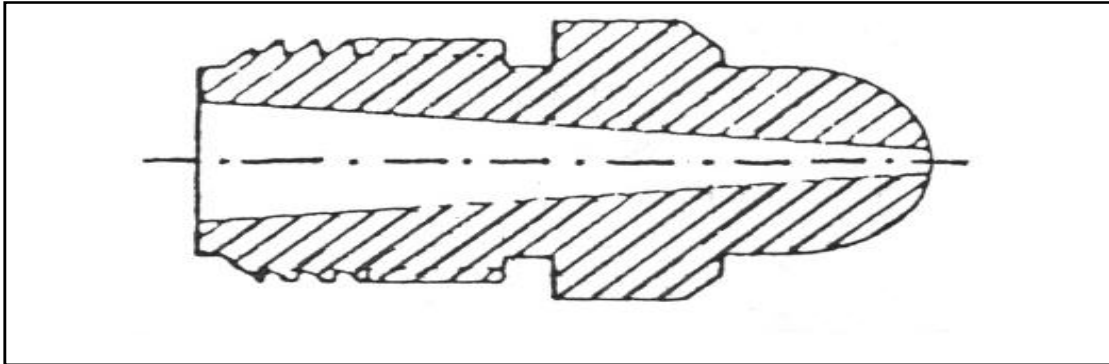
En la imagen 24 se muestra un esquema de la boquilla, la cual conecta al sistema de doble salida con el sistema de inyección de la máquina. El sistema de inyección se encuentra a la parte izquierda de la boquilla y el sistema de doble salida a la parte derecha, su función es la de proveer el flujo de material hasta los canales de inyección del molde, este material a la salida debe contar con las características adecuadas de presión, temperatura y caudal para obtener un producto final que cumpla con las necesidades del cliente.

La presión debe ser la ideal, si es muy alta el material va a tender a devolverse por los canales de inyección o va a buscar salida por el cierre del molde, generando rebabas; si la presión es muy baja el material se va a obstruir los canales del sistema de la doble boquilla de salida, generando demoras en la producción. La temperatura determina que el material llegue con la viscosidad adecuada para que fluya fácilmente por el sistema de doble salida.

3.3.2 Alternativas. Para elegir la alternativa de la boquilla, que cumpla con las necesidades del diseño de la máquina inyectora de doble salida, se plantearon las siguientes alternativas:

3.3.2.1 Primera alternativa boquilla Cónica. Este tipo de boquilla es muy común en las maquinas inyectoras, su función principal es evitar el goteo, tiene bajo costo, presenta caudal uniforme respecto a la salida del material de la máquina, la velocidad aumenta proporcionalmente a medida en que el material pasa a través de ella, por consiguiente, la temperatura se mantiene uniforme, tiene una instalación práctica ya que solo se enrosca en la punta del cañón, se presenta dificultad el diseño al realizar el mecanizado de su geometría.

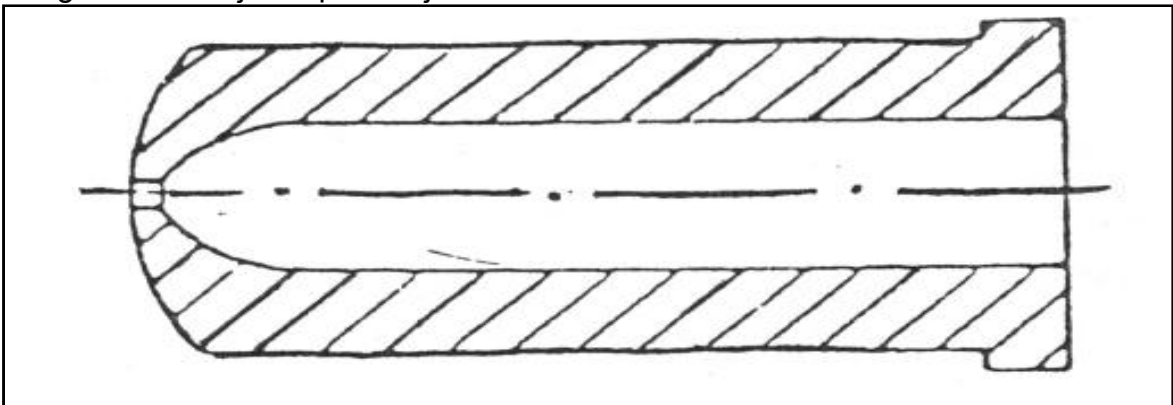
Imagen 25. Boquilla Cónica



Fuente: disponible en [http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/accesorios hidraulicos/losdiferentestiposdeboquillas/losdiferentestiposdeboquillas.html](http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/accesorios_hidraulicos/losdiferentestiposdeboquillas/losdiferentestiposdeboquillas.html)
Citado el 10 de febrero de 2017

3.3.2.2 Segunda alternativa boquilla de flujo libre. Es conocida también como prolongada, su mayor característica es ofrecer menor resistencia al paso del material, por tal razón su caudal se mantiene constante con relación al del tornillo inyector, lo que genera una relación longitud/diámetro menor a los otros tipos de boquillas, ayudando a conservar la presión y temperatura, en este tipo de boquillas cuando existe relación longitud/diámetro elevada se facilita la colocación de bandas calefactoras para evitar la solidificación del material, el proceso de mecanizado de dicha pieza puede resultar practico debido a que su geometría no presenta muchas dificultades en su diseño, por consiguiente su costo es bajo para la implementación en la máquina.

Imagen 26. Dibujo boquilla flujo libre

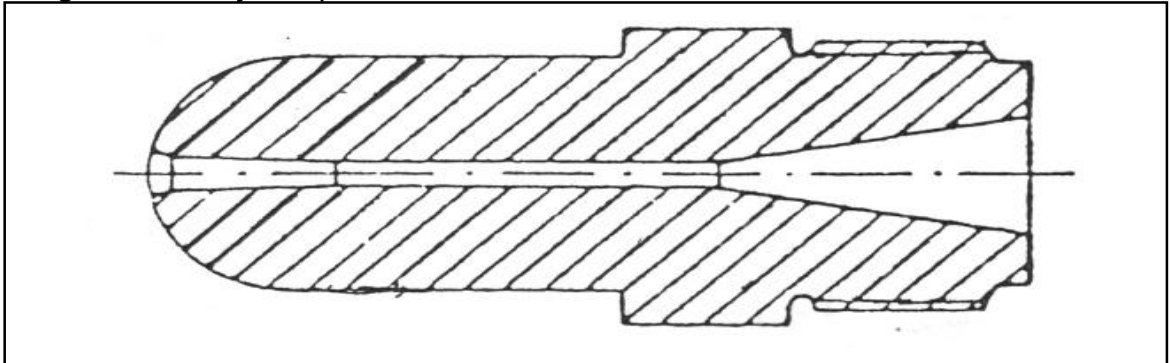


Fuente: disponible en <http://investigadores.ciqa.mx/maestria/docs/document5.pdf>
citado el 10 de febrero de 2017

3.3.2.3 Tercera alternativa boquilla de conicidad invertida. Su principal aplicación está en los materiales de baja viscosidad, donde se presentan goteos entre ciclos de inyección, al trabajar a baja temperatura el caudal del material a través de esta pieza es uniforme, el material solidifica en la estrangulación evitando el goteo, el

tapón generado allí se funde por fricción al realizar la siguiente inyección, permitiendo el paso del material. Su costo es un poco más alto ya que el mecanizado de esta pieza es complejo debido a su geometría interna, en la imagen 27 se puede observar el esquema de la boquilla en la que el material fluye de izquierda a derecha.

Imagen 27. Dibujo boquilla cónica invertida



Fuente: disponible en <http://investigadores.ciqa.mx/maestria/docs/document5.pdf> citado el 10 de febrero de 2017

3.3.2.4 Cuarta alternativa boquilla con cierre mecánico. La boquilla posee una válvula de aguja, donde se une un tope para realizar el cierre, esto minimiza la salida de material no deseado lo que ahorra material y el proceso se realiza automáticamente. La presión de inyección actúa sobre el orificio de la aguja de cierre y garantiza el flujo libre del material fundido, por tal razón se obtiene un caudal constante a lo largo de la pieza. Posee buena resistencia al calor por ello soporta las altas temperaturas con la que el material sale del tornillo inyector, el proceso de mecanizado de la boquilla tiene un alto grado de complejidad ya que lleva una aguja en su interior la cual permite y bloquea el paso del material, por tal razón es una de las cuales presenta un costo muy elevado, ver imagen 28.

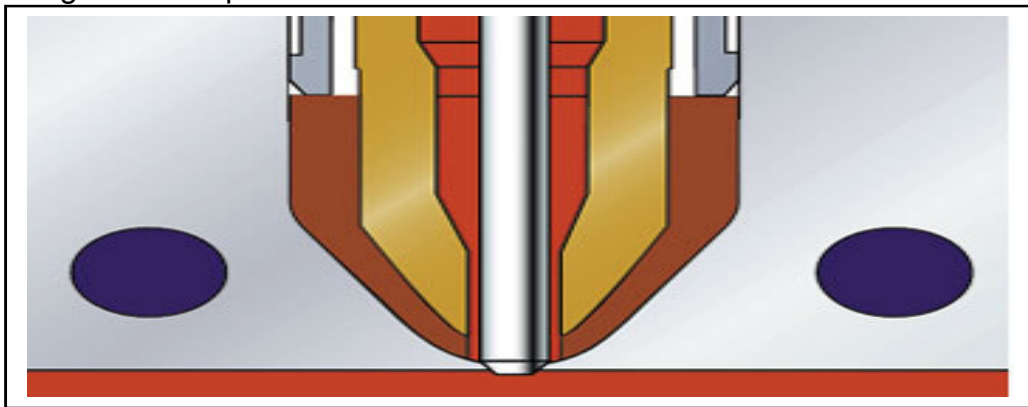
Imagen 28. Boquilla con cierre mecánico



Fuente: disponible en <http://www.mhs-hotrunners.com/es/valvegating.html> consultada el 10 de febrero de 2017

3.3.2.5 Quinta alternativa boquilla con válvula cónica. Este tipo de boquillas está diseñado para prevenir el derrame de material, además no permite generar grumos en la punta de la boquilla debido a que su sistema permite que se selle el punto de inyección mientras el molde llegue a su posición. El caudal con el que el material atraviesa esta pieza es constante, su velocidad va en aumento por la geometría interna por esto su temperatura se va a mantener a lo largo de la pieza, su mecanizado puede llevar algunas complicaciones por el diseño de su geometría, el mantenimiento es un punto débil ya que debe ser constante para asegurar un correcto funcionamiento, el costo de esta pieza puede resultar más elevado que los anteriores ya mencionados.

Imagen 29. Boquilla con válvula cónica



Fuente: disponible en <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/14356-Que-un-sistema-de-camara-caliente-con-obturador.html> citado el 10 de febrero de 2017

3.3.3 Descripción criterios de evaluación. Para elegir la alternativa que mejor se adapte al diseño de la boquilla, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de evaluación;

- ✓ Temperatura: Este factor califica el calentamiento que va a sufrir la boquilla al momento en que el material fundido pasa a través de ella sin que se presenten quemaduras o alteración de la pieza por acción de la temperatura. Se le da una calificación de 9 a la alternativa que controle mejor la temperatura.
- ✓ Caudal: Este factor determina la cantidad de fluido que circula a través de la sección de la boquilla por unidad de tiempo, se evalúa el flujo del material por cada una de las boquillas para determinar cuál de las expuestas es la ideal para implementarla en la máquina. Se le da una calificación de 9 a la alternativa en el cual el paso de material no se vea obstruido por la geometría de la boquilla.
- ✓ Costos: Al ser un proyecto de aplicación industrial de transformación del plástico, las empresas valoran este concepto, lo que significa que estas

evalúan con qué facilidad se recupera la inversión. Se da calificación de 9 a la alternativa que menos costos genere a la hora de la construcción de la boquilla.

- ✓ Complejidad de operación: Lo que se evalúa con la complejidad en la selección de boquillas es que fácil o difícil en controlar el material, su instalación, su manipulación y su geometría para poder ser fabricada. Se le da calificación de 9 a la alternativa que presente operación con menos dificultades.

3.3.4 Selección de alternativa para boquilla. En la selección del tipo de boquilla a utilizar primero se ponderan los criterios de evaluación con una puntuación que va de 1 a 5 (1 muy poco importante y 5 muy importante), posteriormente se analizan las alternativas planteadas estableciéndoles una calificación de satisfacción que va de 1 a 9 (1 es extra bajo y 9 extra alto), después se multiplica el número de ponderación y el rating de satisfacción asignado para cada una de las alternativas. Al final se realiza una sumatoria de los valores por criterio y se selecciona la alternativa más idónea para el diseño:

En la siguiente tabla 9 se presentan los valores para realizar la ponderación de los criterios, 1= muy poco importante, 2= poco importante, 3= importancia media, 4= algo importante, 5= muy importante.

Tabla 9. Asignación de ponderación para los criterios a evaluar

Criterios	Ponderación
Temperatura	5
Caudal	4
Costos	5
Complejidad	3

En la siguiente tabla 10 se presentará los valores de rating para las alternativas, 1 = extra bajo, 2 = muy bajo, 3 = bajo, 4 = poco bajo, 5 = medio, 6 = poco alto, 7 = alto, 8 = muy alto, 9 = extra alto.

Tabla 10. Asignación del rating para las alternativas

Criterios	1	2	3	4	5
Temperatura	7	7	7	7	7
Caudal	9	9	7	8	7
Costos	7	8	6	5	5
Complejidad	8	9	7	6	5

Tabla 11. Calculo del Score para cada alternativa

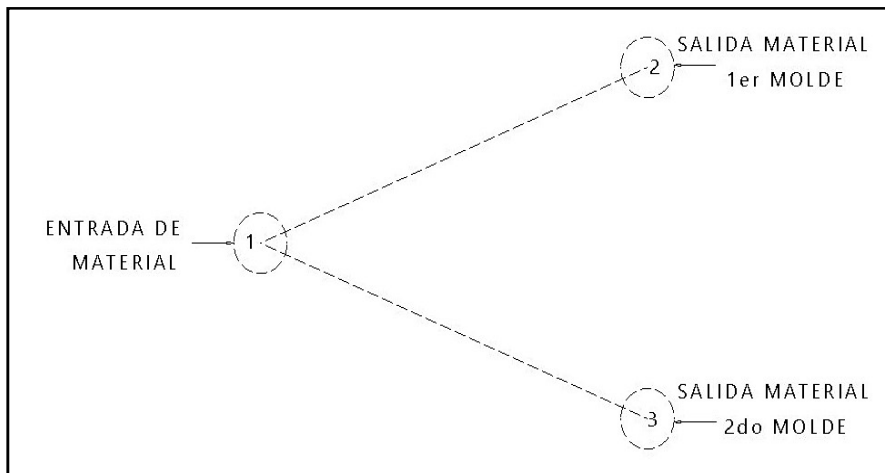
Criterios	Ponderación	1	2	3	4	5
Temperatura	5	7	7	7	7	7
Caudal	4	9	9	7	8	7
Costos	5	7	8	6	5	5
Complejidad	3	8	9	7	6	5
SCORE		130	138	114	110	103

La tabla 11 por medio del método lineal (Score), en el que después de ponderar los criterios y la asignación del rating para las alternativas se multiplican por cada uno de los factores y luego se suman. La alternativa que arroja el mayor Score es la más idónea para implementar, se concluye a través de la tabla que la alternativa a elegir sobre qué tipo de boquilla a utilizar es la numero 2, boquilla de flujo libre.

3.4 ALTERNATIVAS PARA LA BOQUILLA DE DOBLE SALIDA

3.4.1 Diseño conceptual y funcional boquilla de doble salida

Imagen 30. Esquema boquilla de doble salida



En la imagen 30 se muestra un esquema de la boquilla de doble salida, la cual conecta el sistema de inyección con los canales de inyección del molde, la boquilla se encuentra a la parte izquierda del sistema de doble salida y el molde con sus cavidades a la parte derecha. Su función es la de proveer de material a los dos moldes con características funcionales como presión, caudal, temperatura y transferencia de calor para lograr un resultado óptimo.

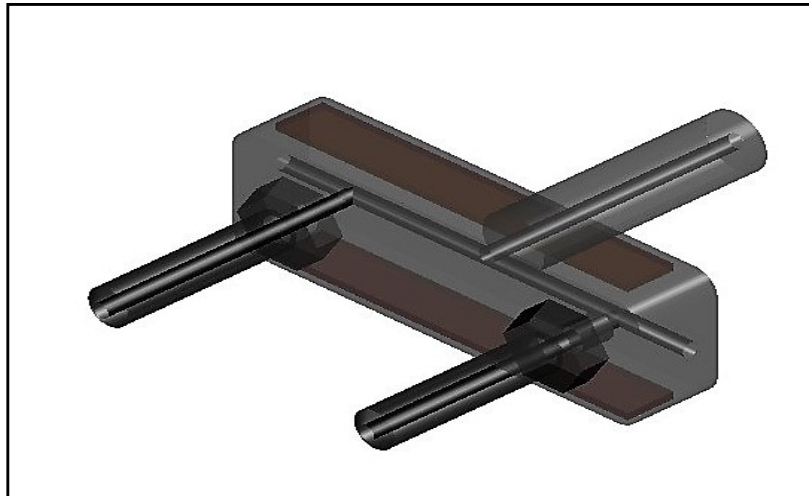
La presión debe ser la adecuada ya que si es muy alta el material va a tender a devolverse por los canales de inyección o va a buscar salida por el cierre del molde, generando rebabas, si la presión es muy baja el material no alcanza a llenar las cavidades del molde generando piezas inyectadas que no son

conformes a los requerimientos del cliente. La presión para los dos moldes debe ser la misma al igual que el caudal y la temperatura, la geometría de construcción de la boquilla de doble salida no debe permitir que haya turbulencia la cual genera pérdidas de presión y velocidad además de calentamientos excesivos.

3.4.2 Alternativas. A continuación, se muestran las alternativas de diseño para elegir el sistema de boquilla de doble salida que se debe conectar a la unidad de inyección de la máquina a los moldes que serán inyectados, normalmente se hace con una boquilla de salida simple. La alternativa elegida será la que mejores características presente para que se adapte a las condiciones de diseño exigidas.

3.4.2.1 Primera alternativa para el diseño de boquilla de doble salida. Sistema de canales con calentamiento por medio de resistencias. En este sistema el calentamiento será realizado por medio de bandas calefactoras (resistencias), para evitar pérdidas de calor durante el recorrido del material hacia las cavidades del molde y así prevenir la solidificación del material.

Imagen 31. Sistema de canales



En la Imagen 31 se puede apreciar la primera alternativa del sistema de boquilla de doble salida. Este soporte es conectado a la salida de la boquilla por medio de rosca, el interior del soporte se encuentran canales los cuales conducen el material desde la boquilla a cada una de las salidas donde llega a los bebederos de los moldes, como es una geometría simétrica se asegura que el flujo de material sea igual para cada una de las boquillas, en la parte superior e inferior del soporte se encuentran bandas calefactoras para evitar solidificación del material cuando este recorriendo los canales para llegar a las boquillas, esta temperatura está controlada mediante el uso de una termocupla, para verificar que la temperatura permanezca entre 200°C y 250°C, que es la temperatura óptima para ingresar a las cavidades del molde.

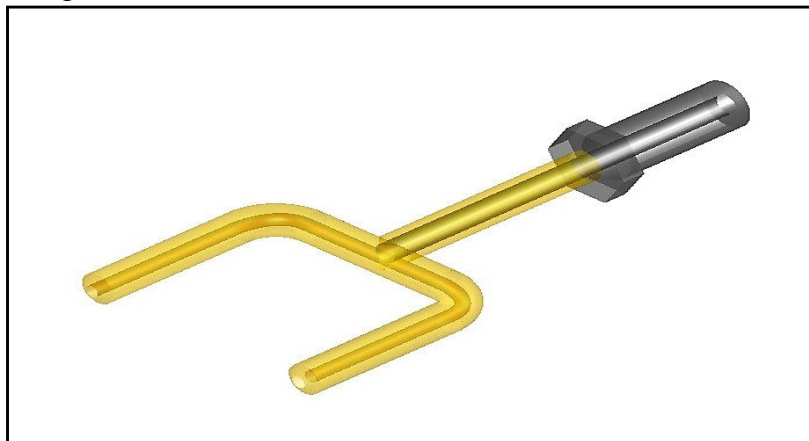
El material del cual estará realizado el soporte es acero al carbono, si esta alternativa es la seleccionada, la selección del acero se realizará en el diseño detallado, el cual deberá ser capaz de soportar los esfuerzos mecánicos a los que estará sometido. El mantenimiento de la boquilla de doble salida es muy sencillo, solo es reemplazar las partes desgastadas o dañadas; si se presenta algún taponamiento se perfora el material atrapado con una broca de longitud suficiente.

La geometría tiene un grado de complejidad alto, el soporte se mecaniza por medio de arranque de viruta y sus canales son fabricados mediante perforaciones con el uso de una broca, se realizan perforaciones pasantes. Este método de fabricación repercute en que los costos no sean tan elevados.

El paso del material a través de los canales se ve obstruido al ingreso del soporte, ya que la distribución de los canales hace que haya una pérdida de presión en ese punto, sin embargo, la presión interna es muy elevada, alrededor de 60 MPa, esta alternativa proporciona material suficiente a los canales para que el sistema de doble salida resista mecánicamente los esfuerzos generados por la presión.

3.4.2.2 Segunda alternativa para el diseño de boquilla de doble salida. Salida en U, este sistema está compuesto por un único elemento que se obtiene mediante doblado y soldado, doblado para el canal en forma de U y se suelda con el elemento que va conectado a la boquilla. Como se genera alta presión al interior de la salida en U, ocurre un calentamiento que sirve para evitar la solidificación del material dentro del sistema, su único inconveniente es el paso del fluido a través de este, ya que se choca con las paredes del elemento.

Imagen 32. Sistema en U



En la Imagen 32 se puede apreciar la salida de la boquilla terminada en U, se acopla a la salida de la boquilla, al interior el elemento se puede apreciar el canal por donde es conducido el material fundido, el material de construcción es igualmente de acero que asegura correcta transferencia de calor por conducción desde el calentamiento externo que será aplicado a la boquilla de doble salida

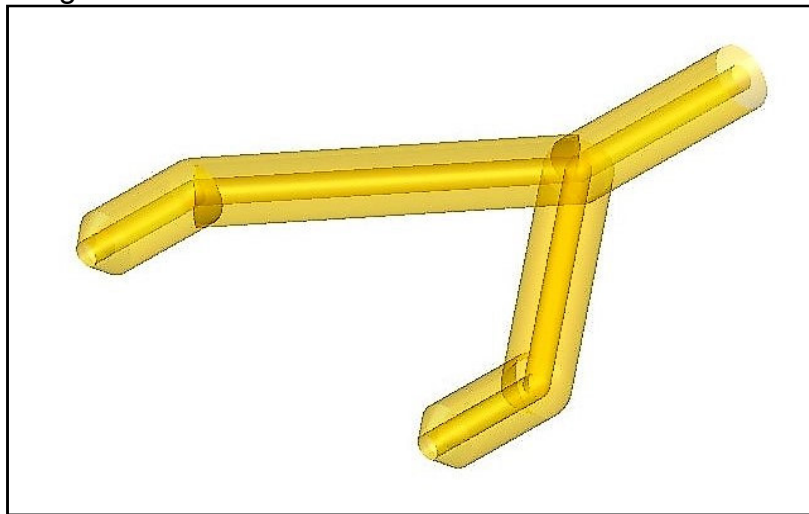
hacia el PVC fundido, como se mencionó anteriormente se debe asegurar que la temperatura de salida del PVC sea entre 200°C y 250°C.

La geometría tiene un grado de complejidad medio, su doblado demandará costos no tan elevados en comparación con la anterior alternativa la cual será fabricada por medio de arranque de viruta. El espesor de material en los canales para resistir la presión hace que el diámetro exterior de los conductos sea demasiado alto, dificultando su montaje y aumentando los costos.

El mantenimiento eleva su complejidad en caso de haber obstrucción en el canal, ya que el método convencional de usar la broca para destaparlo en este sistema no funciona por la forma en U que tiene el canal. Las causas de taponamiento son calentamiento excesivo, en el que el material es quemado y se adhiere a las paredes de los canales por donde fluye. En caso en que el PVC es reciclado se vuelve propenso a recibir impurezas externas que hacen que tapone los conductos de la boquilla o la salida del sistema de inyección, el paso del material en los canales se dificulta por sus ángulos rectos presentes en la U, generando turbulencia.

3.4.2.3 Tercera alternativa para el diseño de boquilla de doble salida. Salida en Y. este sistema está conformado por un único elemento, que se obtiene por medio de soldadura, por su forma en Y permite el flujo del material sin mucha restricción

Imagen 33. Sistema en Y



En la Imagen 33 se puede apreciar la salida de la boquilla terminada en Y, la cual va acoplada a la boquilla. El material de fabricación de la pieza es acero, por la transferencia de calor que este presenta y porque no necesita métodos especiales de soldadura tiene calentamiento externo para asegurar la temperatura adecuada de salida del PVC.

La geometría tiene grado de complejidad medio. Todo el conjunto será soldado para obtener la forma en Y, esta operación demanda costos de fabricación no tan elevados en comparación con la primera alternativa. El mantenimiento es de mayor complejidad ya que de taponarse los canales no es factible destaparlos con taladro, aunque el paso del material en los canales de la salida en Y tiene menos obstrucciones al no tener ángulos rectos en su geometría.

3.4.3 Descripción criterios de evaluación. Para elegir la alternativa que mejor se adapte al diseño de la boquilla, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de evaluación:

- ✓ Caudal: Este factor tiene en cuenta la facilidad con la que el PVC fundido fluye a través de los conductos del sistema de doble salida. Se dará calificación de 9 a la alternativa en que el material fluya más fácilmente hacia las cavidades del molde.
- ✓ Geometría: Se tiene en cuenta la capacidad de resistir las altas presiones a las que está sometida el elemento. Se dará calificación de 9 a la alternativa que mayor facilidad presente para resistir los esfuerzos generados por la presión sin repercutir en costos excesivos por material.
- ✓ Costos: De acuerdo a la facilidad de fabricar el elemento, se evalúan los costos que conlleva su fabricación, montaje, mantenimiento y la implementación de este sistema. Se le da calificación de 9 a la alternativa que genere menos costos.
- ✓ Mantenimiento: Se evalúa la facilidad con la que se realiza el procedimiento de mantenimiento a cada uno de los elementos, ya que estos sistemas están propensos a sufrir taponamiento de sus canales por donde es conducido el PVC fundido. Se le da calificación de 9 al elemento que más facilidad presente para realizar su mantenimiento.

3.4.4 Selección alternativa sistema de doble salida. Para la selección del tipo de boquilla de doble salida, se hará una ponderación de los criterios de evaluación con una puntuación que va de 1 a 5 (1 muy poco importante y 5 muy importante), posteriormente se analizan las alternativas planteadas estableciendo una calificación de satisfacción la cual va de 1 a 9 (1 es extra bajo y 9 extra alto), se multiplica el número de ponderación por el rating de satisfacción asignado para cada una de las alternativas. Al final se realiza una sumatoria de los valores por criterio y se selecciona la alternativa más idónea para realizar el diseño.

En la tabla 12 se presentan los valores para realizar la ponderación de los criterios, 1 = muy poco importante, 2 = poco importante, 3 = importancia a media, 4 = algo importante, 5 = muy importante.

Tabla 12. Asignación de ponderación para los criterios a evaluar

Criterios	Ponderación
Caudal	4
Geometría	6
Costos	5
Mantenimiento	3

En la tabla 13 se presentará los valores de rating para las alternativas, 1 = extra bajo, 2 = muy bajo, 3 = bajo, 4 = poco bajo, 5 = medio, 6 = poco alto, 7 = alto, 8 = muy alto, 9 = extra alto.

Tabla 13. Asignación del rating para las alternativas

Criterios	1	2	3
Caudal	6	4	8
Geometría	5	7	7
Costos	6	7	8
Mantenimiento	8	7	6

Tabla 14. Cálculo del Score para cada alternativa

Criterios	Ponderación	1	2	3
Caudal	4	6	4	8
Geometría	6	4	4	7
Costos	5	5	7	7
Mantenimiento	3	6	8	8
SCORE		91	99	133

En la tabla 14 se observa que la alternativa a elegir es la alternativa 3: sistema en Y para la boquilla de doble salida.

4. DISEÑO DEL PROYECTO

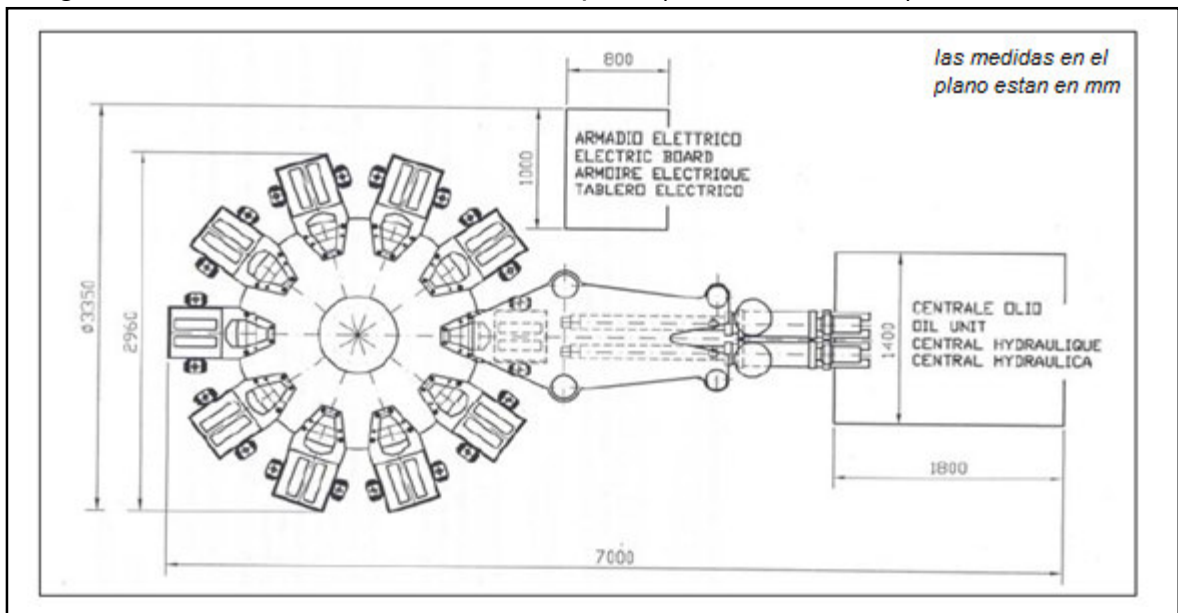
En este capítulo se detallan los cálculos y dimensionamientos de cada subsistema, elementos y componentes mecánicos que hacen parte del diseño del sistema de inyección de la máquina inyectora de termoplásticos. Los análisis que se realizan en este capítulo se corroboran en el siguiente donde se hace modelamiento y simulación de la estructura de apoyo para el sistema.

4.1 PARÁMETROS FUNCIONALES

Para poder desarrollar el diseño detallado de los elementos que conforman al sistema de inyección es importante conocer las características a las que trabaja la salida del sistema, sitio donde se deben controlar los parámetros para obtener un producto final que cumpla con los requerimientos del cliente, estos parámetros a tener en cuenta son: caudal, temperatura, presión de cierre y de inyección, y el espacio disponible donde será instalada la máquina.

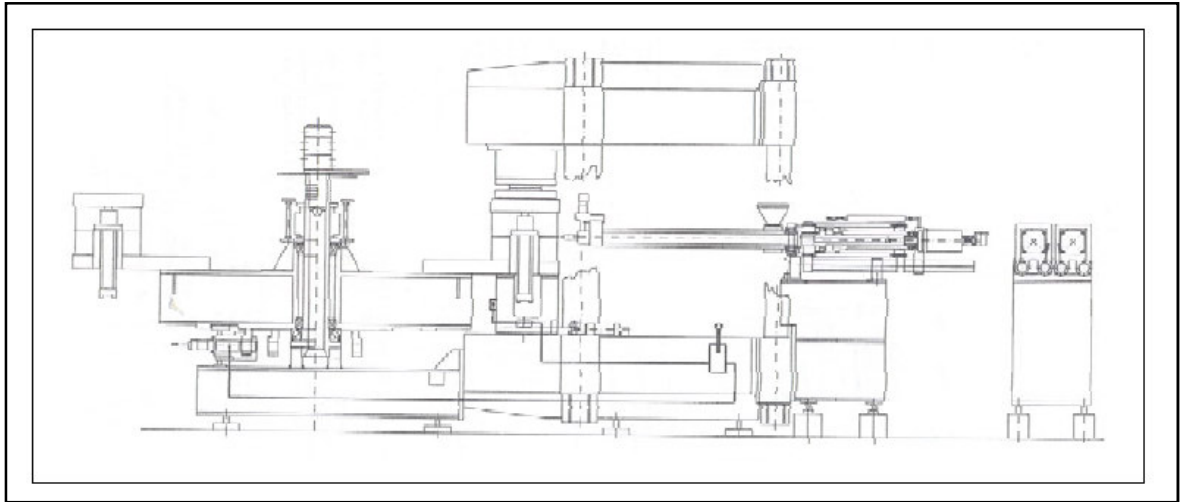
4.1.1 Espacio mínimo necesario. Como primer parámetro a tener en cuenta para continuar con el desarrollo del diseño, se debe delimitar el tamaño, el espacio necesario para realizar el montaje, mantenimiento y correcta operación de la máquina inyectora. En la imagen 34 se muestra el plano de dimensiones de la máquina ubicada en planta, y en la imagen 35 se muestra una vista de perfil de esta.

Imagen 34. Dimensionamiento de la máquina (unidades en mm)



Fuente: LIMA ORDOÑEZ. Enrique, Aplicación de mantenimiento preventivo a un inyector de suelas de zapatos. Tesis de grado. Guatemala. Escuela Mecánica industrial. 2005. 122p.

Imagen 35. Vista de perfil



Fuente: LIMA ORDOÑEZ. Enrique, Aplicación de mantenimiento preventivo a un inyector de suelas de zapatos. Tesis de grado. Guatemala. Escuela Mecánica industrial. 2005. 122p.

Como se aprecia en la imagen 34, se dispone de longitud de 7 m y un ancho de 3,350 m dando como un área mínima para la máquina inyectora necesaria de

$$Amín_1 = L_1 * A_1$$

Donde;

$Amín_1$ = Área mínima de montaje para la inyectora

L_1 = longitud total de la inyectora

A_1 = Ancho total de la inyectora

$$Amín_1 = 7 \text{ m} * 3,350 \text{ m}$$

$$Amín_1 = 23,45 \text{ m}^2$$

El área mínima necesaria para realizar el montaje es de 23,45 m², aunque se necesita un espacio mayor para realizar una correcta operación y mantenimiento de la máquina, para el sistema de inyección como se muestra en la imagen 36 se debe disponer de un espacio mínimo de;

$$Amín_2 = L_2 * A_2$$

Donde;

$Amín_2$ = Área mínima del sistema de inyección

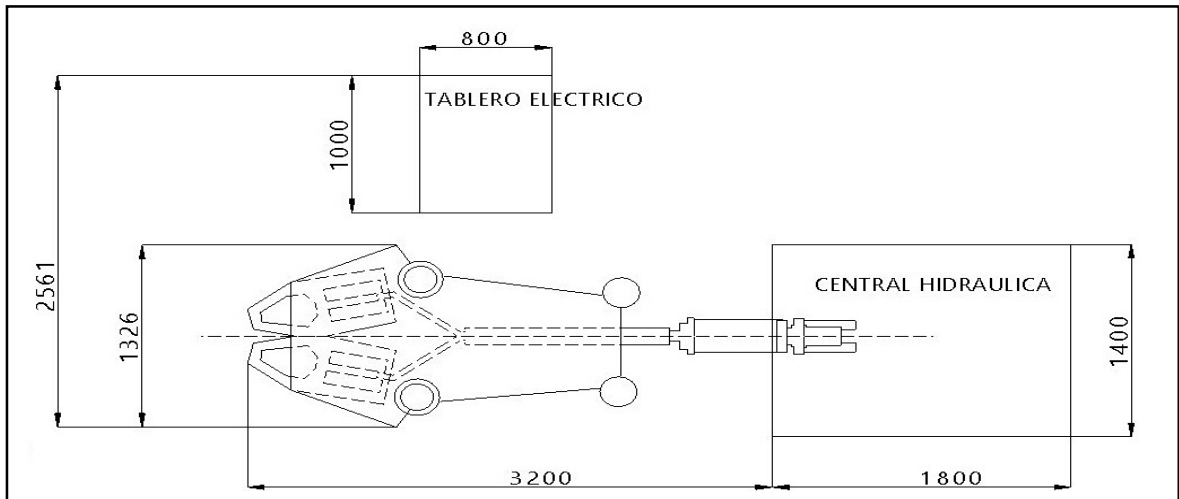
L_2 = Longitud total del sistema de inyección

A_2 = Ancho total del sistema de inyección

$$A_{min_2} = 5 \text{ m} * 2,561 \text{ m}$$

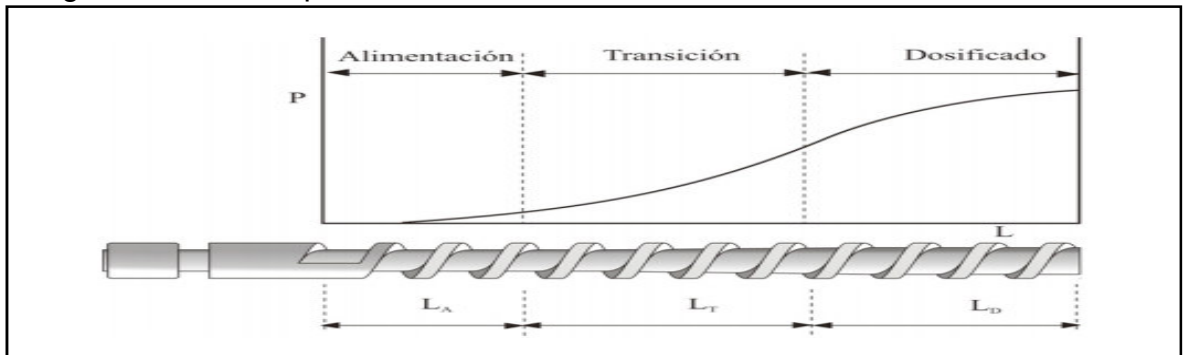
$$A_{min_2} = 12,805 \text{ m}^2$$

Imagen 36. Dimensionamiento sistema de inyección (unidades en mm)



4.1.2 Presión de inyección. Como segundo parámetro para el diseño del proyecto, se detalla la presión de inyección la cual es la presión a la cual debe ser inyectado el PVC hacia las cavidades del molde, en esta aplicación se necesita una alta presión debido a la viscosidad del fluido transportado, se encuentra en el orden de 20 a 120 MPa²⁵, en la imagen 37, se muestra el perfil de presiones vs longitud del tornillo.

Imagen 37. Perfil de presiones del tornillo



Fuente: BELTRÁN. Maribel, MARCILLA. Antonio. Tecnología de polímeros. España. Universidad de Alicante. 2012. 276p.

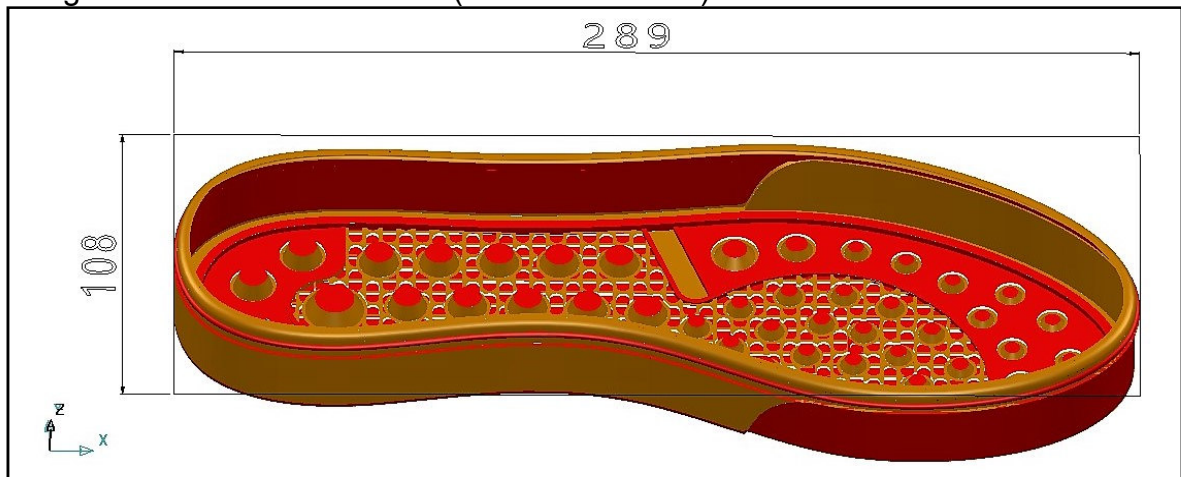
²⁵ Fuente: BELTRÁN. Maribel, MARCILLA. Antonio. Tecnología de polímeros. España. Universidad de Alicante. 2012. 276p.

Como se ilustra en la imagen 37, la entrada del material se realiza de izquierda a derecha, donde en la entrada del material al tornillo se denota como zona de alimentación, es la zona donde se requiere menor presión, ya que el material se encuentra en estado sólido, a medida que el material avanza debido al giro del tornillo este se va fundiendo, allí la presión debe ser mayor para realizar el avance del material para vencer las resistencias que el material fundido produce a lo largo de la trayectoria, esta zona se le llama zona de transición, al final del tornillo donde el material está a punto de salir de este para ser vaciado en el molde se encuentra la zona de dosificado, allí la presión alcanza su máximo valor que puede llegar a 120 MPa²⁶.

4.1.3 Presión de cierre. Es la presión que se le aplica al molde cuando va ser inyectado, es necesario aplicarle presión debido a que el material ingresa por sus cavidades a alta presión forzando el molde a que se abra, generando unos desperfectos (rebabas), en la pieza fabricada. Este parámetro se debe tener en cuenta para la selección de la geometría adecuada para la boquilla de doble salida.

Para calcular la fuerza de cierre, se debe conocer el área promedio de la cavidad en el molde, es decir el área proyectada de la pieza a inyectar y multiplicarla por su presión de cierre, que está comprendida entre 2-8 ton-f/in²(28-110Mpa)²⁷, los valores entre 2 y 4 ton-f/in² son usados para materiales que fluyen fácilmente, es decir, que tienen viscosidad baja y los valores entre 4 y 8 ton-f/in² son usados para materiales con viscosidad alta.

Imagen 38. Cavidad del molde (unidades en mm)



²⁶ Fuente: BELTRÁN. Maribel, MARCILLA. Antonio. Tecnología de polímeros. España. Universidad de Alicante. 2012. 276p.

²⁷ MITCHEL. Philip. Tool and manufacturing engineers handbook. USA. Society of manufacturing engineers. 4edición. 348p

Como se aprecia en la imagen 38, cada cavidad de un molde de suelas tiene 289 mm de longitud y 108 mm de ancho, como se mencionó anteriormente los moldes de suelas, tienen dos cavidades una para la izquierda y otra para la derecha, es decir que para el cálculo del área proyectada esta se debe multiplicar por dos, y obtener el área proyectada total de las cavidades del molde de inyección de suelas como se muestra a continuación;

$$\text{Área} = 2(L * A)$$

Donde:

Área= Área proyectada de las dos cavidades

L= Longitud de la cavidad

A= Ancho de la cavidad

$$\text{Área} = 2(0,289\text{m} * 0,108\text{m})$$

$$\text{Área} = 0,062424 \text{ m}^2$$

El área proyectada promedio de las cavidades es de 0,062424 m², se tomó como base de cálculo, las cavidades de una talla 40 que es la media entre los moldes de la talla 37 a 43, la presión de cierre para el PVC se puede tomar como 8 ton-f/in², ya que el PVC posee una viscosidad alta, es decir fluye con dificultad, tomando en cuenta estos parámetros la fuerza de cierre es de:

$$F = \text{Área} * P$$

Donde:

F= Fuerza de cierre

Área= Área proyectada de las dos cavidades

P= Presión de cierre

$$P = 8 \frac{\text{ton-f}}{\text{in}^2} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} * \frac{9,8 \text{ N}}{1 \text{ kg}} * \frac{1 \text{ in}^2}{(0,0254 \text{ m})^2}$$

$$P = 121520243 \text{ Pa} = 121,520 \text{ MPa}$$

Por conversión de unidades la presión de cierre es igual a 121,520 MPa.

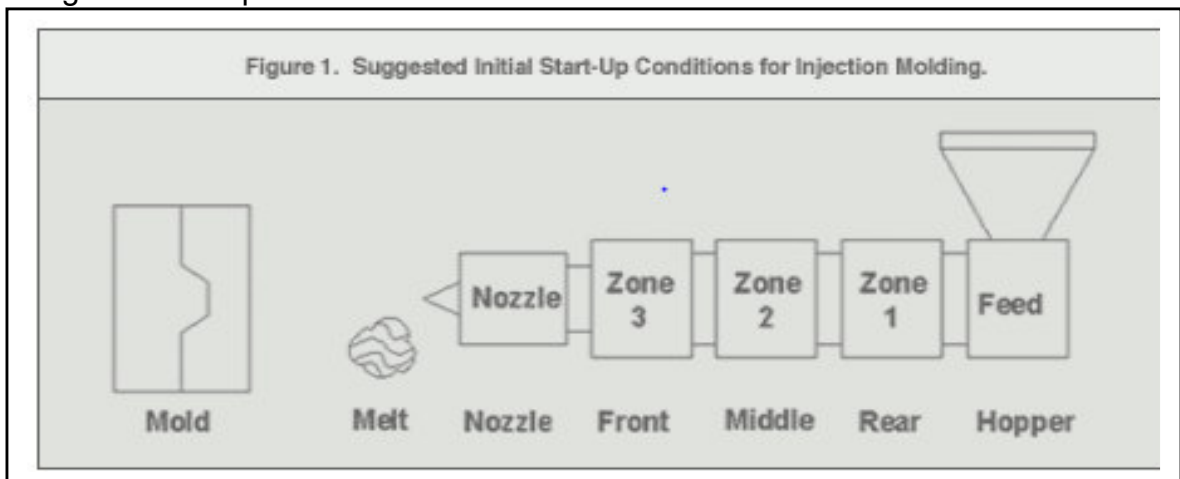
$$F = 0,062424 \text{ m}^2 * 121520243 \text{ Pa}$$

$$F = 7585779 \text{ N} = 7585,779 \text{ kN}$$

La fuerza necesaria para realizar el cierre del molde es de 7585,779 kN, evitando que el producto final salga con rebabas, este parámetro se tiene en cuenta de diseñar la boquilla de doble salida.

4.1.4 Temperatura de operación. Para conseguir un producto final que sea de calidad aceptable para el cliente, es muy importante controlar la temperatura del material a lo largo del tornillo sin fin y a la salida de la boquilla de doble salida, 160°C, y la temperatura de llegada al molde debe estar entre 200°C y 250°C, estando totalmente líquido, en la imagen 39 se muestra el esquema de la temperatura en cada etapa del tornillo.

Imagen 39. Temperaturas del PVC



Fuente: disponible en <http://www.polyone.com/products/thermoplastic-elastomers/tpe-knowledge-center/injection-molding-guide/injection-molding-1> citado el 2 de marzo de 2017.

Tabla 15. Temperaturas del PVC a lo largo del tornillo

Producto	Mold	Melt	Nozzle	Zone 3	Zone 2	Zone 1	Feed
PVC flexible	90°F 32°C	390°F 200°C	390°F 200°C	380°F 195°C	360°F 182°C	330°F 165°C	150°F 65°C

En la tabla 15 se muestran las temperaturas en diferentes partes del tornillo para que el material llegue fundido al molde, para la extracción de las suelas la temperatura del material debe ser de 32°C, esta temperatura se obtiene por el enfriamiento del molde después de que el material es inyectado, se realiza la extracción de la pieza y la colilla de inyección, a esta temperatura el par de suelas está totalmente solidificado y de fácil manipulación para el operario.

La temperatura de la boquilla (Melt) debe ser mínimo de 200°C siendo la misma temperatura de salida del sistema de inyección y de llenado de las cavidades

(Mold), en la zona 3 la temperatura es de 195°C, en la zona 2 de 182°C, la zona 1 debe ser la temperatura de 165°C y el material cuando ingresa al tornillo (Feed) se calienta a una temperatura de 65°C, sabiendo que la temperatura de ingreso al sistema se realiza a temperatura ambiente, que tiene lugar en la tolva de alimentación.

4.1.5 Caudal. Este se mide a la salida de la boquilla de doble salida, se tiene en cuenta para todo el diseño del sistema y se toma del tiempo que tarda el PVC fundido en llenar las cavidades del molde, para realizar el cálculo de este parámetro funcional es necesario conocer el volumen del producto final más 5% que son los desperdicios²⁸, se tomó como base el peso promedio de un par de suelas citado en la tabla 4 es de 398,2 g, la densidad es de 1,22 g/cm³ según lo citado en el cuadro 1, teniendo estos valores el volumen inyectado promedio es de;

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Donde:

V= Volumen del par de suelas inyectado

M= masa del par de suelas

ρ = Densidad del PVC

$$V = \frac{398,2 \text{ g/par}}{1,22 \text{ g/cm}^3}$$

$$V = 326,3934 \frac{\text{cm}^3}{\text{par}}$$

Para calcular el volumen total de inyección, se suman los desperdicios que son el 5% del volumen al volumen de inyección a cada molde, se debe multiplicar por 2 ya que se van a inyectar dos moldes.

$$V_t = 2V + 5\%$$

Donde:

V_t= volumen total de inyección

V= volumen de par de suelas

$$V_t = 2 * 326,3934 \text{ cm}^3 + 0,05 * 2 * 326,3934 \text{ cm}^3$$

²⁸ ENTREVISTA con Elkin Andrés Yaya, jefe del departamento de diseño de la empresa Tridimensionales S.A.S. Bogotá, 7 de marzo de 2017.

$$V_t = 685,4261 \text{ cm}^3$$

Al haber calculado el volumen total promedio que se inyecta en los dos moldes, se procede a calcular el caudal que les debe entregar el sistema de inyección, para realizar este cálculo se tiene en cuenta el tiempo que toma en inyectar las cavidades del molde y los desperdicios, que es el PVC que se solidifica en los canales de inyección, el tiempo de inyección se toma de la tabla 1, y se calcula el caudal requerido.

$$Q = \frac{V_t}{t}$$

Donde:

Q= Caudal requerido

V_t= volumen total inyectado

t= Tiempo promedio de inyección

$$Q = \frac{685,4261 \text{ cm}^3}{40 \text{ s}}$$

$$Q = 17,1356 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

El caudal requerido para inyectar los dos moldes en 40 segundos es de 17,1356cm³/s, con este valor se procede a realizar el diseño detallado del proyecto.

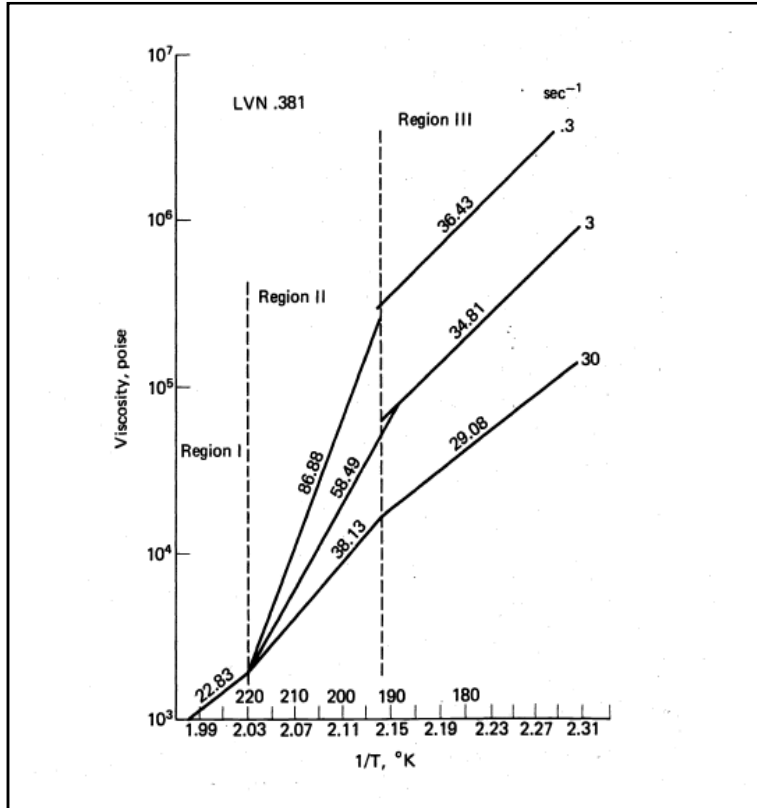
4.1.6 Viscosidad de trabajo del PVC. Para realizar el diseño detallado del tornillo, es necesario conocer la viscosidad del material a las diferentes temperaturas de trabajo. Se habla de reología del PVC cuando se refiere al proceso de deformación y fluidez por encima de la temperatura de transición vítrea, T_g= 77°C²⁹, la norma ASTM D 1243, contiene el método de ensayo estándar para la viscosidad en solución diluida de polímeros de cloruro de vinilo (PVC), la temperatura de trabajo para realizar el ensayo va desde 77°C hasta los 230°C.

Para la consulta de la viscosidad del PVC a diferentes temperaturas, se toman artículos científicos³⁰ que han experimentado siguiendo la norma ASTM D1243 llegando a graficar el comportamiento del fluido.

²⁹ PEZZIN.G.Rheology and plastization of Polyvinyl chloride. Laboratorio di Porto Marghera. Montecatini-Edison. Venezia Italy. 14p.

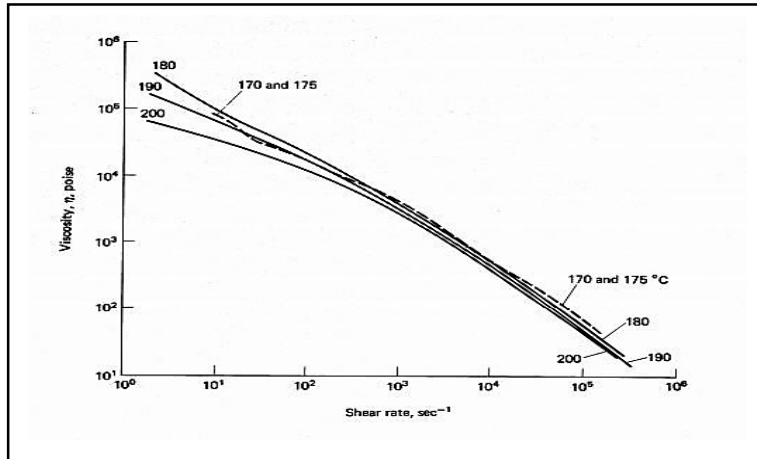
³⁰ COLLINS.Edward. The reology of PVC- An Overview. Goodrich chemical Company. Technical center USA. 15p

Grafico 1. Grafica viscosidad VS 1/T del PVC



Fuente: COLLINS.Edward. The reology of PVC- An Overview. Goodrich chemical Company. Technical center USA. 15p

Grafico 2. Grafica viscosidad VS velocidad de cizalladura



Fuente: COLLINS.Edward. The reology of PVC- An Overview. Goodrich chemical Company. Technical center USA. 15p.

En el gráfico 1, se muestra el comportamiento de la viscosidad del PVC a diferentes temperaturas, además se observan 3 velocidades de cizalladura, a 30 s^{-1} , 3 s^{-1} y $0,3 \text{ s}^{-1}$, además en cada grafica se muestra la energía de activación del fluido que está dado en kcal/mol, la cual mide la energía mínima necesaria para que se produzca una reacción química dada, el comportamiento del fluido se porta de manera diferente en 3 zonas o regiones, la primera región comprende las temperaturas mayores a 200°C ($2,03 \text{ K}^{-1}$), la región 2 comprende temperaturas entre 190°C y 220°C ($2,15\text{-}2,03 \text{ K}^{-1}$), la tercera y última región comprende las temperaturas menores a 190°C ($2,15 \text{ K}^{-1}$)³¹.

En el grafico 2. Se muestra el comportamiento de la viscosidad del PVC frente a la velocidad de cizalladura, que es el cambio de la deformación de cizalla por unidad de tiempo, su unidad es s^{-1} . Esta velocidad de cizalladura se tendrá en cuenta para cálculos posteriores.

La viscosidad efectiva es la viscosidad a la temperatura de trabajo de cada zona del husillo, para el cálculo de esta viscosidad se realiza por medio de la velocidad de cizalladura del material, el cual esta graficado por medio de ensayos y pruebas realizadas al polímero termoplástico, estos ensayos se rigen por la norma ASTM D 1243, cada diagrama depende del material a ensayar, en este caso es el PVC, la viscosidad de termoplásticos depende de la temperatura y el peso molecular, este valor disminuye al calentar el material y disminuir su peso molecular, para el cálculo de la velocidad efectiva se tiene en cuenta la siguiente ecuación³²;

$$\mu_{ef} = \frac{\mu_e * R^{1-v}}{V_m^{1-v} * \left(\frac{1}{v} + 3\right)^{1-v}}$$

Donde:

μ_e = Viscosidad a la temperatura de inyección

R= Radio del canal

V_m = Velocidad media de inyección

v= Relación de Poisson del material

4.2 SIMULACIÓN MEDIANTE MOLDFLOW

En esta parte del proyecto se realiza la simulación de los parámetros de inyección: tiempo de llenado, presión de inyección y temperatura en el frente de flujo. La simulación se realiza para un solo molde, sabiendo que los parámetros son los

³¹ COLLINS.Edward. The reology of PVC - An Overview. Goodrich chemical Company. Technical center. USA. 15p.

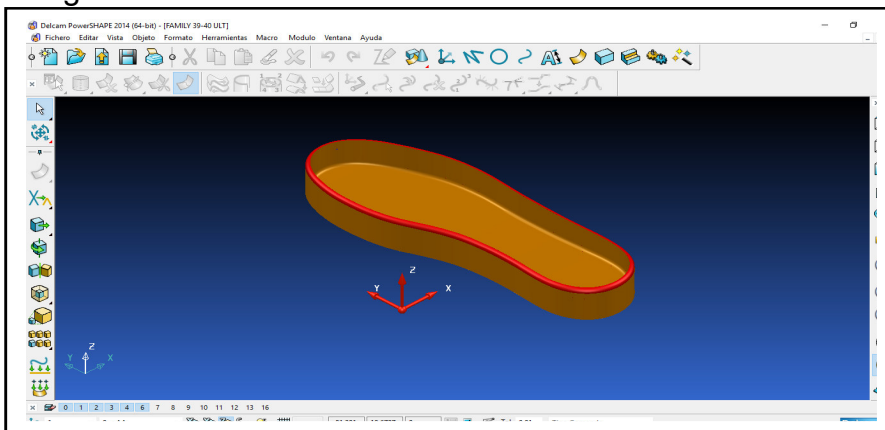
³² SAVGORODNY. V. K. Transformación de materiales termoplásticos. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona España. 1989. 240p.

mismos para los dos moldes después se analizan los resultados obtenidos y se comparan con los parámetros calculados.

El software para realizar la simulación es MOLDFLOW, de autoría de Autodesk, con una licencia de prueba. Se enuncia el procedimiento para la realización de la simulación.

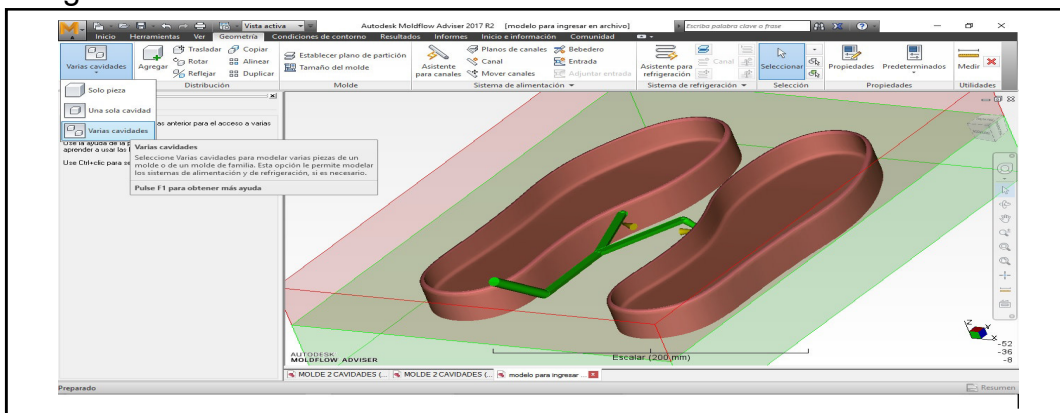
4.2.1 Definir la cavidad del molde. Se debe tener en cuenta la geometría de la cavidad del molde al realizar la simulación, es decir el modelo de la suela, este fue realizado mediante el software CAD PowerShape. La geometría fue tomada a partir de un modelo realizado por la empresa de fabricación de suelas llamada SUELIPLAST, la referencia de la suela es "Family" y la talla es 40.

Imagen 40. Definir la cavidad del molde



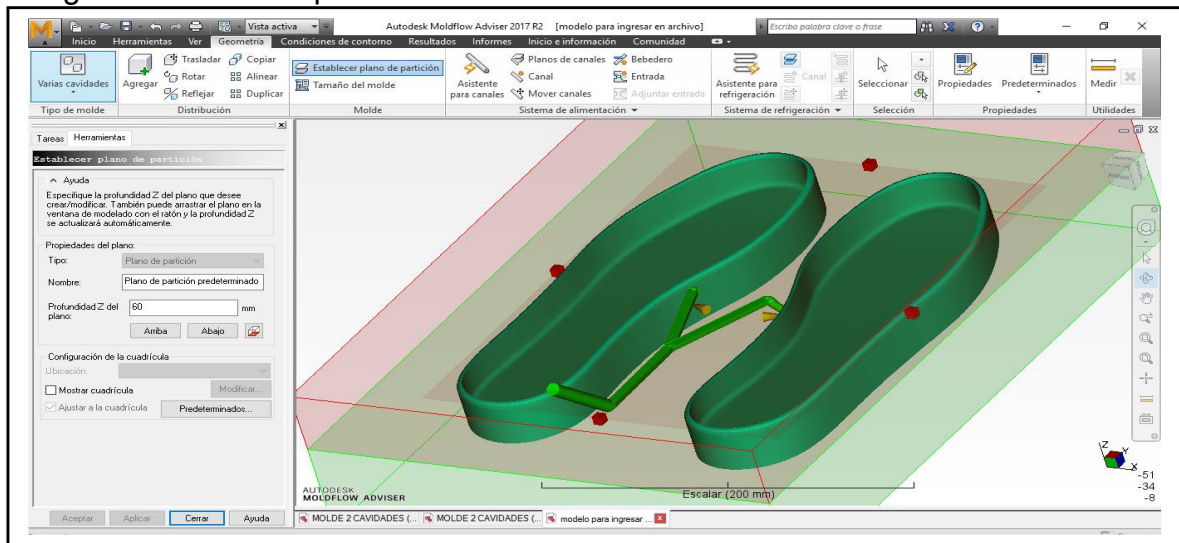
4.2.2 Modelar varias cavidades. Después de que se tiene la cavidad definida, se procede a importar el modelo en el software MOLDFLOW, en la opción de varias cavidades se usa la herramienta simetría para copiar la cavidad del pie derecho y pegarla como la cavidad del pie izquierdo, obteniendo la geometría de las cavidades finales que tendrá el molde.

Imagen 41. Varias cavidades



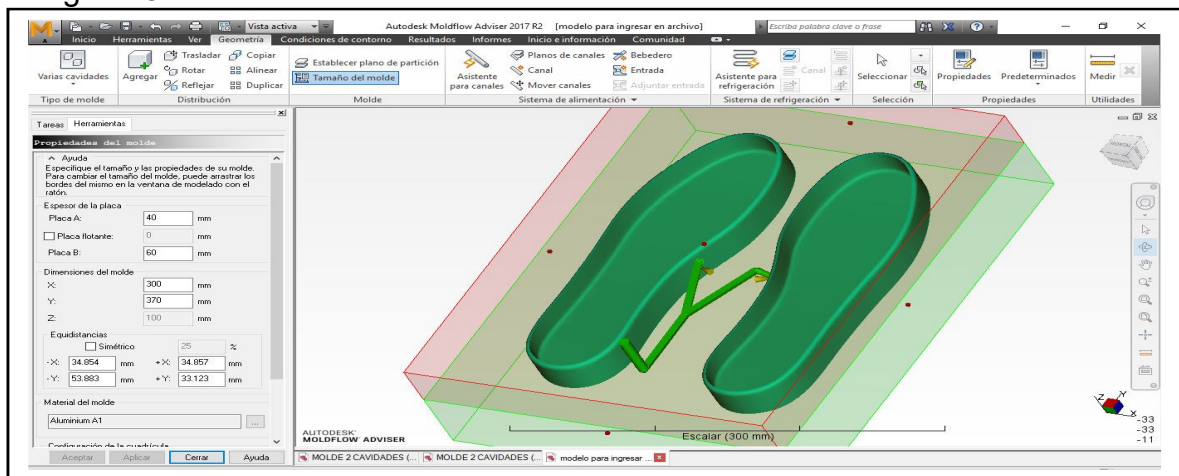
4.2.3 Establecer plano de partición. Para definir el cierre del molde, es decir, donde se une la hembra y la tapa o macho, se debe seleccionar el plano de partición, en este caso a partir del punto 0 o punto de referencia el plano de partición se establece a una distancia de 60 mm en el eje Z negativo, en la siguiente imagen se muestra con color rojo la placa de la tapa y de color verde la placa de la hembra.

Imagen 42. Plano de partición



4.2.4 Medidas del molde. En este paso se definen los espesores, la longitud total del molde y el material de fabricación de este, para esta aplicación se tiene un espesor total de 100 mm, la tapa tiene espesor de 40 mm y el hembra espesor de 60mm, la longitud total es de 370 mm y el ancho total de 300 mm, el material de fabricación es el aluminio, estos valores son tomados a partir de los moldes existentes en las empresas TRIDIMENSIONALES y SUELIPLAST.

Imagen 43. Medidas del molde



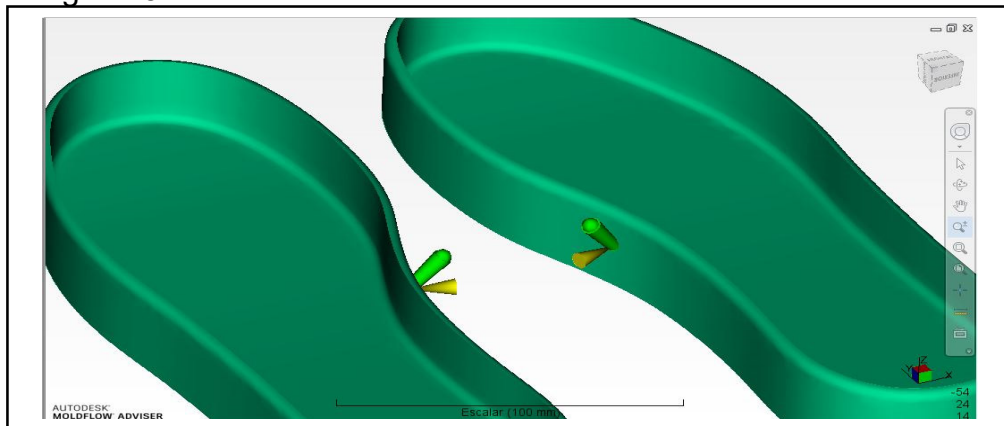
4.2.5 Establecer puntos de inyección. Para que el software realice la simulación de la inyección es necesario establecer estos puntos, los cuales son las entradas del material a cada una de las cavidades, estos puntos se toman aproximadamente en el punto medio de cada cavidad, y cada punto es equidistante al otro, es decir que sea a la misma distancia para que las condiciones de inyección sean las mismas en los dos pies, el programa los muestra como conos circulares color amarillo.

Imagen 44. Puntos de inyección



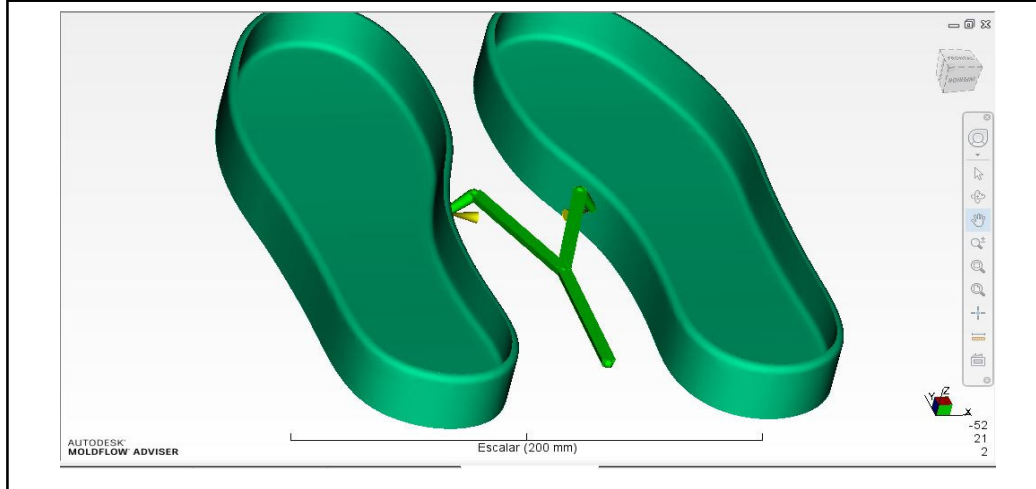
4.2.6 Entradas. Es el lugar donde ingresa el material a los puntos de inyección, estos se crean a partir del punto de inyección, tiene forma de cono, con un diámetro mayor donde el material ingresa y un diámetro menor donde sale el material al punto de inyección.

Imagen 45. Entradas



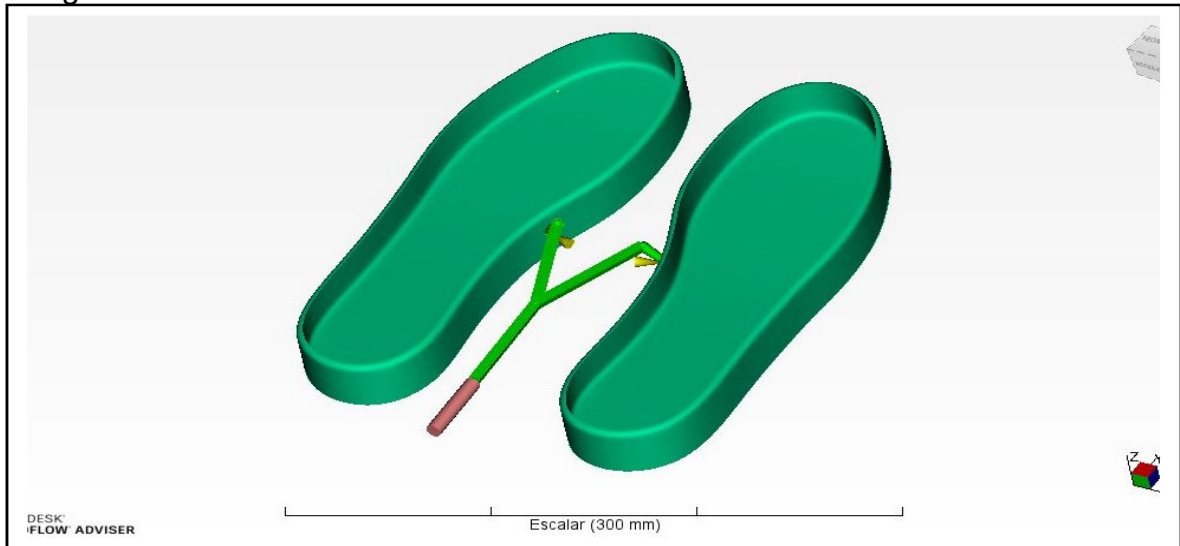
4.2.7 Canales de inyección. Lugar donde fluye el material fundido desde la boquilla o bebedero hasta la entrada en el punto de inyección, son ranuras las cuales se mecanizan en el molde, tienen forma de Y para que se conduzca el material hasta los dos puntos de inyección en las dos cavidades.

Imagen 46. Canales de inyección



4.2.8 Bebedero. Es el lugar donde se realiza la entrada de material desde el sistema de inyección de la máquina hasta el molde, allí se aloja la boquilla de inyección cuando se va a realizar el proceso de inyección, es un cilindro, donde la mitad es mecanizada en la tapa y la otra mitad hace parte de la hembra, cuando se realiza el cierre del molde forman el cilindro.

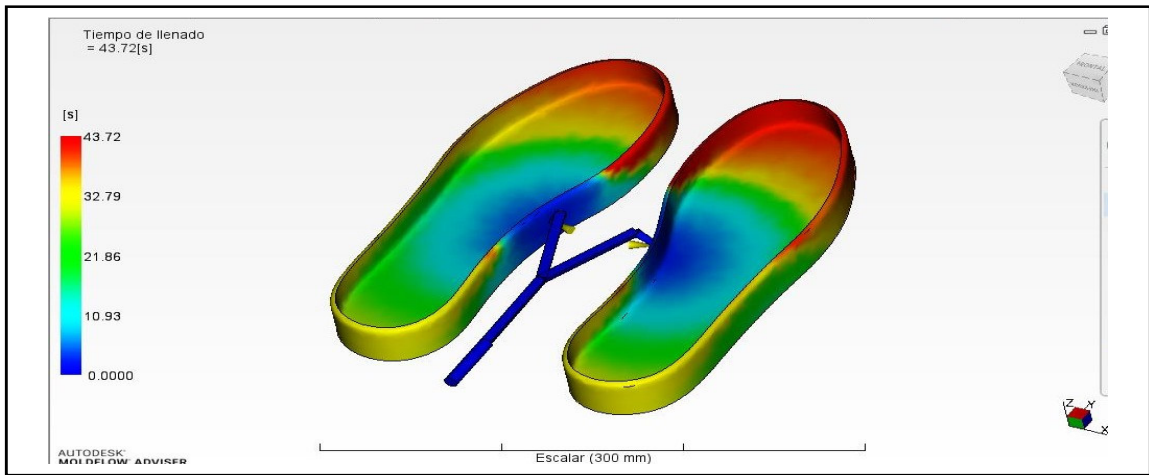
Imagen 47. Bebedero



4.2.9 Resultados obtenidos. A continuación, se muestran los resultados obtenidos mediante la simulación del molde de 2 cavidades, se sabe que se tienen los mismos parámetros para los dos moldes a inyectar.

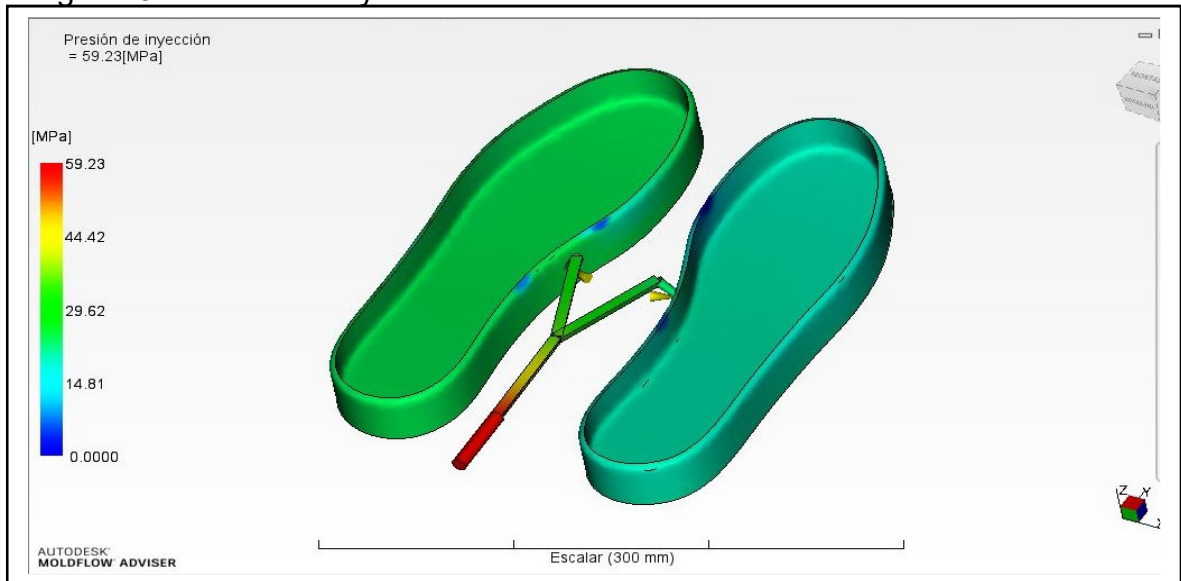
4.2.9.1 Tiempo de llenado. Es el tiempo que tarda el material en ir desde el bebedero hasta las cavidades del molde y que estas sean llenadas por completo.

Imagen 48. Tiempo de llenado



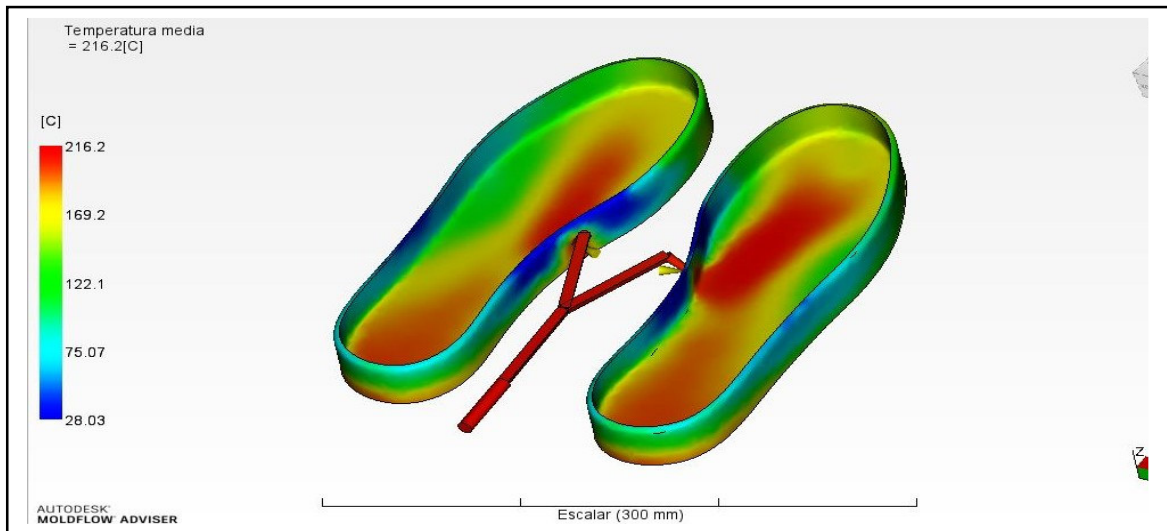
4.2.9.2 Presión de inyección. Es la presión con la cual debe ingresar el material a las cavidades del molde para que este pueda fluir fácilmente, esta presión se transmite desde el sistema de inyección.

Imagen 49. Presión de inyección



4.2.9.3 Temperatura media. Es la temperatura con la cual fluye el material, para que se encuentre con una viscosidad adecuada y sea más fácil conducirlo hacia las cavidades del molde, este valor está por encima de la temperatura de transición vítrea del PVC, esto con el fin de evitar que se solidifique en los canales de inyección.

Imagen 50. Temperatura media



4.2.9.4 Análisis de resultados de simulación en el software MOLDFLOW

✓ En el tiempo de llenado se obtuvo un valor de 43,72 s, este dato se toma como valor exacto, el tiempo aproximado que se había tomado eran de 40 s mostrado en la tabla 1, calculando el porcentaje de error es;

$$\%error = \frac{|V_{teórico} - V_{aproximado}|}{V_{teórico}} \times 100\%$$

Calculando el porcentaje de error

$$\%error = \frac{|43,72 \text{ s} - 40 \text{ s}|}{43,72 \text{ s}} \times 100\%$$

$$\%error = 8,51\%$$

Como resultado se obtiene un porcentaje de error del 8,51% el cual es un valor admisible, soportando el valor obtenido por el software que se toma como el valor real o exacto.

✓ La presión de inyección es de 59,23 MPa en el bebedero, este valor se encuentra dentro del rango normal para la presión de inyección, este rango está comprendido por valores entre 20 MPa y 120 MPa, para esta aplicación se necesita una presión de inyección alta por la aplicación, ya que se debe asegurar la correcta inyección en los dos moldes. Debido a esto se toma como valor real el obtenido mediante el software.

- ✓ La temperatura media es de 216,2°C, temperatura en la que el material llega a las cavidades del molde, como dato aproximado se tiene una temperatura de 200°C, este valor es el teórico, ya que si se aumenta la temperatura del material se podría quemar, obteniendo un producto final con desperfectos y de baja calidad, calculando el porcentaje de error;

$$\%error = \frac{|V_{teórico} - V_{aproximado}|}{V_{teórico}} \times 100\%$$

Calculando el porcentaje de error

$$\%error = \frac{|200^{\circ}\text{C} - 216^{\circ}\text{C}|}{200^{\circ}\text{C}} \times 100\%$$

$$\%error = 8,1\%$$

El porcentaje de error, para la temperatura media es de 8,1% valor admisible para tomar como valor exacto o real 200°C, la cual es la temperatura de trabajo para el sistema de inyección.

Cuadro 8. Resumen resultados de la simulación

Parámetro	Valor por simulación	Valor teórico
Tiempo de llenado	43,72s	40s
Presión de inyección	59,23MPa	-
Temperatura de trabajo	216,2°C	200°C

4.3 DISEÑO DETALLADO

Se realiza el diseño detallado de cada subsistema que compone el sistema de inyección de la máquina inyectora, como base se toma una maquina existente de tipo rotativa, la cual tiene capacidad para montar 10 moldes.

4.3.1 Tornillo sin fin. Es el elemento encargado de mezclar, transportar y comprimir el PVC fundido desde la alimentación hasta la dosificación, el material de fabricación para el tornillo sin fin es el acero AISI SAE 4140 ya que presenta una serie de ventajas como;

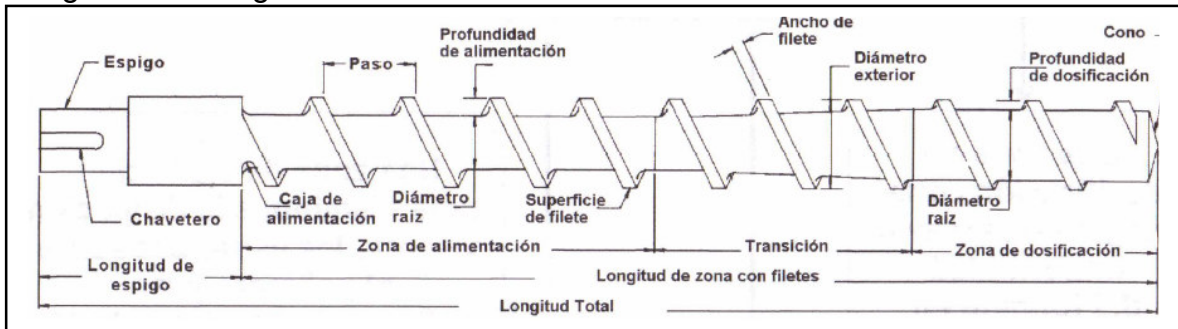
- ✓ Es un acero aleado con Cromo, Manganeso, Molibdeno y Silicio, que le mejoran los valores de resistencia mecánica y le mejoran la maquinabilidad
- ✓ Presenta alta resistencia, al ser templado y revenido
- ✓ Presenta buena resistencia a la fatiga
- ✓ Presenta buena resistencia a la abrasión y al impacto

- ✓ Puede ser nitrurado fácilmente para dar mayor resistencia a la abrasión
- ✓ No sufre cambios en su estructura química o física a las temperaturas de trabajo en las máquinas inyectoras o extrusoras³³

El tipo de tornillo sin fin seleccionado es un tornillo helicoidal de un solo canal, ya que su aplicación principal es de transportar fluidos de alta viscosidad y pegajosos, como es el caso del PVC fundido, este tipo de tornillos mejoran el flujo de material.

El paso del tornillo es estándar, es decir, el paso del tornillo o distancia entre cresta y cresta es igual al diámetro del tornillo, esto se debe a el material de transporte (PVC), ya que para fluidos que presenten flujo libre o inclinación en su transporte se debe elegir un tornillo con menor paso³⁴, en la imagen 51, se muestran las dimensiones de un tornillo helicoidal estándar de un solo canal:

Imagen 51. Configuración de un tornillo helicoidal de un solo canal



Fuente: GÓMEZ. Jimmy, GUTIÉRREZ. Jorge. Diseño de una extrusora para plásticos. Tesis de grado. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. 2007. 121p.

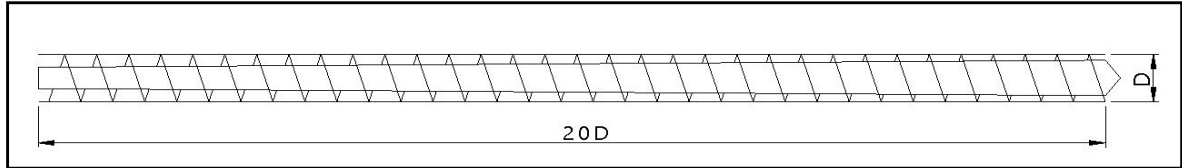
La configuración geométrica del husillo depende fundamentalmente del material a procesar, se debe tener en cuenta la reología del PVC. Según Savgorodny³⁵ la geometría adecuada del tornillo para la transformación de cloruro de polivinilo es con una zona de compresión creciente, es decir, a medida que el material avanza a lo largo del tornillo, su presión aumentará.

³³ Ficha técnica empresa SUMITEC

¹⁷ PINO. Eduardo. Software para diseño de transportadores de tornillo sin fin. Tesis de grado. Escuela superior politécnica de litoral. Guayaquil Ecuador. 2005. 277p.

³⁵ SAVGORODNY. V. K. Transformación de materiales termoplásticos. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona España. 1989. 240p.

Imagen 52. Relación longitud-diámetro del tornillo



Fuente: SAVGORODNY. V. K. Transformación de materiales termoplásticos. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona España. 1989. 240p.

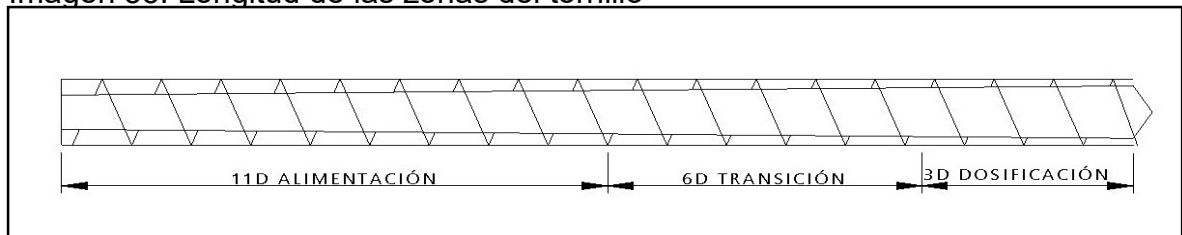
La imagen 52 muestra la geometría recomendada para el diseño del tornillo sin fin también llamado husillo, cuya la longitud es de 20 veces el diámetro del tornillo. La profundidad de alimentación o profundidad de las hélices va disminuyendo a medida que el PVC pasa de la zona de alimentación a la zona de dosificación o de salida del tornillo, esto con el fin de aumentar la compresión del material.

La longitud de carrera, es decir, la longitud del tornillo donde está alojado el material que será inyectado en un ciclo, es de máximo 3 veces el diámetro del tornillo, ya que una longitud de carrera mayor disminuye la longitud de la zona de compresión y alimentación³⁶, volviendo menos eficiente el proceso de calefacción del material, es decir no se calentaría homogéneamente el PVC, evitando que se funda a la temperatura de trabajo que se requiere.

La longitud de alimentación en el tornillo es igual a 11 veces el diámetro, ya que se necesita una gran parte de la longitud total del tornillo, para que el material pase de la temperatura con la que ingresa al tornillo, a una temperatura mayor cercana a la temperatura de trabajo.

La longitud de transición o de compresión es igual a 6 veces el diámetro del tornillo, es en este lugar del tornillo donde el material va ser comprimido y calentado para posteriormente ser llevado a la zona de plastificación (Ver Imagen 53).

Imagen 53. Longitud de las zonas del tornillo



³⁶ WOETBERG. J, MAHLKE. M, EFFEN. N. Barrieschnecken steigern die homogeinat de schmelze = los tornillos de barrera aumentan la homogeneidad del fundido. Bayer Leverkusen Alemania. 1994. 12p. Traducido por Lisa Koenig de Laverde.

En este caso se toma la longitud máxima de carrera ($3 \cdot D$), ya que se van a inyectar dos moldes y por ende el volumen de material a inyectar es mayor que los procesos donde solo se inyecta un molde, con estos valores se procede a calcular el diámetro del tornillo.

4.3.1.1 Diámetro del tornillo. Para calcular el diámetro del tornillo, se sigue la fórmula de volumen de inyección, la cual relaciona el área transversal del tornillo y la longitud de carrera del mismo, sabiendo que el volumen total de inyección es $685,4261 \text{ cm}^3$, valor que fue calculado anteriormente. La longitud de carrera es 3 veces el diámetro del tornillo³⁷.

$$V_t = A_t * L_c$$

Donde:

V_t = volumen total de inyección

A_t = área transversal del tornillo

L_c = Longitud de carrera

Reemplazando los valores.

$$V_t = \frac{\pi}{4} * D^2 * (3 * D)$$

Donde:

D = Diámetro del tornillo

Despejando el diámetro del tornillo se tiene.

$$V_t = \frac{3\pi}{4} * D^3$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * V_t}{3\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 685,4261 \text{ cm}^3}{3\pi}}$$

³⁷ GÓMEZ. Jimmy, GUTIÉRREZ. Jorge. Diseño de una extrusora para plásticos. Tesis de grado. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. 2007. 121p.

$$D = 6,63 \text{ cm}$$

Este valor se aproxima por encima a la unidad por encima más cercana, $D=7 \text{ cm}=70 \text{ mm}$.

4.3.1.2 Longitud del tornillo. Esta longitud se calcula a partir de la geometría recomendada para el transporte del PVC, según el autor Savgorodny es 20 veces el diámetro del tornillo.

$$L_t = 20 * D$$

Donde:

L_t = Longitud del tornillo

D = Diámetro del tornillo

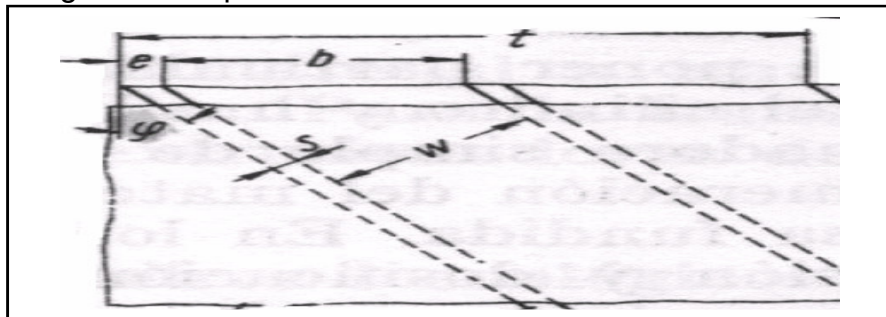
Reemplazando los valores.

$$L_t = 20 * 70 \text{ mm}$$

$$L_t = 1400 \text{ mm}$$

4.3.1.3 Ángulo de hélice. El ángulo de hélice ϕ , es el ángulo formado entre una línea vertical y la línea de hélice de cada cresta, con este valor se determina la cantidad de material que es transportada por el tornillo, la imagen 54 muestra el ángulo de hélice en un tornillo sin fin;

Imagen 54. Esquema tornillo sin fin



Fuente: GÓMEZ. Jimmy, GUTIÉRREZ. Jorge. Diseño de una extrusora para plásticos. Tesis de grado. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. 2007. 121p.

El valor del ángulo ϕ , estará dado por³⁸;

³⁸ SAVGORODNY. V. K. Transformación de materiales termoplásticos. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona España. 1989. 240p.

$$\phi = \operatorname{arctg} \frac{t}{\pi * D}$$

Donde:

t= Paso entre filetes

D= Diámetro del tornillo

π = Constante Pi

Como se mencionó anteriormente, las características del material transportado hacen que el paso entre filetes y el diámetro del tornillo sean iguales, se tiene un ángulo de filete de:

$$\phi = \operatorname{arctg} \frac{1}{\pi}$$

$$\phi = 17,6567^\circ$$

4.3.1.4 Anchura de filete. Es la medida del ancho de la cresta o la espiral del tornillo helicoidal, se calcula a partir de la siguiente formula³⁹;

$$e = 0,12 * D$$

Donde:

e= Ancho de la cresta del filete

D= Diámetro del tornillo

Reemplazando los valores.

$$e = 0,12 * 70 \text{ mm}$$

$$e = 8,4 \text{ mm}$$

4.3.1.5 Profundidad del canal helicoidal. Es la profundidad de las crestas de la hélice del tornillo, como el material a inyectar es PVC, el cual presenta una viscosidad elevada lo que lo hace difícil de transportar, es necesario comprimir el material, esto se hace reduciendo la profundidad del canal a lo largo del tornillo, dejando la zona de profundidad mayor en la zona de alimentación, hasta llegar a una relación de compresión adecuada en la zona de dosificación. Según esto, para cada etapa del tornillo sin fin existe una profundidad del canal, se calcula por medio de las siguientes fórmulas⁴⁰:

³⁹ CIFUENTES.Roosevelth. Diseño de una máquina extrusora para la empresa plastik de occidente. Tesis de grado. Universidad del Valle. 2011. 73p.

⁴⁰ CIFUENTES.Roosevelth. Diseño de una máquina extrusora para la empresa plastik de occidente. Tesis de grado. Universidad del Valle. 2011. 73p.

$$h1 = 0,15 * D$$

Donde:

h1= Profundidad del canal en la zona de alimentación

D= Diámetro del tornillo

Reemplazando los valores.

$$h1 = 0,15 * 70 \text{ mm}$$

$$h1 = 10,5 \text{ mm}$$

Para determinar la profundidad del canal en la zona de dosificación, es necesario conocer la relación de compresión para el PVC, este valor se multiplica a la altura del filete de la zona de alimentación.

Como el material a procesar (PVC), es un material sensible al cizallamiento, se recomienda utilizar husillos con baja compresión, una relación de compresión adecuada para el PVC está dada por un valor de 2⁴¹.

$$h2 = \frac{h1}{Rc}$$

Donde:

h2= altura del filete en la zona de dosificación

Rc= Relación de compresión del PVC

h1= altura del filete en la zona de alimentación

Reemplazando los valores se obtiene.

$$h2 = \frac{10,5 \text{ mm}}{2}$$

$$h2 = 5,25 \text{ mm}$$

4.3.1.6 Holgura del tornillo. Es la tolerancia que se aplica entre la cresta del filete del tornillo y el cilindro o camisa. Este valor es muy importante ya que si existe una holgura demasiado alta el material no fluirá por las zonas del tornillo, el material tiende a devolverse, y si este valor es demasiado bajo el material no fluirá y existirá un desgaste por fricción entre la camisa y la cresta del tornillo.

⁴¹ Tomado de: https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/prospekte/arburg_service_plasticising_526423_es.pdf. citado el 10 de abril de 2017.

Para el cálculo de la tolerancia u holgura entre el tornillo y la camisa está dada por⁴²;

$$\delta = 0,002 * D$$

Donde:

δ = Huelgo radial

D= Diámetro del tornillo

$$\delta = 0,002 * 70 \text{ mm}$$

$$\delta = 0,14 \text{ mm}$$

4.3.1.7 Cálculo número de filetes. Este es obtenido mediante el cálculo de la relación longitud diámetro, que se establece entre el diámetro del husillo y el número de filetes, sabiéndose que es un tornillo de paso estándar, es decir el paso del tornillo es igual al diámetro de este, la relación para hallar el número de filetes está dado por;

$$\# \text{ Filetes} = \frac{L}{P}$$

Donde:

L= Longitud del tornillo

P= Paso

$$\# \text{ Filetes} = \frac{1400 \text{ mm}}{70 \text{ mm}}$$

$$\# \text{ Filetes} = 20$$

4.3.1.8 Ancho del canal. Es la medida que existe entre el final de una cresta y el inicio de otra, es decir donde estará alojado el material en el tornillo, este ancho se determina con la siguiente ecuación⁴³;

$$b = (D - e) * \cos(\phi)$$

Donde:

⁴² SAVGORODNY.V.K. transformación de materiales termoplásticos. Editorial Gustavo Gil S.A. Barcelona España. 1989. 240p.

⁴³ CIFUENTES.Roosevelth. Diseño de una máquina extrusora para la empresa plastik de occidente. Tesis de grado. Universidad del Valle. 2011. 73p.

b = Ancho de canal
D = Diámetro de tornillo
e= Ancho de filete
 ϕ = Angulo de hélice

Reemplazando los valores se obtiene un ancho de canal de:

$$b = (70 \text{ mm} - 10,15 \text{ mm}) * \cos(17,65^\circ)$$

$$b = 58,70 \text{ mm}$$

4.3.1.9 Largo de la hélice. Es la medida de la longitud de la hélice en el tornillo en el diámetro del tornillo, es decir el perímetro de la hélice en una vuelta, esta se determina mediante la siguiente ecuación⁴⁴.

$$Lh = \frac{D * \Pi}{\cos(\phi)}$$

Donde:

Lh = Largo de la hélice
D = Diámetro del tornillo
 ϕ = Angulo de la hélice

$$Lh = \frac{70 \text{ mm} * \Pi}{\cos(17,65^\circ)}$$

$$Lh = 230,77 \text{ mm}$$

4.3.1.10 Velocidad de giro del tornillo. Para determinar las revoluciones a las cuales debe girar el tornillo, es necesario conocer la viscosidad del material a la temperatura de dosificación (200°C), para ello se usa la gráfica 1 donde se muestra el comportamiento de la viscosidad frente a la temperatura del PVC. cuando se tiene la viscosidad se procede a determinar la velocidad de cortadura que es el valor necesario para el cálculo de las revoluciones del husillo, ya que se debe tener en cuenta el comportamiento reológico del PVC para que el giro del tornillo sea el más adecuado y no afecte las propiedades del material. Se muestra la gráfica de velocidad vs temperatura del PVC, donde se determina la viscosidad del material a la temperatura de trabajo (200°C). Después de haber determinado la viscosidad de trabajo a esta temperatura, se determina la velocidad de cortadura a la misma temperatura y con la viscosidad anteriormente determinada en la gráfica de viscosidad VS velocidad de cortadura.

⁴⁴ SAVGORODNY.V.K. transformación de materiales termoplásticos. Editorial Gustavo Gil S.A. Barcelona España. 1989. 240p.

Gráfico 3. Gráfica viscosidad VS velocidad de cizalladura

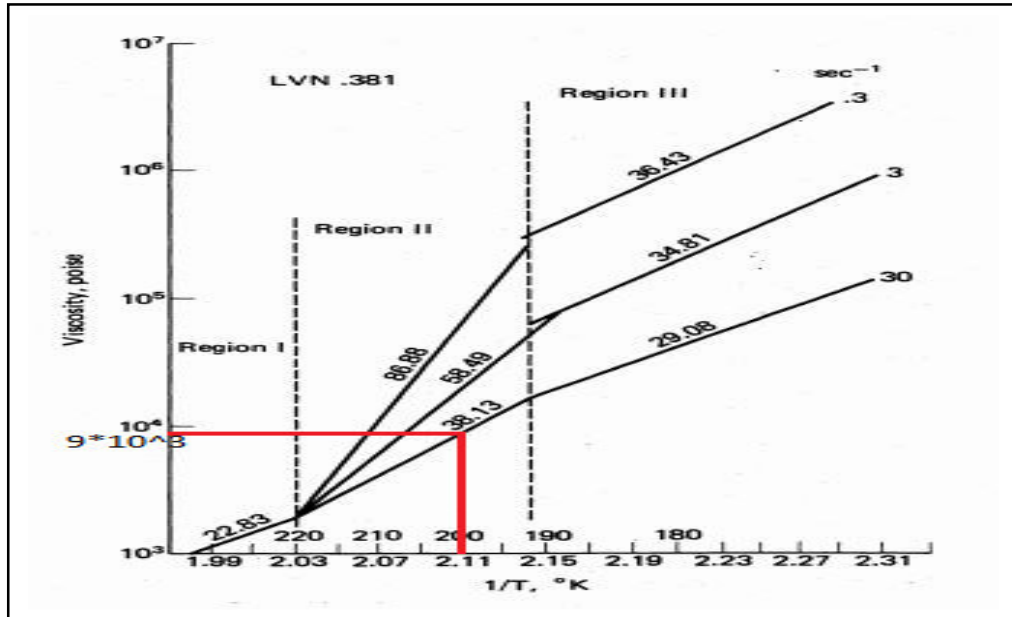
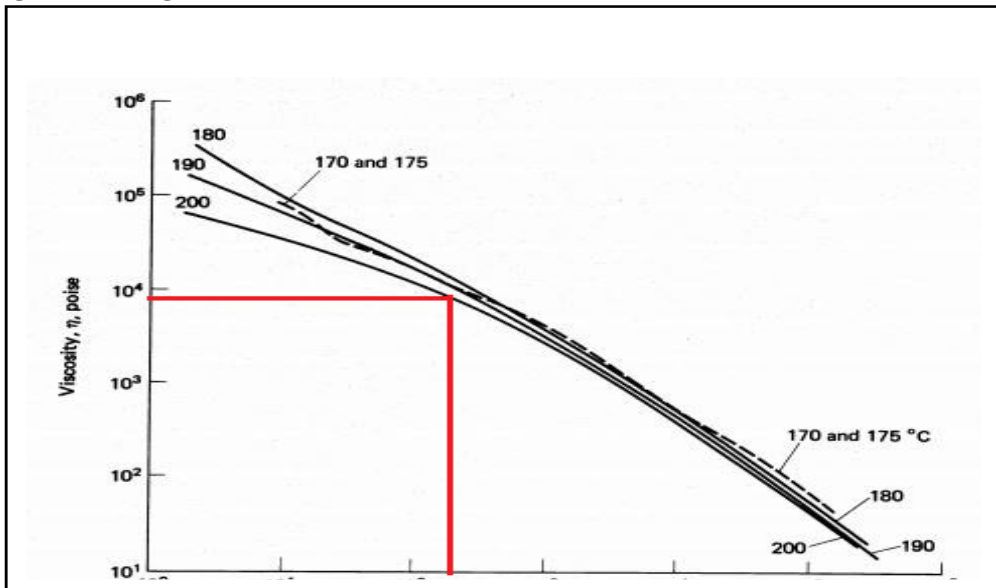


Gráfico 4. Gráfica viscosidad VS velocidad de cizalladura



Según los datos de las dos anteriores figuras, la viscosidad del PVC a la temperatura de trabajo es de $9 \cdot 10^3$ Poise, y la velocidad de cortadura es de $2 \cdot 10^2$ s^{-1} . A continuación, se muestra el procedimiento para el cálculo de las revoluciones del tornillo⁴⁵.

⁴⁵ GÓMEZ. Jimmy, GUTIÉRREZ. Jorge. Diseño de una extrusora para plásticos. Tesis de grado. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. 2007. 121p.

$$\dot{y} = \frac{\pi * D * n}{h_2}$$

Reemplazando se obtiene.

$$n = \frac{\dot{y} * h_2}{\pi * D}$$

Dónde:

n = Numero de revoluciones del tornillo

\dot{y} = Velocidad de cortadura del PVC a la temperatura de trabajo

h_2 = Altura del filete en la zona de dosificación

D = Diámetro del tornillo sin fin

$$2 * 10^2 s^{-1} = \frac{3,1416 * 70 \text{ mm} * n}{5,25 \text{ mm}}$$

$$n = \frac{2 * 10^2 s^{-1} * 5,25 \text{ mm}}{3,1416 * 70 \text{ mm}}$$

$$n = 4,7746 \frac{\text{rev}}{\text{s}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$n = 286,47 \text{ rpm}$$

4.3.1.11 Presión de operación. A partir de la siguiente fórmula se calcula la presión de inyección en la zona de dosificación, esta presión es la máxima encontrada dentro del tornillo, sabiendo que la presión necesaria para llenar un molde es 59,23MPa, existiendo una caída de presión en la boquilla de doble salida.

Mediante la siguiente ecuación se calcula la presión de operación²⁵.

$$Pope = \frac{2 * \Pi * \mu * D^2 * n * h * \text{sen}(\phi) * \text{cos}(\phi)}{\frac{R^4}{2 * e} + \frac{D * h^3 * \text{sen}^2(\phi)}{3 * L}}$$

Donde:

Pope = Presión operación

μ = Viscosidad del PVC a temperatura de trabajo en Pa*s

D = Diámetro del tornillo

n = Revoluciones del tornillo en RPS

h = Altura de filete en zona de dosificación del tornillo

ϕ = Angulo de hélice del tornillo

R = Radio del filete

e = Ancho del filete

L = Longitud del tornillo

Como es un filete cuadrado, se toma un radio de filete de 2,6 mm, si se deja un valor de 0mm, disminuye la resistencia de cada filete, ya que el material que está apoyado sobre el canal del tornillo es menor, reemplazando los valores se obtiene una presión de operación de;

$$Pope = \frac{2 * \Pi * 900 \text{ Pa s} * (0,07 \text{ m})^2 * 4,77 \text{ RPS} * 0,0055 \text{ m} * \text{sen}(17,65) * \text{cos}(17,65)}{\frac{(0,0026 \text{ m})^4}{2 * 0,0084 \text{ m}} + \frac{0,07 \text{ m} * (0,0055 \text{ m})^3 * \text{sen}^2(17,65)}{3 * 1,4 \text{ m}}}$$

$$Pope = 70,59 \text{ MPa}$$

4.3.1.12 Potencia requerida. Es la necesaria para realizar el movimiento del sistema de inyección, de acuerdo con este valor se realiza la selección del motor eléctrico idóneo para el funcionamiento, el cual estará acoplado a un reductor donde finalmente se transmite la potencia al tornillo sin fin.

La potencia necesaria para accionar el husillo puede ser determinada a partir del balance energético de la máquina mediante la siguiente ecuación⁴⁶;

$$N = 32 * 10^{-5} * Q * Cp * (Tm - To)$$

Dónde:

N = Potencia, en kW

Q = Caudal, en kg/h

Cp = Capacidad calorífica del material, en J/kgK

Ti = Temperatura de trabajo

To = Temperatura del material a la salida de la tolva

El caudal de salida de la máquina es de 17,1356 cm³/s, conociendo la densidad del PVC flexible, cuyo valor es 1,22 g/cm³, se obtiene el caudal en kg/h.

$$17,1356 \text{ cm}^3/\text{s} = 17,1356 \text{ cm}^3/\text{s} \left(\frac{1,22 \text{ g}}{1 \text{ cm}^3} \right) \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right) \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right)$$

$$17,1356 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 75,25 \text{ kg/h}$$

Conociendo la temperatura de trabajo, y la temperatura del material a la salida de la tolva cuyo valor se asume que es la temperatura ambiente en la ciudad de

⁴⁶ SAVGORODNY. V. K. Transformación de materiales termoplásticos. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona España. 1989. 240p.

Bogotá D.C, siendo las temperaturas de 200°C y 14°C respectivamente, se halla la temperatura media y se obtiene el valor del calor específico a presión constante del PVC, mediante la siguiente tabla;

$$T_m = \frac{T_i - T_o}{2}$$

Dónde:

T_m = Temperatura media

T_i = Temperatura de trabajo

T_o = Temperatura a la salida de la tolva

$$T_m = \frac{200^\circ\text{C} - 14^\circ\text{C}}{2} = 93^\circ\text{C}$$

Para uso de la siguiente tabla, esta temperatura se requiere en temperatura absoluta K.

$$93^\circ\text{C} = 93 + 273,15 \text{ K}$$

$$93^\circ\text{C} = 366,15 \text{ K}$$

Tabla 16. Capacidad específica a presión constante del PVC

T K	C_p $J K^{-1} mol^{-1}$	$H-H_0^A$ $J mol^{-1}$	$S-S_0^A$ $J K^{-1} mol^{-1}$
10	1.81	5.54	0.75
15	3.78	19.4	1.84
20	5.92	43.6	3.22
25	8.01	78.5	4.79
30	9.95	123.4	6.40
35	11.73	177.7	8.07
40	13.38	240.5	9.75
45	14.89	311.3	11.41
50	16.28	389.2	13.05
60	18.77	564.7	16.25
70	20.99	763.7	19.31
80	23.05	984.0	22.25
90	24.98	1224.	25.08
100	26.82	1483.	27.81
110	28.59	1761.	30.45
120	30.29	2055.	33.01
130	31.94	2366.	35.50
140	33.56	2694.	37.92
150	35.15	3037.	40.29
160	36.73	3397.	42.61
170	38.31	3772.	44.88
180	39.88	4163.	47.12
190	41.45	4569.	49.32
200	43.03	4992.	51.48
210	44.61	5430.	53.62
220	46.21	5884.	55.73
230	47.79	6354.	57.82
240	49.37	6840.	59.89
250	50.99	7342.	61.94
260	52.63	7860.	63.97
270	54.29	8394.	65.99
273.15	54.81	8566.	66.62
280	55.95	8945.	67.99
290	57.64	9513.	69.98
298.15	59.03	9989.	71.60
300	59.35	10098.	71.97
310	61.11	10700.	73.94
320	62.94	11321.	75.91
330	64.88	11960.	77.88
340	66.96	12619.	79.84
350	67.59	13317.	81.86
360	91.08	14110.	84.38
370	94.56	15138.	86.93
380	98.05	16101.	89.49

Fuente: CHANG. Shu-Sing. Heat capacity and thermodynamic properties of Poly(Vinyl Chloride). Institute for material research. National Bureau of standards. Washington. USA. 1977. 10p.

Mediante la ecuación de interpolación lineal, se determina el calor específico del PVC a la temperatura de 366,15 K. Tomando a la temperatura absoluta como X, y al Cp como Y se obtiene;

	X	Y
1	360K	91,08 J/K mol
2	366,15K	Y2
3	370K	94,56 J/K mol

Aplicando la ecuación de interpolación lineal se obtiene un Cp de;

$$Y_2 = Y_1 + \frac{X_2 - X_1}{X_3 - X_1} (Y_3 - Y_1)$$

$$Y_2 = 91,08 + \frac{366,15 - 360}{370 - 360} (94,56 - 91,08)$$

$$Y_2 = 93,2202 \text{ J/K mol} = C_p$$

Por conversión de unidades, se convierte los moles a gramos del calor específico a presión constante del PVC, mediante la masa atómica del PVC, la cual equivale a 93,82596g/mol⁴⁷.

$$93,2202 \text{ J/K mol} = 93,2202 \text{ J/K mol} \left(\frac{1 \text{ mol}}{93,82596 \text{ g}} \right)$$

$$93,2202 \text{ J/K mol} = 0,992486 \text{ J/K g}$$

Aplicando la ecuación para hallar la potencia de accionamiento del tornillo sin fin;

$$N = 32 * 10^{-5} * 7525.000 \text{ g/h} * 0,992486 \text{ J/K g} * ((200 + 273,15) - (14 + 273,15))$$

$$N = 4445,2 \text{ W} = 4,4452 \text{ KW}$$

Sabiendo que 1HP equivale a 747,5W, se tiene una potencia en HP de;

$$N = 4445,2 \text{ W} \left(\frac{1 \text{ HP}}{747,5 \text{ W}} \right)$$

$$N = 5,9467 \text{ HP} = 6 \text{ HP}$$

4.3.1.13 Torque. Es la torsión mecánica que el tornillo ejerce para vencer las fuerzas de inercia en el material y poder realizar el movimiento de avance, se calcula el torque mínimo necesario en el tornillo, el cual debe vencer las fuerzas que se oponen al movimiento del tornillo.

$$T_{\min} = \frac{N}{n}$$

Donde;

T = Torque mínimo

N = Potencia

n = Velocidad angular

⁴⁷ Disponible en:

Reemplazando los valores se obtiene.

$$T_{\min} = \frac{6\text{Hp} * \frac{747,5 \text{ W}}{1 \text{ Hp}}}{286,47 \frac{\text{revolucion}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * \frac{2\pi}{1 \text{ revolucion}}}$$

$$T_{\min} = 149,5046 \text{ N} * \text{m}$$

4.3.2 Tolva de alimentación. La tolva de alimentación es donde se da lugar el ingreso de material al sistema, estará diseñada para introducir al sistema 1 bulto de material, sabiendo que cada bulto contiene 25 kg de PVC en pellets, es decir tendrá la capacidad de alimentar 25 kg de material, la densidad del PVC es de $1,22 \text{ g/cm}^3$.

4.3.2.1 Dimensiones de la tolva. Se calculan las dimensiones de la tolva partir de su geometría por cálculos trigonométricos para almacenar 25 kg de PVC.

Por conversión de unidades la densidad se da en kg/cm^3 .

$$1,22 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 1,22 * 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$$

Ahora se calcula el volumen de la tolva para su posterior dimensionamiento.

$$V_a = \frac{M}{\rho}$$

Donde:

V_a = Volumen de alimentación en la tolva

M = Masa de 1,5 bultos de PVC

ρ = Densidad del PVC

Reemplazando se obtiene.

$$V_a = \frac{25 \text{ kg}}{1,22 * 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}}$$

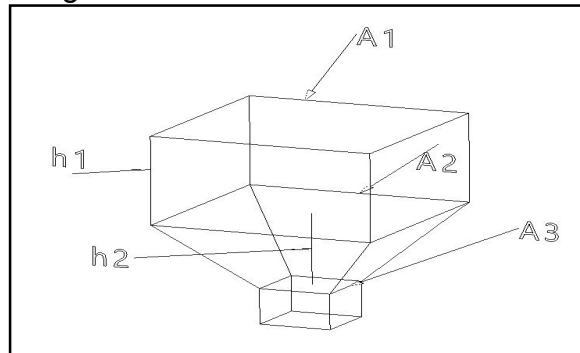
$$V_a = 20491,8032 \text{ cm}^3$$

Por conversión de unidades.

$$20.491,8032 \text{ cm}^3 * \frac{(1 \text{ m})^3}{(100 \text{ cm})^3} = 0,031 \text{ m}^3$$

A partir de este dato se pueden calcular las dimensiones mínimas de la tolva, para almacenar este volumen, la tolva dispone de 3 secciones, la primera sección se compone de un prisma rectangular, la segunda es un polígono trapezoidal y por último la garganta de alimentación que su geometría es de prisma rectangular, pero que su volumen no se tiene en cuenta para el volumen total de la tolva, con estas formas se pueden calcular sus dimensiones.

Imagen 55. Geometría de la Tolva



Como primera condición para calcular las dimensiones de la tolva se toma como que el ángulo de reposo es 60° para el PVC⁴⁸.

Se procede a calcular las dimensiones del polígono trapezoidal, sabiendo que las dimensiones de la garganta de alimentación están dadas por:

$$\text{Longitud de la garganta} = 1,3 * \text{Diámetro del tornillo}$$

$$\text{Ancho de la garganta} = \text{Diámetro del tornillo}$$

Tomando un diámetro tentativo de 70mm

$$\text{Longitud de la garganta} = 1,3 * 0,075 \text{ m}$$

$$\text{Longitud de la garganta} = 0,091 \text{ m}$$

$$\text{Ancho de la garganta} = 0,070 \text{ m}$$

⁴⁸ LEADBITTER.J, DAY.J,RYAN.J. PVC-Compounds, processing and applications. Rapra technology. United kingdown.1994.143p.

Se procede a calcular A3

$$A3 = lg * ag$$

Donde:

lg= Longitud de la garganta

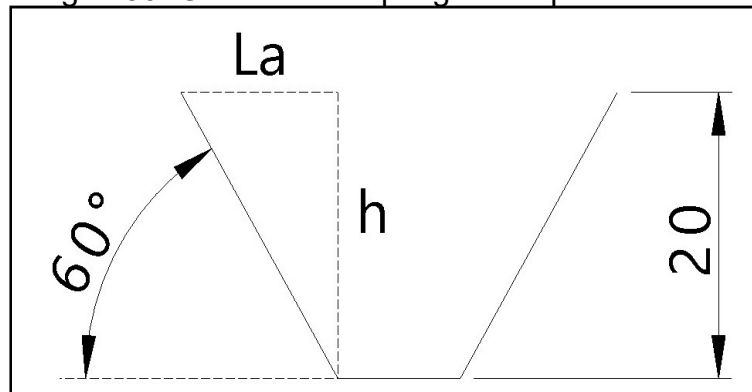
ag= ancho de la garganta

Reemplazando los valores se obtiene.

$$A3 = 0,070 \text{ m} * 0,091 \text{ m} = 6,37 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

Con el ángulo de reposo se procede a calcular el área mayor del polígono trapezoidal, tomando como altura 30cm, esta altura se toma de la medida real de una tolva para una máquina inyectora Main Group de la empresa sueliplast.

Imagen 56. Geometría de polígono trapezoidal



Para calcular el área mayor del polígono se procede a calcular la longitud agregada (La), la cual se debe agregar a las longitudes del área menor del polígono.

$$\text{Tan}(60^\circ) = \frac{h}{La}$$

$$La = \frac{h}{\text{Tan}(60^\circ)}$$

$$La = \frac{20 \text{ cm}}{\text{Tan}(60^\circ)}$$

$$La = 11,547 \text{ cm} = 0,11547 \text{ m}$$

Para hallar el área A2, se suma dos veces la longitud agregada al ancho y longitud de la garganta de la tolva, y a su vez se multiplican.

$$L = 0,091 \text{ m} + 2 * La$$

$$A = 0,070 \text{ m} + 2 * La$$

Donde:

L= Longitud del área A2

A= ancho del área A2

La= Longitud agregada

Reemplazando se obtiene.

$$L = 0,091 \text{ m} + 2 * 0,11547 \text{ m}$$

$$L = 0,32194 \text{ m}$$

$$A = 0,070 \text{ m} + 2 * 0,11547 \text{ m}$$

$$A = 0,30094 \text{ m}$$

Ahora se calcula el área A2.

$$A2 = L * A$$

$$A2 = 0,32194 \text{ m} * 0,30094 \text{ m}$$

$$A2 \approx 0,1 \text{ m}^2$$

La siguiente es la fórmula para calcular el Volumen de un polígono trapezoidal⁴⁹

$$V_{pt} = \frac{h2}{2} * (A3 + A2 + \sqrt{(A3 * A2)})$$

Donde:

V_{pt}= Volumen del polígono trapezoidal

h₂= Altura del polígono trapezoidal

A₂= Área mayor del polígono trapezoidal

A₃= Área menor del polígono trapezoidal

⁴⁹ CIFUENTES.Roosevelth. Diseño de una máquina extrusora para la empresa plastik de occidente. Tesis de grado. Universidad del Valle. 2011. 73p.

Reemplazando los valores.

$$V_{pt} = \frac{0,2 \text{ m}}{2} * (6,37 * 10^{-3} \text{ m}^2 + 0,1 \text{ m}^2 + \sqrt{(6,37 * 10^{-3} \text{ m}^2)^2 * (0,1 \text{ m}^2)^2})$$

$$V_{pt} = 0,01143 \text{ m}^3$$

Para calcular el volumen del prisma rectangular inferior, se tiene como restricción una altura de este de 10cm, el volumen es de;

$$V_{pi} = l * a * w$$

Donde:

V_{pi} = Volumen del prisma inferior

l = largo del área A2

a = ancho del área A2

w = alto

Reemplazando los datos.

$$V_{pi} = 0,1 \text{ m} * 0,091 \text{ m} * 0,070 \text{ m}$$

$$V_{pi} = 6,37 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

Con este dato se calcula el alto del prisma rectangular superior, conociendo su largo y ancho que son las mismas dimensiones del área 2.

$$V_{ps} = V_a - V_{pt} - V_{pi}$$

Donde:

V_{ps} = Volumen del prisma superior

V_a = Volumen de alimentación

V_{pt} = Volumen del polígono trapezoidal

V_{pi} = Volumen del prisma inferior

Reemplazando para despejar la altura del prisma rectangular superior.

$$V_{ps} = 0,031 \text{ m}^3 - 0,01143 \text{ m}^3 - 6,37 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$V_{ps} = 0,018933 \text{ m}^3$$

Con el valor de volumen del prisma superior, se procede a calcular su altura.

$$V_{ps} = l * a * h$$

Las dimensiones de largo y ancho son las mismas del área mayor del polígono trapezoidal, entonces su altura es;

$$h = \frac{V_{ps}}{l * a}$$

$$h = \frac{0,018933 \text{ m}^3}{0,32194 \text{ m} * 0,30094 \text{ m}}$$

$$h = 0,1954 \text{ m} \approx 0,2 \text{ m}$$

4.3.2.2 Espesor de pared de la tolva. Mediante cálculos analíticos de resistencia de la tolva, se calcula el espesor de la lámina de acero estructural ASTM A36, debido a que presenta buena resistencia mecánica a cargas estáticas, tomando como un tanque que está sometido a presión estática.

La presión estática máxima a la que está sometida la tolva es de;

$$P = \rho * g * h$$

Donde:

P = Presión estática en la tolva

ρ = Densidad del PVC flexible

g = Gravedad

h = Altura total de la tolva

Sabiendo que la altura total de la tolva es la altura del prisma rectangular y la altura del polígono trapezoidal 0,3 m+0,2150 m, se obtiene una presión de;

$$P = 1220 \text{ kg/m}^3 * 9,81 \text{ m/s}^2 * 0,5150 \text{ m}$$

$$P = 6163,623 \text{ Pa}$$

El límite de fluencia del acero estructural A36 es de 250 MPa⁵⁰, su esfuerzo cortante máximo es de⁵¹;

$$\tau_d = 0,577S_y$$

⁵⁰ Tomado de: http://www.acerosotero.cl/planchas_acero_carbono_astm_a36.html citado el 1 de junio de 2017.

⁵¹ MOTT. Robert. Diseño de elementos de máquinas. Editorial Pearson. Cuarta edición. México. 2006. 950p.

Donde:

τ_d = Esfuerzo cortante admisible

S_y = Esfuerzo de fluencia del acero ASTM A 36

$$\tau_d = 0,577 * 250 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = 144,25 \text{ MPa}$$

Tomando un factor de seguridad de 2 ya que existe una pequeña incertidumbre en la precisión de los cálculos, debido a que el esfuerzo cortante máximo al que puede estar sometida la tolva es de;

$$\tau_{\max} = \frac{\tau_d}{F_s}$$

$$\tau_{\max} = \frac{144,25 \text{ MPa}}{2}$$

$$\tau_{\max} = 72,125 \text{ MPa}$$

. El esfuerzo cortante máximo en la pared de la camisa está dado por⁵²;

$$\tau_{\max} = \frac{P r}{2 t}$$

Donde:

τ_{\max} = Esfuerzo cortante máximo

P = Presión estática

r = Radio de la tolva

t = Espesor de pared de la tolva

El radio de la tolva se toma como la mitad del largo del polígono trapezoidal, el cual tiene un valor de 0,32194 m, entonces el espesor de la tolva de alimentación es;

$$t = \frac{P r}{2 \tau_{\max}}$$

$$t = \frac{6163,623 \text{ Pa} * 0,4374 \text{ m}/2}{2 * 72,125 * 10^6 \text{ Pa}}$$

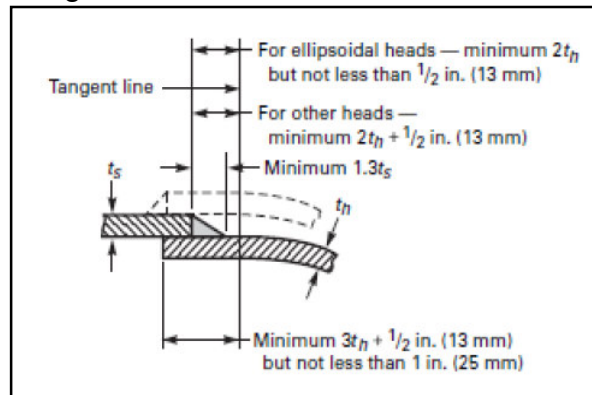
⁵² BEER. Ferdinand, JOHNSTON. Russell, DEWOLF. John, MAZUREK. David. Mecánica de materiales. Mc Graw Hill. Quinta edición. México. 2010. 817p.

$$t = 9,34 * 10^{-6} \text{ m} = 9,34 * 10^{-3} \text{ mm}$$

Como el espesor de pared de la tolva mínimo necesario es de magnitud muy pequeña, no existe restricción para este espesor, se selecciona un espesor comercial de 1/8in ó 3,172 mm.

4.3.2.3 Soldadura de la tolva. Se realiza una soldadura en contorno de un solo bisel de la tolva de alimentación, como lo muestra la imagen 57.

Imagen 57. Soldadura de la tolva



Fuente: ASME, I. Rules for construction of pressure vessels. New York: ASME.2010, p119.

Según la imagen 57, el cálculo del ancho de la soldadura es:

$$w = 1,3 * t_s$$

Donde

w = Ancho del cordón de soldadura

ts = Espesor de pared de la tolva

$$w = 1,3 * \frac{1}{8} \text{ in}$$

$$w = 0,1625 \text{ in} \approx \frac{3}{16} \text{ in}$$

Se aproxima a una medida comercial de soldadura, en este caso a 3/16 in, el método para aplicar la soldadura es con electrodo revestido, siendo este el más económico soldadura, el electrodo seleccionado es el AWS E6013, debido a que la tolva no está sometida a grandes esfuerzos, la letra E significa que es un electrodo de arco eléctrico, el número 60 nos indica que su resistencia es de 60

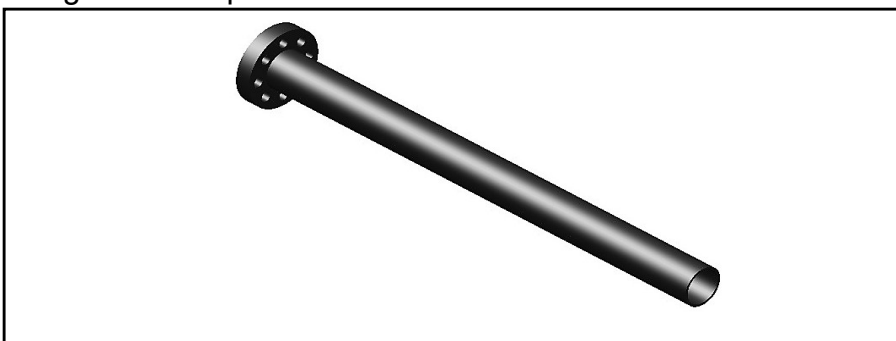
lb/in² o su equivalencia a sistema internacional de 0,413 MPa, el numero 1 indica que esta soldadura se puede aplicar en todas las posiciones, y por último el numero 3 indica que el electrodo se puede usar con corriente alterna y continua⁵³. Se dice que el electrodo es el adecuado para esta aplicación, los criterios que se tuvieron en cuenta para seleccionar este tipo de soldadura son:

- ✓ El esfuerzo aplicado en la tolva es de 6163 Pa mucho menor que la resistencia a la tracción del electrodo, la cual es de 413685 Pa
- ✓ La tolva al contar con una geometría de polígono trapezoidal se debe aplicar la tolva en una posición inclinada
- ✓ Al poder contar con corriente alterna o continua disminuye la complejidad de la soldadura viéndose beneficiado en los costos

4.3.3 Camisa del tornillo. Se encuentra ubicada recubriendo al tornillo y en conjunto calientan y transportan el material. En su superficie externa se encuentran ubicadas las bandas calefactoras que calientan la camisa, mediante el mecanismo de transferencia de calor por conducción, transmite el calor al material ubicado en su interior, este material se calienta de manera uniforme hasta llegar a su temperatura de trabajo. Para la selección del material de la camisa o cilindro de inyección, se tiene en cuenta los costos, la transferencia de calor y su resistencia. Se selecciona el acero AISI SAE 1020 por presentar las siguientes características:

- ✓ Bajo costo, es uno de los aceros de menor costo en el mercado
- ✓ Presenta una alta conductividad térmica, 52 W/m°C
- ✓ Es resistente a las temperaturas de trabajo (200°C-250°C), sin sufrir cambios en las propiedades físicas o químicas
- ✓ Posee facilidad de maquinado

Imagen 58. Esquema camisa



4.3.3.1 Espesor de la camisa. Para conocer el espesor de la camisa, es necesario realizar el cálculo de los esfuerzos a los cuales está sometido debido a la máxima presión de operación. La máxima presión se encuentra en la zona de dosificación

⁵³ Disponible en: <http://www.explicofacil.com/2015/04/clasificacion-de-electrodos.html> citado el 12 de julio de 2017.

que es la misma a la que sale el material desde la boquilla, esta presión equivale a 70,59 MPa. La camisa se toma como un recipiente cilíndrico.

El diámetro interior de la camisa esta dado por;

$$d_i = D + 2 * \delta$$

Donde;

d_i = Diámetro interior de la camisa

D = Diámetro del tornillo

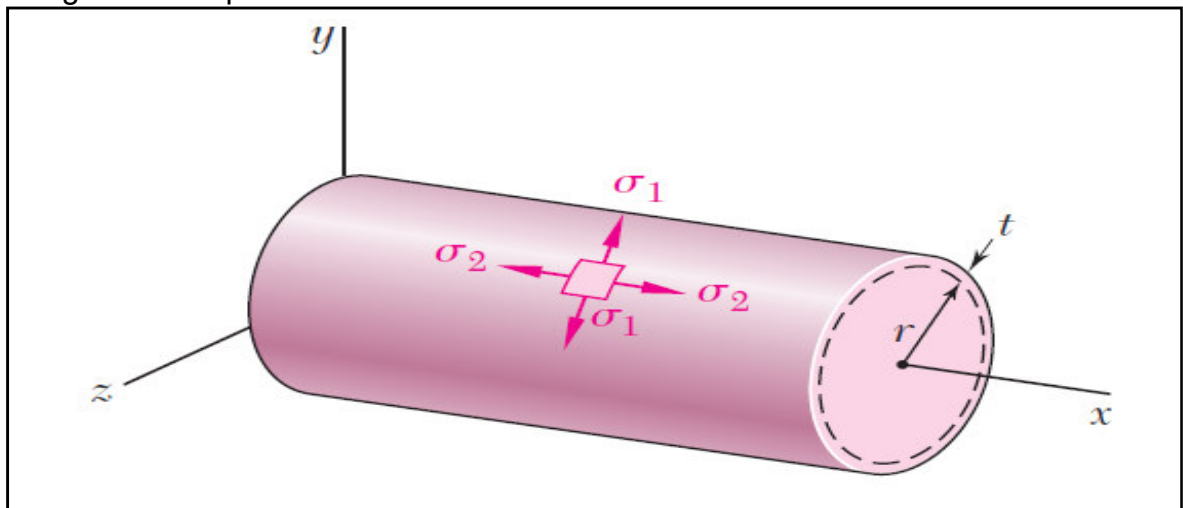
δ = Holgura radial camisa-tornillo

Para la holgura total al diámetro es necesario sumar dos veces la holgura radial, la cual es calculada en el numeral 4.3.1.6, reemplazando los valores se tiene;

$$d_i = 70\text{mm} + 2 * 0,14\text{mm}$$

$$d_i = 70,28\text{mm}$$

Imagen 59. Esquema esfuerzos en la camisa



Fuente: BEER. Ferdinand, JOHNSTON. Russell, DEWOLF. John, MAZUREK. DAVID. Mecánica de materiales. Mc Graw Hill. Quinta edición. México. 2010. 817p.

En la imagen 59 se observa el sentido de los esfuerzos, el esfuerzo de costilla σ_1 y el esfuerzo longitudinal σ_2 . Los esfuerzos que se presentan en el recipiente cilíndrico son debidos a la presión de operación en la camisa y la presión hidrostática del material, la presión hidrostática es despreciable con respecto a la presión de operación que tiene un valor de 70,59 MPa, al ser la presión hidrostática mucho menor que la de operación.

Para un acero AISI SAE 1020 el esfuerzo de fluencia es de $S_y = 205 \text{ MPa}$ ⁵⁴, según Mott: el mejor indicador de la falla en materiales dúctiles, debido al esfuerzo cortante y constante, es la teoría de distorsión⁵⁵, el esfuerzo cortante admisible se obtiene de;

$$\tau_d = 0,577S_y$$

Donde;

τ_d = Esfuerzo cortante admisible

S_y = Esfuerzo de fluencia

Reemplazando se obtiene un esfuerzo cortante admisible de;

$$\tau_d = 0,577 * 205 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = 118,285 \text{ MPa}$$

Para evitar la falla por cortante del material, se selecciona un factor de seguridad de 2 el cual nos da una medida relativa de seguridad alta del elemento con respecto a los esfuerzos a los que está sometido, con este valor se calcula el esfuerzo cortante máximo al que se puede someter la camisa fabricado de acero AISI 1020.

$$\tau_{\max} = \frac{\tau_d}{FS}$$

Donde;

τ_{\max} = Esfuerzo cortante máximo

τ_d = Esfuerzo cortante admisible

FS = Factor de seguridad

$$\tau_{\max} = \frac{118,285 \text{ MPa}}{2}$$

$$\tau_{\max} = 59,1425 \text{ MPa}$$

Este valor de esfuerzo cortante es el máximo que se le puede aplicar a la camisa de inyección, reemplazando en la ecuación del esfuerzo cortante en la camisa se

⁵⁴ Tomado de: [http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI% 2010 20.Pdf](http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201020.Pdf). Citado el 21 de abril de 2017

⁵⁵ MOTT. Robert. Diseño de elementos de máquinas. Editorial Pearson. Cuarta edición. México. 2006. 950p.

obtiene el espesor. El esfuerzo cortante máximo en la pared de la camisa está dado por⁵⁶:

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} \sigma_1 = \frac{p r}{2 t}$$

Donde;

τ_{\max} . = Esfuerzo cortante máximo

σ_1 = Esfuerzo de costilla

p = Presión máxima en la pared

r = Radio interno de la camisa

t = espesor de la camisa

Despejando para hallar el espesor de la camisa;

$$t = \frac{p r}{2 * \tau_{\max}}$$

Reemplazando los valores se obtiene;

$$t = \frac{p r}{2 * \tau_{\max}}$$

$$t = \frac{70,59 \text{ MPa} * \frac{0,07028 \text{ m}}{2}}{2 * 59,1425 \text{ MPa}}$$

$$t = 0,02097 \text{ m} * \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} = 20,97 \text{ mm} \approx 21 \text{ mm}$$

Se tiene un espesor de pared de la camisa de inyección de 21 mm, con este valor se determina el tiempo de calentamiento de la superficie interior de la camisa y las pérdidas de calor hacia los alrededores.

4.3.3.2 Tiempo de calentamiento de la camisa. Con el valor del espesor, se calcula el tiempo que tarda en llegar el material de temperatura ambiente hasta una temperatura cercana a la temperatura de trabajo, a través de la camisa de inyección.

Se hace un cálculo de transferencia de calor por el mecanismo de conducción transitoria.

⁵⁶ BEER. Ferdinand, JOHNSTON. Russell, DEWOLF. John, MAZUREK. David. Mecánica de materiales. Mc Graw Hill. Quinta edición. México. 2010. 817p.

Cuadro 9. Propiedades térmicas del acero AISI SAE 1020

Conductividad térmica	Difusividad térmica	Coefficiente de transf. de calor por convección	Rugosidad	Calor específico
80,2 W/m°C	$22,8 \cdot 10^{-6}$ m ² /s	128 W/m ² °C	1,4 μm	447 J/kg°C

Tomado de: CENGEL.Y, TURNER.R. Fundamentals of thermal fluid sciences. New York. Mc Graw Hill. Second edition.2005.1088p.

Como primer dato a calcular, se debe conocer el número adimensional biot, el cual se obtiene de la siguiente ecuación⁵⁷

$$Bi = \frac{h * l_c}{k}$$

Donde;

Bi = Numero de biot

h = Coeficiente de transferencia de calor por conducción

l_c = longitud característica del cilindro

k = Conductividad térmica del material

Sabiendo que la longitud característica del cilindro es el radio exterior de la camisa, el cual está dado por: radio interno + espesor de pared.

$$R_{ext} = \frac{70,28 \text{ mm}}{2} + 21 \text{ mm}$$

$$R_{ext} = 56,14 \text{ mm} = 0,05614 \text{ m}$$

Reemplazando estos valores se obtiene

$$Bi = \frac{128 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 0,05614 \text{ m}}{80,2 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}}$$

$$Bi = 0,0896$$

El valor de la relación de temperaturas es adimensional donde se asume que la temperatura ambiente promedio de la ciudad de Bogotá D.C es de 14°C⁵⁸, la temperatura que se toma como referencia para conocer el tiempo que toma llegar

⁵⁷ CENGEL.Y, TURNER.R. Fundamentals of thermal fluid sciences. New York. Mc Graw Hill. Second edition.2005.1088p.

⁵⁸ Tomado de: <http://www.bogota.gov.co/ciudad/clima> citado el 21 de abril de 2017

hasta ella es de 190°C, la cual está muy cercana a la temperatura de trabajo que es de 200°C, esta relación se calcula mediante⁵⁹:

$$\theta_{(r,t)} = \frac{T_{(r,t)} - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}}$$

Donde:

$\theta_{(r,t)}$ = Relación adimensional de temperaturas
 $T_{(r,t)}$ = Temperatura donde se requiere saber el tiempo
 T_i = Temperatura inicial
 T_{∞} = Temperatura de trabajo

Reemplazando los valores se obtiene;

$$\theta_{(r,t)} = \frac{190^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}}{14^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}}$$

$$\theta_{(r,t)} = 0,05376$$

Con el número de biot se obtienen los coeficientes A1 y λ_1 , mediante el uso de la siguiente tabla.

⁵⁹ CENGEL.Y, TURNER.R. Fundamentals of termal fluid sciences. New York. Mc Graw Hill. Second edition.2005.1088p

Tabla 17. Coeficientes para la conducción transitoria

Bi	Plane Wall		Cylinder		Sphere	
	λ_1	A_1	λ_1	A_1	λ_1	A_1
0.01	0.0998	1.0017	0.1412	1.0025	0.1730	1.0030
0.02	0.1410	1.0033	0.1995	1.0050	0.2445	1.0060
0.04	0.1987	1.0066	0.2814	1.0099	0.3450	1.0120
0.06	0.2425	1.0098	0.3438	1.0148	0.4217	1.0179
0.08	0.2791	1.0130	0.3960	1.0197	0.4860	1.0239
0.1	0.3111	1.0161	0.4417	1.0246	0.5423	1.0298
0.2	0.4328	1.0311	0.6170	1.0483	0.7593	1.0592
0.3	0.5218	1.0450	0.7465	1.0712	0.9208	1.0880
0.4	0.5932	1.0580	0.8516	1.0931	1.0528	1.1164
0.5	0.6533	1.0701	0.9408	1.1143	1.1656	1.1441
0.6	0.7051	1.0814	1.0184	1.1345	1.2644	1.1713
0.7	0.7506	1.0918	1.0873	1.1539	1.3525	1.1978
0.8	0.7910	1.1016	1.1490	1.1724	1.4320	1.2236
0.9	0.8274	1.1107	1.2048	1.1902	1.5044	1.2488
1.0	0.8603	1.1191	1.2558	1.2071	1.5708	1.2732
2.0	1.0769	1.1785	1.5995	1.3384	2.0288	1.4793
3.0	1.1925	1.2102	1.7887	1.4191	2.2889	1.6227
4.0	1.2646	1.2287	1.9081	1.4698	2.4556	1.7202
5.0	1.3138	1.2403	1.9898	1.5029	2.5704	1.7870
6.0	1.3496	1.2479	2.0490	1.5253	2.6537	1.8338
7.0	1.3766	1.2532	2.0937	1.5411	2.7165	1.8673
8.0	1.3978	1.2570	2.1286	1.5526	2.7654	1.8920
9.0	1.4149	1.2598	2.1566	1.5611	2.8044	1.9106
10.0	1.4289	1.2620	2.1795	1.5677	2.8363	1.9249
20.0	1.4961	1.2699	2.2880	1.5919	2.9857	1.9781
30.0	1.5202	1.2717	2.3261	1.5973	3.0372	1.9898
40.0	1.5325	1.2723	2.3455	1.5993	3.0632	1.9942
50.0	1.5400	1.2727	2.3572	1.6002	3.0788	1.9962
100.0	1.5552	1.2731	2.3809	1.6015	3.1102	1.9990
∞	1.5708	1.2732	2.4048	1.6021	3.1416	2.0000

Fuente: CENGEL.Y, TURNER.R. Fundamentals of termal fluid sciences. New York. Mc Graw Hill. Second edition.2005.1088p.

Se interpola para conocer los coeficientes, tomando el número de biot como x, al coeficiente λ_1 como y, el coeficiente A_1 como z se obtiene en la interpolación:

Cuadro 10. Coeficiente para la conducción

	X	Y	Z
1	0,08	0,3960	1,0197
2	0,0896	Y2	Z2
3	0,1	0,4417	1,0246

Aplicando la fórmula de interpolación lineal, se obtiene el valor de λ_1 para el número de biot.

$$Y_2 = Y_1 + \frac{X_2 - X_1}{X_3 - X_1} (Y_3 - Y_1)$$

$$Y_2 = 0,3960 + \frac{0,0896 - 0,08}{0,1 - 0,08} (0,4417 - 0,3960)$$

$$Y_2 = 0,417936 = \lambda_1$$

Aplicando la fórmula de la interpolación lineal para hallar el valor de A_1 para el valor del biot.

$$Z_2 = Z_1 + \frac{X_2 - X_1}{X_3 - X_1} (Z_3 - Z_1)$$

$$Z_2 = 1,0197 + \frac{0,0896 - 0,08}{0,1 - 0,08} (1,0243 - 1,0197)$$

$$Z_2 = 1,021908 = A_1$$

Sabiendo que para la función Bessel de primer orden u orden cero, $\varepsilon = \lambda_1$, se utiliza la siguiente tabla, para hallar esta función.

Tabla 18. Funciones Bessel de orden cero y uno

ε	$J_0(\varepsilon)$	$J_1(\varepsilon)$			
0.0	1.0000	0.0000			
0.1	0.9975	0.0499	1.5	0.5118	0.5579
0.2	0.9900	0.0995	1.6	0.4554	0.5699
0.3	0.9776	0.1483	1.7	0.3980	0.5778
0.4	0.9604	0.1960	1.8	0.3400	0.5815
0.5	0.9385	0.2423	1.9	0.2818	0.5812
0.6	0.9120	0.2867	2.0	0.2239	0.5767
0.7	0.8812	0.3290	2.1	0.1666	0.5683
0.8	0.8463	0.3688	2.2	0.1104	0.5560
0.9	0.8075	0.4059	2.3	0.0555	0.5399
			2.4	0.0025	0.5202
1.0	0.7652	0.4400	2.6	-0.0968	-0.4708
1.1	0.7196	0.4709	2.8	-0.1850	-0.4097
1.2	0.6711	0.4983	3.0	-0.2601	-0.3391
1.3	0.6201	0.5220	3.2	-0.3202	-0.2613
1.4	0.5669	0.5419			

Fuente: CENGEL.Y, TURNER.R. Fundamentals of thermal fluid sciences. New York. Mc Graw Hill. Second edition.2005. 1088p.

Se interpola entre los valores siguientes al valor de $\varepsilon = \lambda_1$, se tienen los siguientes datos, donde X es ε , Y es el valor de $J_0(\varepsilon)$.

Cuadro 11. Interpolación Funciones Bessel de orden cero y uno

	X	Y
1	0,4	0,9604
2	0,041793	Y2
3	0,5	0,9385

Aplicando la fórmula de la interpolación lineal para hallar el valor de $J_0(\varepsilon)$, para el valor de ε .

$$Y_2 = Y_1 + \frac{X_2 - X_1}{X_3 - X_1} (Y_3 - Y_1)$$

$$Y_2 = 0,9604 + \frac{0,417936 - 0,4}{0,5 - 0,4} (0,9385 - 0,9604)$$

$$Y_2 = 0,9564 = J_0(\varepsilon)$$

De la fórmula de relación de temperaturas adimensional⁶⁰ se despeja θ_0 .

$$\theta_0 = \frac{\theta(r,t)}{J_0(\varepsilon)}$$

Reemplazando los valores se obtiene

$$\theta_0 = \frac{0,05376}{0,9564}$$

$$\theta_0 = 0,05621$$

Con este valor, se halla el número de Fourier, el cual es un valor adimensional de la ecuación para cilindros en conducción transitoria⁶¹.

$$\theta_0 = A_1 * e^{-\lambda_1 * T}$$

Despejando el número de Fourier se obtiene;

$$T = \frac{\ln\left(\frac{\theta_0}{A_1}\right)}{-\lambda_1}$$

⁶⁰ Fuente: CENGEL.Y, TURNER.R. Fundamentals of thermal fluid sciences New York. Mc Graw Hill. Second edition.2005. 1088p.

⁶¹ Fuente: CENGEL.Y, TURNER.R. Fundamentals of thermal fluid sciences New York. Mc Graw Hill. Second edition.2005. 1088p.

Reemplazando los valores.

$$\tau = \frac{\ln\left(\frac{0,05621}{1,021908}\right)}{-0,417936}$$
$$\tau = 6,9396$$

De la ecuación de Fourier se despeja el tiempo que tarde en llegar la camisa a esa temperatura.

$$t = \frac{L^2 * \tau}{\alpha}$$

Donde:

L= Longitud característica del cilindro

τ = Numero de Fourier

α = Difusividad térmica

Reemplazando los valores para la camisa de inyección de acero 1020.

$$t = \frac{(0,05614 \text{ m})^2 * 6,939656}{22,8 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

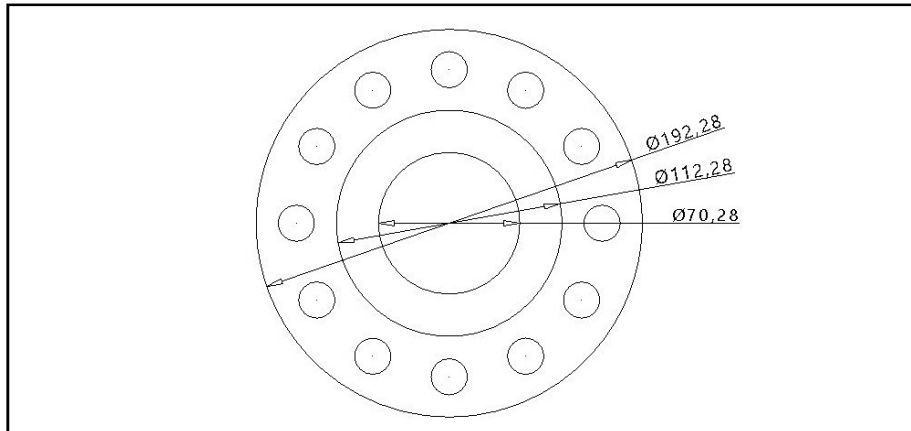
$$t = 959,2855\text{s} \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) = 15,98 \text{ min}$$

Cuando se encienden las resistencias eléctricas, las cuales van conectadas a la superficie exterior de la camisa, se debe esperar 15,98 minutos para que la superficie interior esté 190°C, es decir se llega a la temperatura de trabajo (200°C) en aproximadamente 20 minutos.

4.3.3.3 Sujeción de la camisa. La camisa está apoyada en el motorreductor, que transmite la potencia al tornillo y se sujeta con el uso de tornillos de cabeza Allen.

El esquema de la disposición de los tornillos se muestra en la imagen 60.

Imagen 60. Esquema disposición tornillos de sujeción en la camisa



La imagen 60 muestra la vista frontal de la camisa con la disposición de la sujeción, que se hace con 12 tornillos de cabeza Allen, el espesor "e" es de 40mm, es decir, el diámetro exterior de la superficie que estará sujeta al motorreductor es de 112,28 mm+80 mm, es decir 192,28 mm, en la imagen 58. Se muestra una vista en isométrico del esquema de la camisa con su respectiva sujeción. Se calcula la fuerza a la que estará sometido cada tornillo.

Para hallar la fuerza de cada tornillo se tiene en cuenta la presión de inyección que hace que se genere el esfuerzo en la sujeción, esta presión se da en dirección axial, es decir, paralela al eje de la camisa. La fuerza aplicada en la superficie de contacto de la camisa donde esta se apoya es:

$$F = P * A$$

Dónde:

F = Fuerza aplicada en el apoyo de la camisa

P = Presión de inyección

A = Área del apoyo

La superficie de apoyo es el área transversal total de la camisa, menos el área interior de la camisa donde está alojado el tornillo.

$$F = 70,59 \text{ MPa} * \frac{\pi}{4} * ((0,19228 \text{ m})^2 - (0,11228 \text{ m})^2)$$

$$F = 1,3508 \text{ MN} = 1350,8 \text{ kN}$$

Esta fuerza soporta todos los tornillos, para conocer la fuerza de cada sujetador es necesario dividir en el número de tornillos.

$$F_t = \frac{1350,8 \text{ kN}}{12}$$

$$F_t = 112,567 \text{ kN}$$

Se selecciona el acero de clase número 10,9 para la fabricación de los tornillos, el cual presenta alta resistencia para conexiones entre acero, este es de estructura martensítica al bajo carbono, cuya resistencia última es de 1040MPa, una resistencia a la fluencia es de 940MPa y su resistencia de prueba es de 830MPa⁶². Tomando un factor de seguridad de 1,5, ya que con este valor nos aseguramos de que el esfuerzo de fluencia sea 1,5 veces mayor que el esfuerzo de tensión máximo en el tornillo, para que no falle ante las cargas a las que está sometido.

$$N_y = \frac{S_y}{\sigma_b}$$

$$\sigma_b = \frac{S_y}{N_y}$$

Donde:

σ_b = Esfuerzo de tensión máximo en el tornillo

S_y = Resistencia de fluencia

N_y = Factor de seguridad contra la fluencia

Reemplazando los valores se obtiene.

$$\sigma_b = \frac{940 \text{ MPa}}{1,5}$$

$$\sigma_b = 626,67 \text{ MPa}$$

Teniendo el esfuerzo de tensión máximo en el perno, se calcula el área transversal adecuada para que el tornillo resista la carga aplicada.

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t}$$

Donde:

σ_b = Esfuerzo de tensión máximo en el tornillo

F_b = Fuerza aplicada en el tornillo

A_t = Área transversal del tornillo

⁶² Tomado de: http://www.ahmsa.com/Acero/Complem/Manual_Construccion_2013/Capitulo8.pdf citado el 22 de abril de 2017

Reemplazando para obtener el área de sección transversal del tornillo.

$$A_t = \frac{F_b}{\sigma_b}$$

$$A_t = \frac{112567 \text{ N}}{626670000 \text{ Pa}}$$

$$A_t = 1,7962 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

A partir de la ecuación para hallar el área de un cuerpo cilíndrico se calcula el diámetro nominal del tornillo.

$$D_{nt} = \sqrt{\frac{4 * A_t}{\pi}}$$

Donde:

D_{nt} = Diámetro nominal del tornillo

A_t = Área transversal del tornillo

$$D_{nt} = \sqrt{\frac{4 * 1,7962 * 10^{-4} \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D_{nt} = 0,01512 \text{ m}$$

Por conversión de unidades para convertir de metros a milímetros.

$$0,01512 \text{ m} = 0,01512 \text{ m} \left(\frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} \right)$$

$$0,01512 = 15,12 \text{ mm} \approx 16 \text{ mm}$$

Este valor se aproxima a un diámetro nominal más cercano a una medida comercial, para este caso se aproxima a 16 mm, es decir se requieren 12 tornillos con un diámetro nominal de 16 mm.

Es una práctica común precargar la junta o unión apretando los pernos con un torque suficiente para crear cargas a tensión cercanas a su resistencia de prueba. Para ensambles cargados estáticamente se utiliza algunas veces una precarga que genere un esfuerzo en el perno tan elevado como el 90% de la resistencia de

prueba. Para esta aplicación la precarga es del 80% de la resistencia de prueba, por lo tanto, la precarga será de⁶³:

$$F_i = \%Sp * A_t$$

Donde:

F_i = Precarga

S_p = Resistencia de prueba

A_t = Área transversal del tornillo

Entonces la precarga será de:

$$F_i = 80\% * 830 * 10^6 \text{ Pa} * \frac{\pi}{4} * 0,016 \text{ m}^2$$

$$F_i = 133505,1214 \text{ N}$$

La longitud de cuerda es de:

$$L_{\text{cuerda}} = 2D_{\text{nt}} + 0,0127 \text{ m}$$

Donde:

L_{cuerda} = Longitud de cuerda

D_{nt} = Diámetro nominal del tornillo

$$L_{\text{cuerda}} = 2 * 0,016 \text{ m} + 0,0127 \text{ m}$$

$$L_{\text{cuerda}} = 0,0447 \text{ m}$$

Se tiene una longitud total del tornillo de 100 mm que equivale a 0,1 m, la longitud del vástago sin rosca es de:

$$L_s = L_{\text{total}} - L_{\text{cuerda}}$$

Donde:

L_s = Longitud del vástago sin rosca

L_{total} = Longitud total del tornillo

L_{cuerda} = Longitud de cuerda

$$L_s = 0,1 \text{ m} - 0,0447 \text{ m}$$

⁶³ NORTON. Robert. Diseño de máquinas un enfoque integrado. Editorial Pearson. México. Cuarta edición. 2011. 892p.

$$L_s = 0,0553 \text{ m}$$

La sujeción o la longitud roscada está dada por:

$$L_t = L_u - L_s$$

Donde:

L_t = Longitud de la sujeción

L_u = Longitud de la unión

L_s = Longitud del vástago sin rosca

Al ser un agujero ciego, la longitud de la unión es igual a la longitud del tornillo.

$$L_t = 0,1 \text{ m} - 0,0553 \text{ m}$$

$$L_t = 0,0447 \text{ m}$$

El módulo de elasticidad del material de fabricación del tornillo es de $E_p=206 \text{ GPa}$, entonces la rigidez del perno está dada por⁶⁴;

$$K_b = \left(\frac{L_t}{A_t * E_p} + \frac{L_s}{A_t * E_p} \right)$$

Donde;

K_b = Rigidez del perno

L_t = Longitud de la sujeción

A_t = Área transversal del tornillo

L_s = Longitud del vástago sin rosca

E_p = Modulo de elasticidad del perno

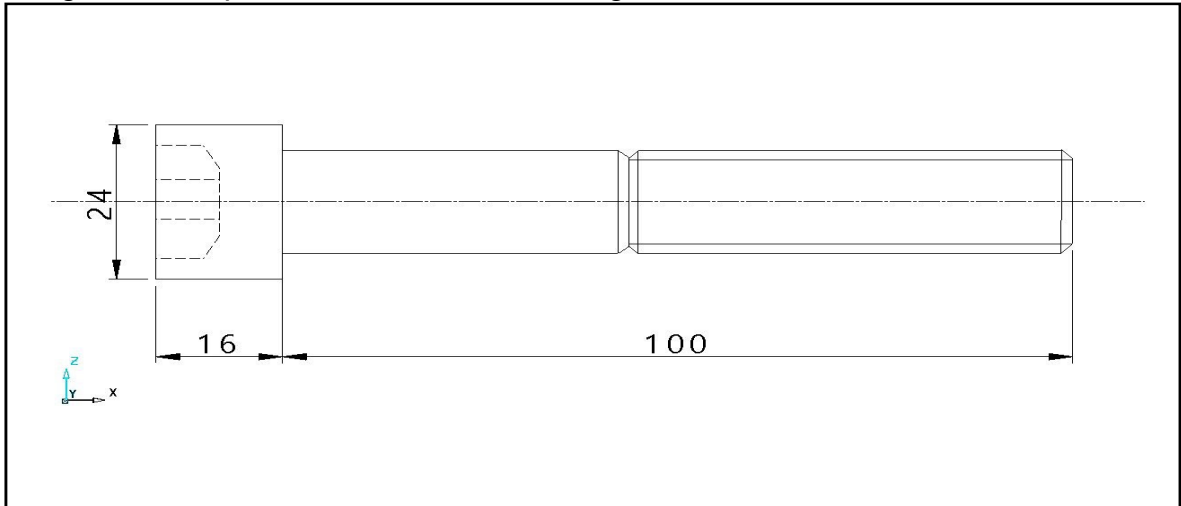
$$K_b = \left(\frac{0,0447 \text{ m}}{2,010 * 10^{-4} \text{ m}^2 * 206 * 10^9 \text{ Pa}} + \frac{0,0553 \text{ m}}{2,010 * 10^{-4} \text{ m}^2 * 206 * 10^9 \text{ Pa}} \right)^{-1}$$

$$K_b = 414060000 \text{ N/m}$$

Se muestra el esquema de las dimensiones del tornillo Allen para la sujeción de la camisa en la imagen 61.

⁶⁴ NORTON. Robert. Diseño de máquinas un enfoque integrado. Editorial Pearson. México. Cuarta edición. 2011. 892p.

Imagen 61. Esquema tornillo Allen M16 según Din 912



Tomado de: <http://www.echebarriasuministros.com/images/catalogo/13-tornilleria-y-remaches.pdf> citado el 22 de abril de 2017.

4.3.4 Tobera. Es la pieza situada en el extremo del cilindro de inyección que da salida al material fundido hacia la boquilla y de este a los canales del molde. Se introduce al cilindro de inyección mediante ajuste con apriete y tornillos de sujeción tipo Allen, es posible intercambiar con facilidad. También se utilizan tornillos debido a la alta presión existente en la camisa, la boquilla es conectada a la tobera mediante roscado.

Ajuste con interferencia: La camisa se calienta para que se expanda, se introduce la superficie de ajuste de la tobera y al enfriarse la camisa queda totalmente ajustada.

Imagen 62. Tobera



En la imagen 62 se muestra la tobera cuyas dimensiones dependen de la camisa, el diámetro de la superficie de ajuste es el diámetro interno de la camisa al igual que el diámetro mayor de la tobera es el diámetro exterior de la camisa y el diámetro del agujero roscado donde está sujeta la boquilla es de 20 mm. El material de fabricación es el acero AISI SAE 1020, el mismo acero utilizado para la fabricación de la camisa, por contar con las propiedades anteriormente mencionadas y de bajo costo.

4.3.4.1 Pérdida de presión en la tobera. De acuerdo con las anteriores dimensiones se determina la pérdida de presión entre la salida de la camisa y la salida de la tobera para determinar la presión con la cual ingresa el material a la boquilla de doble salida.

Con la ecuación general de energía se despeja el valor de la presión en el punto 2, para esto el material a la salida de la camisa de inyección se toma como punto 1 y el material a la salida de la tobera o entrada de la boquilla de doble salida será el punto 2, la temperatura se mantiene constante, por lo tanto, la viscosidad del PVC es constante, tomando como base las boquillas existentes en la empresa Tridimensionales, se obtiene un diámetro interno de la boquilla de:

$$D_i = D_e - (2 * e)$$

Donde:

D_i = Diámetro interno de la boquilla

D_e = Diámetro externo, tomada de las dimensiones de la tobera

e = Espesor de pared, para la entrada de la boquilla 5mm

Reemplazando los valores se obtiene un diámetro interno de la boquilla de:

$$D_i = 20 \text{ mm} - (2 * 5 \text{ mm})$$

$$D_i = 10 \text{ mm}$$

El caudal calculado en el capítulo 4.1 arroja un valor de 17,1356 cm³/s, convirtiendo este valor a metros cúbicos, para efectos de cálculo de la pérdida de presión, se tiene valor de:

$$17,1356 \text{ cm}^3/\text{s} = 17,1356 \text{ cm}^3/\text{s} \left(\frac{1 \text{ m}^3}{(100 \text{ cm})^3} \right)$$

$$17,1356 \text{ cm}^3/\text{s} = 1,71356 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

El diámetro interno de la camisa es de 70,28 mm y el diámetro interior de la boquilla por donde fluye el PVC fundido es de 10 mm, el caudal es constante en los dos puntos por lo tanto se tiene una velocidad de:

$$v = \frac{Q}{A_c}$$

Donde:

v = Velocidad del fluido

Q = Caudal

A_c = Área del canal por donde fluye el PVC, en la camisa o boquilla

La velocidad a la salida de la camisa es:

$$v_c = \frac{1,71356 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4} (0,07028 \text{ m})^2}$$

$$v_c = 4,4171 * 10^{-3} \text{ m/s}$$

La velocidad a la salida de la tobera es:

$$v_t = \frac{1,71355 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4} (0,01 \text{ m})^2}$$

$$v_t = 0,2181 \text{ m/s}$$

Se halla el número de Reynolds. Si este valor es menor a 2000, se dice que el fluido se encuentra en régimen laminar, si es mayor a 4000 el fluido se encuentra en régimen turbulento y la ecuación para hallar el factor de fricción es diferente para los dos casos, el número de Reynolds se calcula mediante la siguiente ecuación⁶⁵:

$$Re = \frac{v * D * \rho}{\mu}$$

Donde:

Re = Numero de Reynolds en la tobera

v = Velocidad del fluido en el punto, en m/s

⁶⁵ CENGEL. Yunus, CIMBALA. John. Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones. 1 edición. México. 2006. 997p.

D = Diámetro, en m

ρ = Densidad del fluido, en Kg/m³

μ = Viscosidad del fluido a la temperatura de trabajo, en Pa*s

Para el Reynolds a la salida de la camisa:

$$Re1 = \frac{4,4171 * 10^{-3} \frac{m}{s} * 0,07028 m * 1200 kg/m^3}{900 Pa * s}$$

$$Re1 = 4,1391 * 10^{-4}$$

Con el valor Reynolds en la camisa se dice que el fluido está en régimen totalmente laminar.

Valor del Reynolds a la salida de la tobera:

$$Re2 = \frac{0,2181 \frac{m}{s} * 0,01 m * 1220 kg/m^3}{900 Pa * s}$$

$$Re2 = 2,956 * 10^{-3}$$

En ambos casos el fluido se encuentra en un régimen totalmente laminar. Las pérdidas de energía, según la mecánica de fluidos están dadas por:

$$hl = F \frac{L}{D} * \frac{vt^2}{2g} + \left(Ft * \Sigma \frac{Le}{D} \right) * \frac{vt^2}{2g}$$

Donde:

hl = Perdidas de energía

F = Factor de fricción

L = Longitud entre el punto de la salida de la camisa y la salida de la tobera

D = Diámetro de la salida de la tobera

vt = Velocidad en la tobera

g = Gravedad

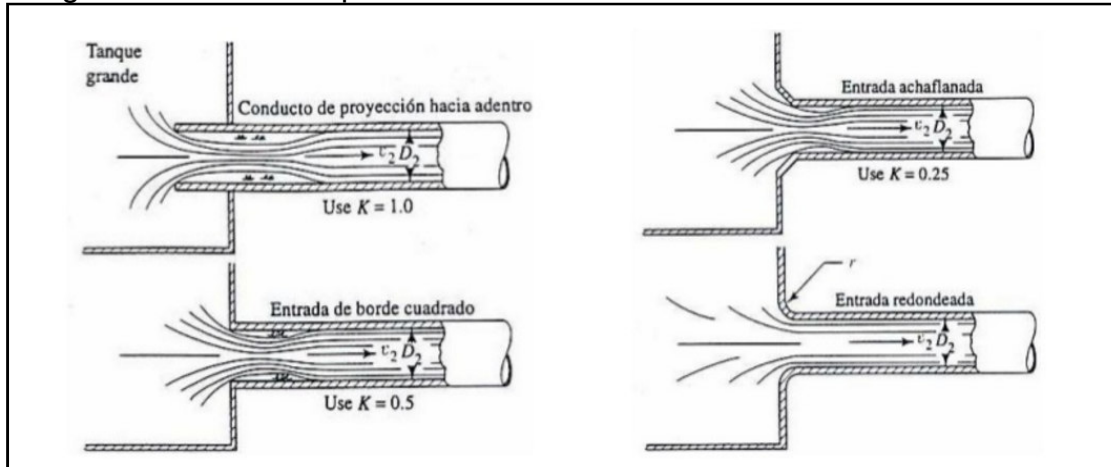
Ft = Factor de fricción para los accesorios

Le/D = Longitud equivalente, sobre diámetro equivalente para cada uno de los accesorios

Como el Reynolds es totalmente laminar, el factor de fricción es 64/Re, la longitud se toma como el espesor total de la tobera, es decir la longitud donde el diámetro disminuye de 70,28 mm hasta los 10 mm cuya longitud es de 45 mm tomando como base una longitud de tobera existente en la empresa tridimensionales, el

diámetro del punto 2 es de 10 mm. Como perdidas menores se tiene una reducción brusca de sección, el coeficiente K se muestra en la imagen 63.

Imagen 63. Factores K para entradas



Tomado de: <https://es.slideshare.net/davpett/guia-operaciones-unitarias-2> citado el 3 de mayo de 2017.

La boquilla se toma como un conducto de proyección hacia adentro, cuyo coeficiente K es 1,0, según la imagen 63, el coeficiente K es:

$$K = Ft * \frac{Le}{D} = 1,0$$

La ecuación para pérdidas de energía puede ser escrita como:

$$hl = \frac{64}{Re^2} * \frac{L}{D} * \frac{vt^2}{2g} + \left(K * \frac{vt^2}{2g} \right)$$

Reemplazando los valores, se obtienen pérdidas de energía de:

$$hl = \frac{64}{2,956 * 10^{-3}} * \frac{0,045 \text{ m}}{0,01 \text{ m}} * \frac{(0,2181 \text{ m/s})^2}{19,6 \text{ m/s}^2} + \left(1,0 * \frac{(0,2181 \text{ m/s})^2}{19,6 \text{ m/s}^2} \right)$$

$$hl = 240,36 \text{ m}$$

Planteando la ecuación general de energía para los dos puntos, la ecuación general de energía entre los dos puntos es:

$$\frac{P_1}{\gamma_i} + \frac{vc^2}{2g} + Z_1 - hl = \frac{P_2}{\gamma_i} + \frac{vt^2}{2g} + Z_1$$

Donde:

P_1 = Presión a la salida de la camisa, en Pa
 γ_i = Peso específico del PVC a temperatura de trabajo, en N/m³
 v_c = Velocidad en la camisa, en m/s
 g = Gravedad, en m/s²
 Z_1 = Altura a la salida de la camisa, en m
 h_l = Perdidas de energía, por fricción y accesorios, en m
 P_2 = Presión a la salida de la tobera, en Pa
 v_t = Velocidad del fluido en la tobera, en m/s

El valor del peso específico del PVC se determina mediante:

$$G = \frac{\rho_i}{\rho_{H_2O}}$$

Dónde:

G = Gravedad específica del fluido
 ρ_i = Densidad del PVC
 ρ_{H_2O} = Densidad del Agua a 20°C
 Reemplazando los valores se obtiene una gravedad específica del PVC de:

$$G = \frac{1220 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$G = 1,22$$

La gravedad específica, también puede ser escrita mediante la siguiente ecuación para hallar el peso específico del PVC.

$$G = \frac{\gamma_i}{\gamma_{H_2O}}$$

Dónde:

G = Gravedad específica
 γ_i = Peso específico del PVC
 γ_{H_2O} = Peso específico del Agua

Despejando el peso específico del PVC y reemplazando los valores, se obtiene;

$$\gamma_i = G * \gamma_{H_2O}$$

$$\gamma_i = 1,22 * 9800 \text{ N/m}^3$$

$$\gamma_i = 11956 \text{ N/m}^3$$

Como la altura a la que se encuentra el fluido en los puntos 1 y 2 es la misma, estos valores se pueden cancelar, se despeja la diferencia de presiones entre el punto 1 y 2:

$$\Delta P = \left(\frac{vt^2}{2g} - \frac{vc^2}{2g} + hl \right) * \gamma_i$$

Reemplazando los valores se obtiene una diferencia o caída de presión de

$$\Delta P = \left(\frac{(0,218 \text{ m/s})^2}{19,6 \text{ m/s}^2} - \frac{(4,4171 * 10^{-3} \text{ m/s})^2}{19,6 \text{ m/s}^2} + 240,36 \text{ m} \right) * 11956 \text{ N/m}^3$$

$$\Delta P = 2873773,164 \text{ Pa} = 2,873773 \text{ MPa}$$

La presión en el punto 1 es de 70,59Mpa, con la caída de presión calculada, se determina la presión en el punto 2, que sería:

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$P_2 = P_1 - \Delta P$$

Donde:

P_2 = Presión a la salida de la tobera o entrada a la boquilla

P_1 = Presión de inyección a la salida de la camisa

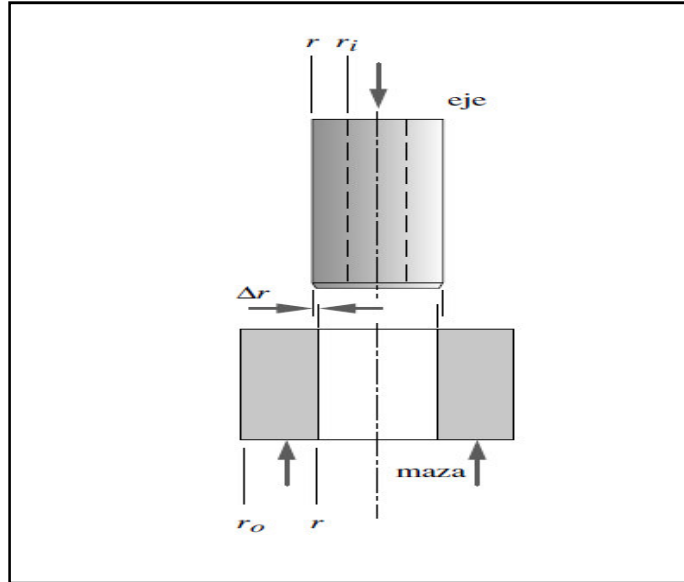
ΔP = Diferencia o caída de presión entre el punto 1 y 2

$$P_2 = 70,59 \text{ MPa} - 2,873773 \text{ MPa}$$

$$P_2 = 67,716 \text{ MPa}$$

4.3.4.2 Sujeción de la tobera. El esfuerzo principal a la que está sometida la tobera es un esfuerzo normal, generado por la presión de inyección en la camisa, esta está sujeta a la camisa por medio de tornillos Allen y por el ajuste con interferencia existente entre la camisa y la tobera.

Imagen 64. Ajuste con interferencia



Fuente: NORTON. Robert. Diseño de máquinas un enfoque integrado. Editorial Pearson. México. Cuarta edición. 2011.892p.

En la imagen 64 se muestra un esquema del montaje para ajuste con interferencia, la tobera hace el papel de eje, y la camisa el de maza, el radio interior de la tobera es el radio donde va alojada la boquilla (20 mm), el radio nominal del punto de contacto es el radio interior de la camisa (70,28 mm/2), el radio exterior de la camisa es el radio interior de la camisa más el espesor (70,28 mm/2 +21 mm).

La cantidad de interferencia necesaria para crear una junta ajustada varia con el diámetro del eje. Por lo común se utiliza un aproximado de 0,002 in para diámetros de 1 in a 4 in, d se determina la presión que el ajuste ejerce para estar sujeta a la camisa mediante la siguiente ecuación⁶⁶.

$$P = \frac{0,5\delta}{\frac{r}{E_o} \left(\frac{r_o^2 + r^2}{r_o^2 - r^2} + \nu_o \right) + \frac{r}{E_i} \left(\frac{r^2 + r_i^2}{r^2 - r_i^2} + \nu_i \right)}$$

Donde:

δ = Interferencia diametral total entre las dos piezas

r = Radio nominal del punto de contacto entre las piezas

⁶⁶ NORTON. Robert. Diseño de máquinas un enfoque integrado. Editorial Pearson. México. Cuarta edición. 2011.892p.

r_i = Radio interior de la tobera
 r_o = Radio exterior de la camisa
 ν_o = Relación de Poisson del material de la camisa
 ν_i = Relación de Poisson del material de la tobera
 E_o = Modulo de elasticidad de la camisa
 E_i = Modulo de elasticidad de la tobera

El diámetro de la junta para este caso es de 70,28 mm, que equivale a 2,76 in, valor que se encuentra entre el rango de 1 in a 4 in, por lo tanto, su valor de interferencia es de 0,002 in. El módulo de Young o elasticidad para el acero AISI SAE 1020 es 29700 Ksi o 205 GPa y la relación de Poisson para los aceros es de 0,3.

Se realiza la conversión de unidades de mm a in para los radios del ajuste por interferencia.

$$r = 35,15 \text{ mm} \left(\frac{1 \text{ in}}{25,4 \text{ mm}} \right) = 1,3834 \text{ in}$$

$$r_o = 56,15 \text{ mm} \left(\frac{1 \text{ in}}{25,4 \text{ mm}} \right) = 2,2106 \text{ in}$$

$$r_i = 20 \text{ mm} \left(\frac{1 \text{ in}}{25,4 \text{ mm}} \right) = 0,7874 \text{ in}$$

Reemplazando los valores se obtiene una presión de:

$$P = \frac{0,5 * 0,002 \text{ in}}{\frac{1,3834 \text{ in}}{29700 \text{ Ksi}} \left(\frac{(2,2106 \text{ in})^2 + (1,3834 \text{ in})^2}{(2,2106 \text{ in})^2 - (1,3834 \text{ in})^2} + 0,3 \right) + \frac{1,3834}{29700 \text{ Ksi}} \left(\frac{(1,3834 \text{ in})^2 + (0,7874 \text{ in})^2}{(1,3834 \text{ in})^2 - (0,7874 \text{ in})^2} + 0,3 \right)}$$

$$P = 4430,3230 \text{ psi}$$

$$P = 4430,3230 \text{ psi} * \left(\frac{6894,76 \text{ Pa}}{1 \text{ psi}} \right) = 30546014,21 \text{ Pa} = 30,546 \text{ MPa}$$

La presión a la cual están sometidos los tornillos Allen que sujetan la tobera a la camisa, es la resta entre la presión de inyección y la presión para el ajuste con interferencia calculado anteriormente:

$$P_t = P_i - P$$

Donde:

Pt = Presión a la que están sometidos los tornillos

Pi = Presión de inyección

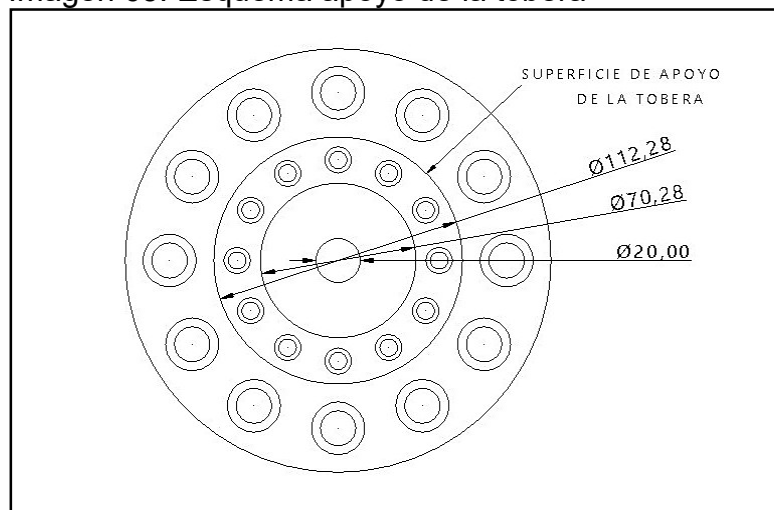
P = Presión del ajuste por interferencia

$$Pt = 70,59 \text{ MPa} - 30,546 \text{ MPa}$$

$$Pt = 40,044 \text{ MPa}$$

La superficie de apoyo para los tornillos Allen, es el área transversal del espesor de la camisa, es decir el área externa menos la del agujero como se muestra en la imagen

Imagen 65. Esquema apoyo de la tobera



Mediante el esquema de la superficie de apoyo de la tobera, se calcula la fuerza a la que están sometidos los tornillos:

$$F = Pt * Aa$$

Donde:

F = Fuerza a la que están sometidos los tornillos

Pt = Presión a la que están sometidos los tornillos

Aa = Área de apoyo entre la tobera y la camisa

$$F = 40,044 \text{ MPa} * \frac{\pi}{4} * ((0,11228 \text{ m})^2 - (0,07028 \text{ m})^2)$$

$$F = 0,241147 \text{ MN} = 241,147 \text{ kN}$$

Esta es la fuerza que están soportando todos los tornillos, para conocer la fuerza de cada sujetador, es necesario dividir en el número de tornillos.

$$F_t = \frac{241,147 \text{ kN}}{12}$$

$$F_t = 20,1 \text{ kN}$$

Se selecciona el mismo material de fabricación de los tornillos tipo Allen usados en la sujeción de la camisa, el cual es un acero con un número de clase 10,9 para la fabricación de los tornillos, al tener una estructura martensítica al bajo carbono, presenta alta resistencia para conexiones entre acero, cuya resistencia última es de 1040MPa, una resistencia a la fluencia es de 940MPa y su resistencia de prueba es de 830MPa⁶⁷.

Tomando un factor de seguridad contra la fluencia de 1,5 al igual que en los apoyos de la camisa, se calcula un esfuerzo de tensión máximo en el tornillo:

$$N_y = \frac{S_y}{\sigma_b}$$

$$\sigma_b = \frac{S_y}{N_y}$$

Donde:

σ_b = Esfuerzo de tensión máximo en el tornillo

S_y = Resistencia de fluencia

N_y = Factor de seguridad contra la fluencia

Reemplazando los valores se obtiene.

$$\sigma_b = \frac{940 \text{ MPa}}{1,5}$$

$$\sigma_b = 626,67 \text{ MPa}$$

Teniendo el esfuerzo de tensión máximo en el perno, se calcula el área transversal adecuada para que el tornillo resista la carga aplicada.

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t}$$

Donde:

⁶⁷ Tomado de: http://www.ahmsa.com/Acero/Complem/Manual_Construccion_2013/Capitulo8.pdf citado el 22 de abril de 2017

σ_b = Esfuerzo de tensión máximo en el tornillo

Fb = Fuerza aplicada en el tornillo

At = Área transversal del tornillo

Reemplazando para obtener el área de sección transversal del tornillo.

$$At = \frac{Fb}{\sigma_b}$$

$$At = \frac{20100 \text{ N}}{626670000 \text{ Pa}}$$

$$At = 3,2 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

A partir de la ecuación para hallar el área de un cuerpo cilíndrico se calcula el diámetro nominal del tornillo.

$$Dnt = \sqrt{\frac{4 * At}{\Pi}}$$

Donde;

Dnt = Diámetro nominal del tornillo

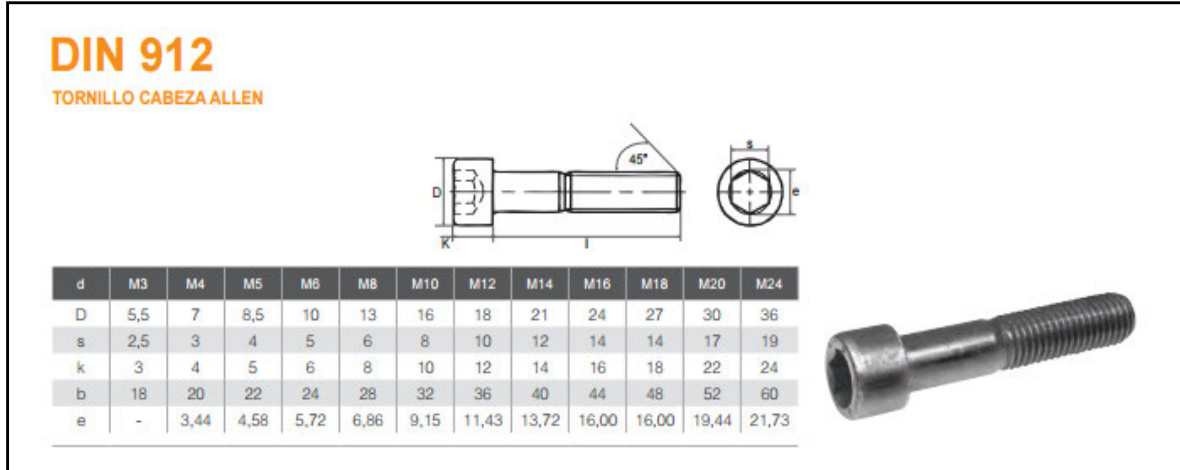
At = Área transversal del tornillo

$$Dnt = \sqrt{\frac{4 * 3,2 * 10^{-5} \text{ m}^2}{\Pi}}$$

$$Dnt = 6,3830 * 10^{-3} \text{ m} = 6,38 \text{ mm}$$

Aproximando este valor a un diámetro nominal métrico comercial, para la fabricación de tornillos Allen, el diámetro nominal es de 8 mm, como lo muestra la Imagen 66.

Imagen 66. Dimensiones normalizadas tornillos tipo Allen



Tomado de: http://www.wurth.es/media/pdf_infos/04%2001%200021.pdf citado el 6 de mayo de 2017.

La precarga será de⁶⁸:

$$F_i = \%Sp * A_t$$

Donde:

F_i = Precarga

Sp = Resistencia de prueba

A_t = Área transversal del tornillo

Entonces la precarga será de;

$$F_i = 80\% * 830 * 10^6 \text{ Pa} * \frac{\pi}{4} * (0,008 \text{ m})^2$$

$$F_i = 33376,28 \text{ N}$$

La longitud de cuerda es de:

$$L_{\text{cuerda}} = 2D_{nt} + 0,00635 \text{ m}$$

Donde:

L_{cuerda} = Longitud de cuerda

D_{nt} = Diámetro nominal del tornillo

⁶⁸ NORTON. Robert. Diseño de máquinas un enfoque integrado. Editorial Pearson. México. Cuarta edición. 2011. 892p.

$$L_{\text{cuerda}} = 2 * 0,008\text{m} + 0,00635 \text{ m}$$

$$L_{\text{cuerda}} = 0,02235 \text{ mm}$$

Se tiene longitud total del tornillo de 45mm lo que equivale a 0,05m, la longitud del vástago sin rosca es de:

$$L_s = L_{\text{total}} - L_{\text{cuerda}}$$

Donde:

L_s = Longitud del vástago sin rosca

L_{total} = Longitud total del tornillo

L_{cuerda} = Longitud de cuerda

$$L_s = 0,045 \text{ m} - 0,02235 \text{ m}$$

$$L_s = 0,02265 \text{ m}$$

La sujeción o longitud roscada está dada por:

$$L_t = L_u - L_s$$

Donde:

L_t = Longitud de la sujeción

L_u = Longitud de la unión

L_s = Longitud del vástago sin rosca

Al ser un agujero ciego, la longitud de la unión es igual a la longitud del tornillo.

$$L_t = 0,045 \text{ m} - 0,02265 \text{ m}$$

$$L_t = 0,02235 \text{ m}$$

El módulo de elasticidad del material de fabricación del tornillo es de $E_p=206\text{GPa}$, entonces la rigidez del perno está dada por:

$$K_b = \left(\frac{L_t}{A_t * E_p} + \frac{L_s}{A_t * E_p} \right)$$

Donde:

K_b = Rigidez del perno

L_t = Longitud de la sujeción

A_t = Área transversal del tornillo

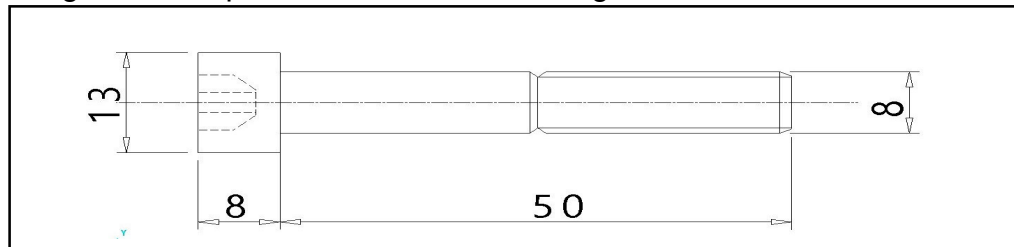
Ls = Longitud del vástago sin rosca
Ep= Modulo de elasticidad del perno

$$K_b = \left(\frac{0,02235 \text{ m}}{5,026 * 10^{-5} \text{ m}^2 * 206 * 10^9 \text{ Pa}} + \frac{0,02265 \text{ m}}{5,026 * 10^{-5} \text{ m}^2 * 206 * 10^9 \text{ Pa}} \right)^{-1}$$

$$K_b = 230079111 \text{ N/m}$$

Se muestra el esquema de las dimensiones del tornillo Allen para la sujeción de la tobera.

Imagen 67. Esquema tornillo Allen M8 según Din 912

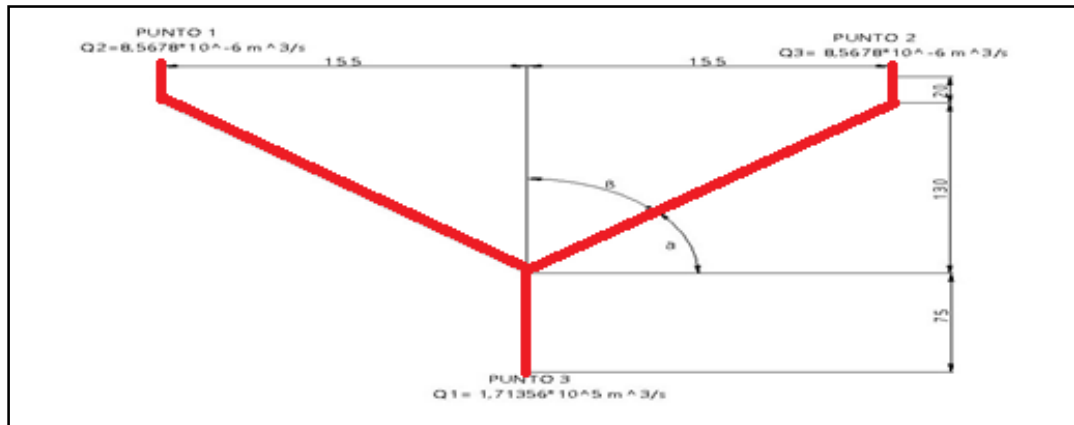


Tomado de: <http://www.echebarriasuministros.com/images/catalogo/13-tornilleria-y-remaches.pdf> citado el 6 de mayo de 2017.

4.3.5 Boquilla de doble salida. Como se planteó en las alternativas para el sistema de boquilla de doble salida, capítulo 3, se seleccionó la alternativa de sistema de canales debido a que la carcasa que rodea los canales refuerza el sistema, sabiendo que el fluido pasa a través de ella a alta presión (67,7 MPa). Esta boquilla necesita un calentamiento adicional para evitar la solidificación del material en los canales, este calentamiento será realizado por medio de resistencias eléctricas.

El diámetro del canal de la boquilla de doble salida es de 10 mm. Los canales están reforzados por la carcasa y al final de ella se conectan dos boquillas, las cuales transportan el material fundido desde la boquilla de doble salida hacia los bebederos del molde, en la imagen 68 se muestra un esquema de las dimensiones requeridas para los canales.

Imagen 68. Esquema canales boquilla de doble salida



En la imagen 68 se muestra la disposición de los canales para la boquilla de doble salida, estos canales se fabrican usando taladrados.

4.3.5.1 Espesor de la carcasa. El material de fabricación de la boquilla de doble salida es acero AISI SAE 1040. Es un acero con propiedades mecánicas más altas que el material de fabricación de la camisa y la tobera, no es de alto costo, mediante el MEF del siguiente capítulo, se rectifica el espesor de la carcasa o el material de fabricación de este por uno de mayor resistencia. El esfuerzo de fluencia es de $S_y = 290 \text{ MPa}$ ⁶⁹, el esfuerzo cortante admisible se obtiene de:

$$\tau_d = 0,577S_y$$

Donde:

τ_d = Esfuerzo cortante admisible

S_y = Esfuerzo de fluencia

Reemplazando se obtiene un esfuerzo cortante admisible de:

$$\tau_d = 0,577 * 290 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = 167,33 \text{ MPa}$$

Para evitar fallas por cortante del material se selecciona un factor de seguridad de 2 al igual que en la camisa; con este valor se calcula el esfuerzo cortante máximo al que se puede someter la boquilla fabricada de acero AISI SAE 1040.

⁶⁹ Tomado de: http://lim.ii.udc.es/docencia/din-sismec/Propiedades_aceros.pdf 20. Pdf. Citado el 10 de mayo de 2017

$$\tau_{\max} = \frac{\tau_d}{FS}$$

Dónde:

τ_{\max} = Esfuerzo cortante máximo

τ_d = Esfuerzo cortante admisible

FS = Factor de seguridad

$$\tau_{\max} = \frac{167,33 \text{ MPa}}{2}$$

$$\tau_{\max} = 83,665 \text{ MPa}$$

El valor de esfuerzo cortante es el máximo que se le puede aplicar a la boquilla de doble salida. Con la ecuación de esfuerzo cortante en la boquilla se obtiene el espesor de la carcasa, sabiendo que la presión máxima es de 67,7 MPa, a la entrada de la boquilla, y el radio de los canales es de 5 mm. El esfuerzo cortante máximo en la pared de la boquilla está dado por⁷⁰:

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} \sigma_1 = \frac{p r}{2 t}$$

Donde:

τ_{\max} = Esfuerzo cortante máximo

σ_1 = Esfuerzo de costilla

p = Presión máxima en la pared

r = Radio del canal

t = espesor de la carcasa

Despejando para hallar el espesor de pared de la boquilla de doble salida:

$$t = \frac{p r}{2 * \tau_{\max}}$$

Reemplazando los valores se obtiene:

$$t = \frac{p r}{2 * \tau_{\max}}$$

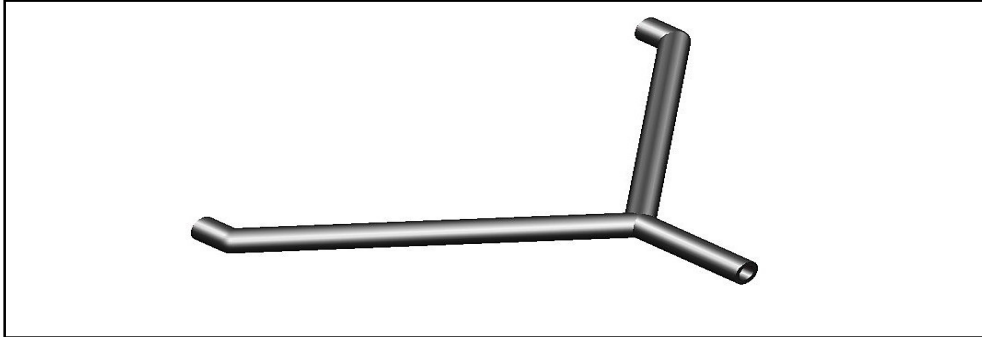
$$t = \frac{67,763 \text{ Mpa} * 0,005 \text{ m}}{2 * 83,665 \text{ MPa}}$$

⁷⁰ BEER. Ferdinand, JOHNSTON. Russell, DEWOLF. John, MAZUREK. David. Mecánica de materiales. Mc Graw Hill. Quinta edición. México. 2010. 817p.

$$t = 2,024 * 10^{-3} \text{ m} * \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} = 2,024831 \text{ mm} \approx 3 \text{ mm}$$

Tomando el espesor calculado, el esquema inicial de la estructura de la boquilla de doble salida se muestra en la imagen 69, el cual podría ser modificado de acuerdo con la simulación por el método de elementos finitos, el ensamble de esta pieza se realizará mediante un doblado del material que lo compone.

Imagen 69. Esquema estructura boquilla de doble salida



4.3.5.2 Pérdida de presión en la boquilla de doble salida. El PVC fundido que fluye a través de los canales de la boquilla de doble salida sufre una pérdida de presión debido a su forma en Y que genera obstrucciones al paso del material libremente. Se calculan las pérdidas de presión:

El diámetro de los canales es de 10mm, este es un valor constante. La longitud de los canales se toma según el esquema de la imagen 68. El caudal es constante, de la salida de la tobera se tiene una velocidad y en la entrada del canal de la boquilla de doble salida de:

$$v = \frac{Q}{Ac}$$

Dónde:

v = Velocidad del fluido

Q = Caudal, en el punto 3 o 1

Ac = Área del canal en la boquilla de doble salida

El caudal en el punto 3 como se muestra en la imagen 68, es de $1,71356 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, y el caudal en el punto 1 y 2 se dice que es la mitad del caudal en el punto 3, porque la forma de la Y es simétrica en los dos puntos, la velocidad en el punto 3 de la boquilla de doble salida es:

$$v_3 = \frac{1,71356 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4} (0,01 \text{ m})^2}$$

$$v_3 = 0,2181 \text{ m/s}$$

La velocidad en el punto 1 es:

$$v_1 = \frac{8,5678 * 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4} (0,01 \text{ m})^2}$$

$$v_1 = 0,1090 \text{ m/s}$$

El número de Reynolds se halla mediante la siguiente ecuación⁷¹:

$$\text{Re}_3 = \frac{v * D * \rho}{\mu}$$

Donde:

Re3 = Numero de Reynolds en el punto 3

v = Velocidad del fluido en el punto, en m/s

D = Diámetro del canal, en m

ρ = Densidad del fluido, en Kg/m³

μ = Viscosidad del fluido a la temperatura de trabajo, en Pa*s

Número de Reynolds en el punto 3:

$$\text{Re}_3 = \frac{0,2181 \text{ m/s} * 0,01 \text{ m} * 1220 \text{ kg/m}^3}{900 \text{ Pa} * \text{s}}$$

$$\text{Re}_3 = 2,956 * 10^{-3}$$

Con este valor del Reynolds en el punto 3 o entrada de la boquilla, se dice que el fluido está en un régimen totalmente laminar. El valor del Reynolds en el punto 4 o a la salida de la boquilla de doble salida se halla:

$$\text{Re}_4 = \frac{\frac{0,1090 \text{ m}}{\text{s}} * 0,01 \text{ m} * 1220 \text{ kg/m}^3}{900 \text{ Pa} * \text{s}}$$

$$\text{Re}_4 = 1,477 * 10^{-3}$$

⁷¹ CENGEL. Yunus, CIMBALA. John. Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones. 1 edición. México. 2006. 997p.

En ambos casos el fluido se encuentra en un régimen totalmente laminar. Las pérdidas de energía, según la mecánica de fluidos están dadas por:

$$h_l = F \frac{L}{D} * \frac{v_1^2}{2g} + \left(\Sigma(K) * \frac{v_1^2}{2g} \right)$$

Donde:

h_l = Pérdidas de energía

F = Factor de fricción

L = Longitud del canal entre el punto 4 y 3

D = Diámetro del canal

v_2 = Velocidad en el punto 2

g = Gravedad

K = Factores de pérdida de energía para el canal en forma de Y

El ángulo formado entre el punto donde se ramifica la boquilla de doble salida y el punto 1, teniendo en cuenta la imagen 68 es de:

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left(\frac{130 \text{ mm}}{155 \text{ mm}} \right)$$

$$\alpha = 40^\circ$$

Con este ángulo se halla la longitud de la porción del canal que conduce al material desde la ramificación hasta el punto 1, esta longitud es de:

$$\text{sen}(\alpha) = \frac{Co}{h}$$

Dónde:

Co = Cateto opuesto al ángulo α

h = Hipotenusa

Se despeja la hipotenusa, la cual es la longitud desde la ramificación hasta el punto 2 de la boquilla de doble salida:

$$h = \frac{Co}{\text{sen}(\alpha)}$$

$$h = \frac{130 \text{ mm}}{\text{sen}(40)}$$

$$h = 202,244 \text{ mm}$$

La longitud total de la boquilla desde el punto 3 a 1 según la imagen 68 es:

$$L = 75 \text{ mm} + 202,244 \text{ mm} + 20 \text{ mm}$$

$$L = 297,244 \text{ mm}$$

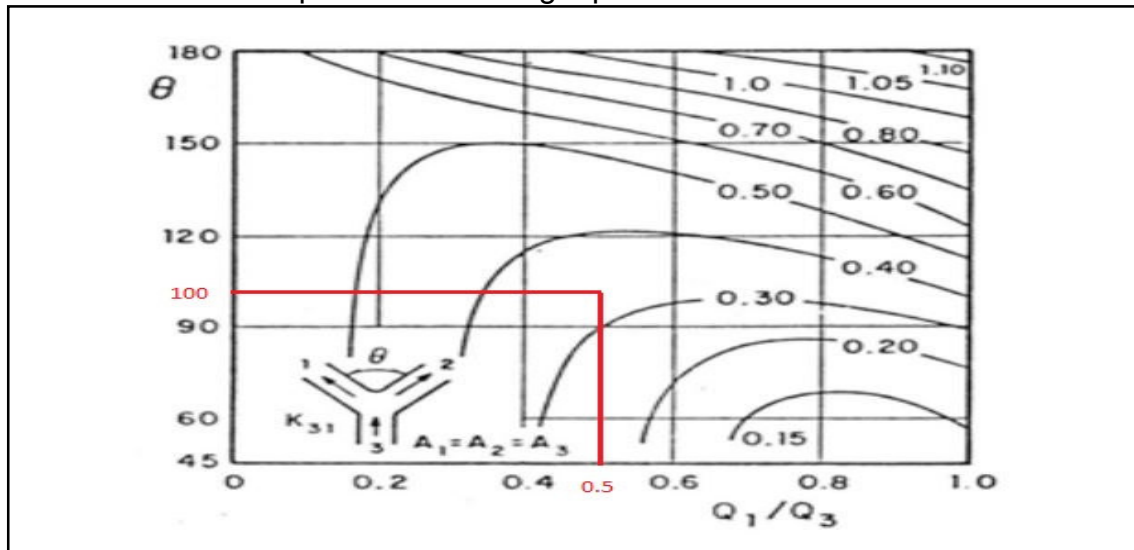
Para conocer el factor de pérdida por accesorio para la boquilla de doble salida, se cuenta con un ángulo β , el cual es el ángulo formado entre la línea vertical de la boquilla y la línea de la salida en el punto 1, cuyo valor es de:

$$\beta = \text{Tan}^{-1} \frac{155 \text{ mm}}{130 \text{ mm}}$$

$$\beta = 50^\circ$$

Se muestra la gráfica 5 para conocer el valor de factor de pérdidas de energía por accesorios.

Gráfico 5. Factor de pérdidas de energía para bifurcaciones



Tomado de: http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Hidraulica/Vol-XXX/3-2009/39-50-Ecuaciones_analiticas_para.pdf citado el 9 de mayo de 2017.

En el gráfico 5 se muestra el comportamiento del factor K , frente al ángulo θ de la bifurcación en Y , y la relación entre el caudal de salida y el de entrada. Para la aplicación de la boquilla de doble salida, el ángulo θ es de 2β calculado anteriormente de 100° , y el caudal de salida es la mitad al caudal de entrada, sabiendo que la geometría de la Y es simétrica y para el punto 1 y 2 el caudal es igual con valor de Q_1/Q_3 de 0,5. Teniendo los datos de Q_1/Q_3 de 0,5 y θ de 100° , se determina un factor K para la boquilla de doble salida de 0,33.

Reemplazando los valores en la ecuación para hallar las pérdidas menores en la boquilla de doble salida, se obtiene pérdidas de energía de⁷²:

$$h_l = \frac{64 L}{Re D} * \frac{v_1^2}{2g} + \left(\Sigma(K) * \frac{v_1^2}{2g} \right)$$

Reemplazando los valores se obtiene:

$$h_l = \frac{64}{1,4533 * 10^{-3}} \frac{0,0297244 \text{ m}}{0,01 \text{ m}} * \frac{(0,1090 \text{ m/s})^2}{19,6 \text{ m/s}^2} + \left(0,35 * \frac{(0,1090 \text{ m/s})^2}{19,6 \text{ m/s}^2} \right)$$

$$h_l = 79,35 \text{ m}$$

Con las pérdidas presentes en la boquilla, se calcula la caída de presión, mediante la ecuación general de energía. Como la altura a la que se encuentra el fluido en los puntos 1 y 3 es la misma, estos valores se pueden cancelar, se despeja la diferencia de presiones:

$$\Delta P = \left(\frac{v_3^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} + h_l \right) * \gamma_i$$

Reemplazando los valores se obtiene una diferencia o caída de presión en la boquilla de doble salida de:

$$\Delta P = \left(\frac{(0,2181 \text{ m/s})^2}{19,6 \text{ m/s}^2} - \frac{(0,1090 \text{ m/s})^2}{19,6 \text{ m/s}^2} + 79,35 \text{ m} \right) * 11956 \text{ N/m}^3$$

$$\Delta P = 948730 \text{ Pa} = 0,94873 \text{ MPa}$$

La presión en el punto 3 es de 67,716 MPa. Con la caída de presión calculada, se determina la presión en el punto 1, la cual sería de:

$$\Delta P = P_3 - P_1$$

$$P_1 = P_3 - \Delta P$$

Dónde:

P_1 = Presión a la salida de la boquilla de doble salida

P_3 = Presión de inyección a la salida de la tobera

⁷² CENGEL. Yunus, CIMBALA. John. Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones. 1 edición. México. 2006. 997p.

ΔP = Diferencia o caída de presión entre el punto 3 y 1

$$P_1 = 67,716 \text{ MPa} - 0,94873 \text{ MPa}$$

$$P_1 = 66,76 \text{ MPa}$$

La presión mínima necesaria para llenar cada molde es de 59,23 MPa y la presión a la salida de la boquilla de doble salida es de 66,76 MPa, con este valor se asegura un llenado del molde correctamente.

4.4 SELECCIÓN DE COMPONENTES

4.4.1 Selección de las bandas calefactoras. Las bandas calefactoras o resistencias eléctricas son las encargadas de calentar y fundir el material a lo largo de la camisa de inyección, estas van sujetas alrededor de la camisa y la boquilla de doble salida. Deben calentar el material de temperatura ambiente hasta la temperatura de trabajo (200°C). Mediante un sensor de temperatura (termocupla) el cual está conectado a cada zona de calentamiento del sistema de inyección se controla la temperatura adecuada.

Imagen 70. Bandas calefactoras



Fuente: tomado de <http://www.fareresistencias.com.ar/bandas-calefactoras-estanco-para-picos/> citado el 12 de mayo de 2017.

El calor es transferido desde las bandas calefactoras hacia el material para realizar la plastificación del material. Partiendo que el material es calentado desde 14°C, hasta 200°C, en este caso habrá un sobrecalentamiento de 10°C en el material fundido para evitar enfriamiento que cause solidificación. La ecuación para hallar el calor transferido desde las bandas calefactoras es⁷³:

⁷³ CIFUENTES.Roosevelth. Diseño de una máquina extrusora para la empresa plastik de occidente. Tesis de grado. Universidad del Valle. 2011. 73p.

$$Q_r = \rho * V * C_p * \Delta T \left[1 - e^{\left(-\frac{t * h * A_s}{\rho * V * C_p} \right)} \right]$$

Donde:

Q_r = Calor transferido desde las bandas calefactoras

ρ = Densidad del PVC

V = Volumen del cilindro

C_p = Capacidad calorífica a presión constante del PVC, en J/kg K

ΔT = Diferencia de temperaturas, en K

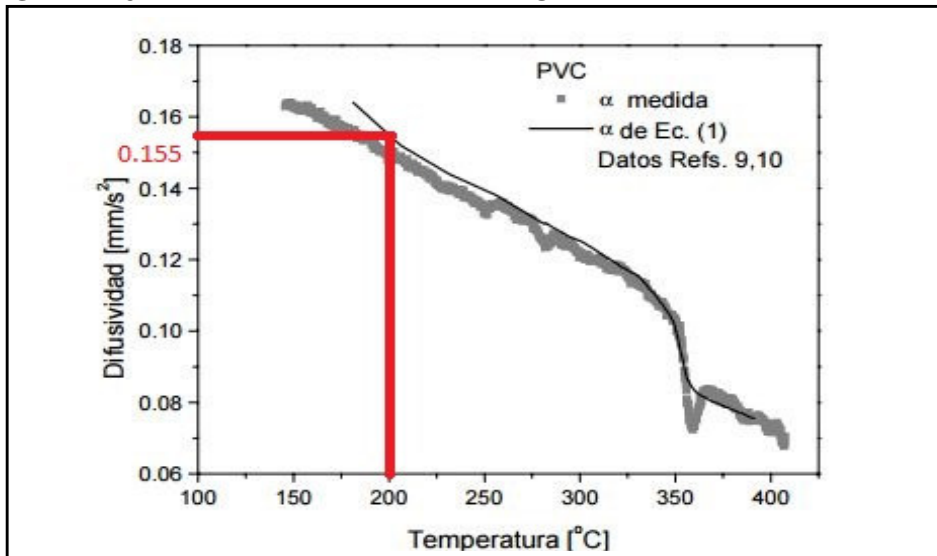
t = Tiempo de calentamiento, en s

h = Coeficiente de transferencia de calor por conducción, en $W/m^2 K$

A_s = Área superficial de la camisa en el interior, en m^2

Para el PVC flexible el valor de su viscosidad cinemática es de $0,7377 m^2/s$, este valor es tomado de la gráfica 3 donde la viscosidad es de $9 \cdot 10^3 P$. La conductividad térmica del PVC es de $0,12 W/mK$. Para el valor de la difusividad térmica se tiene en cuenta el grafico 6.

Gráfico 6. Difusividad térmica del PVC



Fuente: Yañeza , J. D. Marconia , C. López , G. H. Rubiolo, S. N. Goyanes. Nuevo dispositivo para medición de difusividad térmica. Departamento de física. Universidad de Buenos Aires. Argentina. 2001. 8p.

Como es un sistema donde la superficie exterior del cilindro tiene temperatura constante y se toma como un fluido desarrollado, es decir, se mueve a velocidad constante, el número de Nusell está dado por⁷⁴:

$$Nu = 3,66$$

Despejando en la ecuación de Nusell el coeficiente de transferencia de calor por convección h se tiene:

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

$$h = \frac{3,66 * 0,25 \frac{W}{m} ^\circ C}{0,10628 m}$$

$$h = 8,61 W/m^2^\circ C$$

La densidad del PVC es de 1220 kg/m³, el calor específico a presión constante para el PVC a 200°C es de 992,486 J/kg K, el tiempo de calentamiento calculado anteriormente es de 960 s. El coeficiente de transferencia de calor por convección es de 8,61 W/m², el área superficial de la superficie interior de la camisa es de:

$$As = \Pi * Di * L$$

Donde:

As = Área superficial de la camisa en el interior

Π = Constante Pi

Di = Diámetro interior de la camisa

L = Longitud del tornillo

$$As = \Pi * 0,07028 m * 1,4 m$$

$$As = 0,30910 m^2$$

El volumen de la camisa es de:

$$V = \frac{\Pi}{4} (De^2 - Di^2) * L$$

Donde:

⁷⁴ CENGEL.Y, TURNER.R. Fundamentals of thermal fluid sciences. Mc Graw Hill. New York. Second edition. 2005. 1088p.

De = Diámetro exterior de la camisa

Di = Diámetro interior de la camisa

L = Longitud de la camisa

Π = Constante pi

Reemplazando los valores se obtiene;

$$V = \frac{\Pi}{4} * (0,11228 \text{ m}^2 - 0,07028 \text{ m}^2) * 1,4 \text{ m}$$

$$V = 8,4308 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

El cambio de temperatura en escala Kelvin es de:

$$\Delta T = (210^\circ\text{C} + 273,15 \text{ K}) - (14^\circ\text{C} + 273,15 \text{ K})$$

$$\Delta T = 196 \text{ K}$$

Reemplazando los valores, se obtiene el calor transferido desde las bandas calefactoras al material de:

$$Q_r = \frac{1220 \text{ kg}}{\text{m}^3} * 8,4308 * 10^{-3} \text{ m}^3 * \frac{992,486 \text{ J}}{\text{kgK}} * 196 \text{ K} \left[1 - e \left(\frac{960\text{s} * 8,61 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} * 0,30910 \text{ m}^2}{\frac{1220 \text{ kg}}{\text{m}^3} * 8,4308 * 10^{-3} \text{ m}^3 * 992,486 \text{ J/kgK}} \right) \right]$$

$$Q_r = 446365,9625 \text{ J}$$

El flujo de calor desde las resistencias se obtiene mediante:

$$\dot{Q}_t = \frac{Q_r}{t}$$

Donde:

\dot{Q}_t = Flujo de calor total

Q_r = Calor transferido desde las bandas calefactoras

t = Tiempo de calentamiento

$$\dot{Q}_t = \frac{446365,9625 \text{ J}}{960\text{s}}$$

$$\dot{Q}_t = 464,9645 \text{ W}$$

En la camisa de inyección, la disposición de las resistencias es de dos en cada zona del tornillo, es decir 3 resistencias a lo largo del tornillo. Para cada resistencia la potencia eléctrica debe ser de:

$$Pr = \frac{Qt}{\#r}$$

Donde:

Pr = Potencia eléctrica de cada banda calefactora

Qt = Flujo de calor total

#r = Numero de bandas calefactoras

$$Pr = \frac{464,9645 \text{ W}}{3}$$

$$Pr = 154,988 \text{ W}$$

Se debe tomar un factor de sobredimensionamiento de 1,4 al valor de cada resistencia⁷⁵ ya que no se tienen en cuenta las pérdidas de calor, el valor de la potencia eléctrica a cada banda calefactora es de:

$$Pt = Fs * Pr$$

Donde:

Pt = Potencia total de cada banda calefactora

Fs = Factor de sobredimensionamiento

Pr = Potencia de cada banda calefactora

Reemplazando los valores, se obtiene una potencia total de cada banda calefactora de:

$$Pt = 1,4 * 154,988 \text{ W}$$

$$Pt = 216,98 \text{ W}$$

Las resistencias son fabricadas de acuerdo con los requerimientos del cliente⁷⁶, para este caso se requieren 3 resistencias tipo abrazadera con diámetro interno de 0,11228 m, potencia nominal de 220W y conexión para termocupla. Para la

⁷⁵ CENGEL.Y, TURNER.R. Fundamentals of termal fluid sciences. Mc Graw Hill. New York. Second edition. 2005. 1088p.

⁷⁶ Tomado de: <http://www.resistenciasdeloriente.com/index.php/resistencias-tipo-abrazadera> citado el 29 de mayo de 2017.

boquilla de doble salida se requieren 2 resistencias tipo abrazadera con potencia de 220W, conexión para termocupla y cuyo diámetro interno se verifica en el siguiente capítulo.

4.5 PESO DEL TORNILLO SIN FIN

El cálculo del tornillo es de suma importancia ya que con este dato se pueden calcular las fuerzas que este genera.

4.5.1 Volumen del tornillo sin fin en cada sección

✓ Zona de alimentación

Se presentan los siguientes datos:

L: longitud de la zona de alimentación:

Número de filetes * diámetro del tornillo:

$$L = 11 * 7 \text{ cm} = 77 \text{ cm}$$

r = radio el tornillo sin fin = 3,5 cm

Con los datos presentados se calcula el área de sección transversal;

$$A = \pi \times r^2$$

$$A = \pi \times 3.5^2 \text{ cm}$$

$$A = 38.48 \text{ cm}^2$$

Con el resultado del cálculo del área multiplicado por la longitud se encuentra el volumen:

$$V_1 = A \times L$$

$$V_1 = 38.48 \text{ cm}^2 \times 77 \text{ cm}$$

$$V_1 = 2962,96 \text{ cm}^3$$

✓ Zona de transición

En esta sección se emplea la siguiente fórmula para determinar el volumen⁷⁷:

$$V_2 = \frac{\pi}{3} \times h(r^2 + r \times R + R^2)$$

$$V_2 = \frac{\pi}{3} \times 1,05 \text{ cm}(3,5^2 + 3,5 \times 3,5 + 3,5^2)$$

$$V_2 = 40,4087 \text{ cm}^3$$

✓ Zona dosificación

L: longitud de la zona de alimentación:

De filetes * diámetro del tornillo:

$$L = 3 * 7 \text{ cm} = 21 \text{ cm}$$

r = radio el tornillo sin fin = 3,5 cm

Con los datos presentados se calcula el área:

$$A = \pi \times r^2$$

$$A = \pi \times 3,5^2 \text{ cm}$$

$$A = 38,48 \text{ cm}^2$$

Con el resultado del cálculo del área multiplicado por la longitud se encuentra el volumen:

$$V_1 = A \times L$$

$$V_3 = 38,48 \text{ cm}^2 \times 21 \text{ cm}$$

$$V_3 = 808,08 \text{ cm}^3$$

Luego de realizar el cálculo para obtener los volúmenes de cada una de las secciones se tiene que:

$$V_{\text{tornillo}} = V_1 + V_2 + V_3$$

⁷⁷ GÓMEZ. Jimmy, GUTIÉRREZ. Jorge. Diseño de una extrusora para plástico. Tesis de grado. Universidad Tecnológica de Pereira. 2007. 44p

$$V_{\text{tornillo}} = 2962,96 \text{ cm}^3 + 40,4087 \text{ cm}^3 + 808,08 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{tornillo}} = 3813,44 \text{ cm}^3 \rightarrow 3,813 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

4.5.2 Volumen de los filetes en cada una de las secciones de los tornillos sin fin

✓ Zona de alimentación

e = Ancho del filete: 8,4 mm

h_1 = Altura del canal de alimentación: 10,5 mm

$$l = \pi \times D \times \tan\varphi$$

$$l = \pi \times 70 \text{ mm} \times \tan(17,65)$$

$$l = 69,9713 \text{ mm}$$

Se calcula la longitud⁷⁸.

$$L = \sqrt{(\pi \times D)^2 + l^2}$$

$$L = \sqrt{(\pi \times 70 \text{ mm})^2 + 69,9713 \text{ mm}^2}$$

$$L = 230,7749 \text{ mm}$$

Con el valor obtenido de la longitud multiplicado con el ancho del filete y la altura del mismo se puede obtener el volumen que es:

$$V_1 = L \times e \times h_1$$

$$V_1 = 230,7749 \text{ mm} \times 8,4 \text{ mm} \times 10,5 \text{ mm}$$

$$V_1 = 20354,34456 \text{ mm}^3$$

Para hallar el valor del volumen total en la zona de alimentación este se multiplica por el número de filetes que hay en la sección:

$$V_{T1} = 20354,34456 \text{ mm}^3 \times 11$$

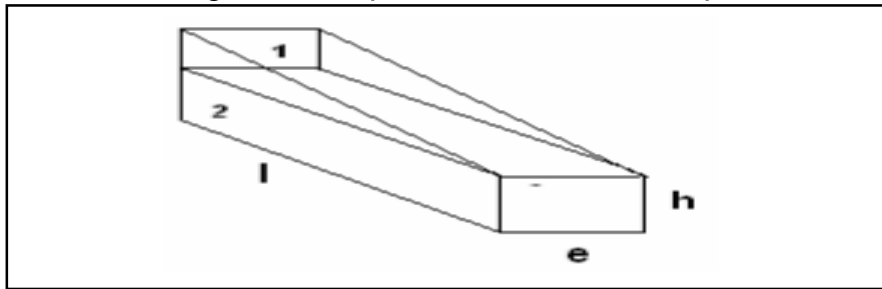
$$V_{T1} = 222949,66 \text{ mm}^3$$

⁷⁸ GÓMEZ. Jimmy, GUTIÉRREZ. Jorge. Diseño de una extrusora para plástico. Tesis de grado. Universidad Tecnológica de Pereira. 2007. 46p

✓ Zona de transición

Para encontrar el volumen en esta zona primero se debe dividir dicha zona en dos partes, la primera de esta se puede utilizar el valor obtenido anteriormente mencionado como V_1 , luego se calcula una zona triangular para determinar el valor real de esta zona⁷⁹.

Imagen 71. Esquema calculo volumen perfil



Fuente: GÓMEZ. Jimmy, GUTIÉRREZ. Jorge. Diseño de una extrusora para plástico. Tesis de grado. Universidad Tecnológica de Pereira. 2007. 47p.

En la Imagen 71, se observa el esquema con el cual se realiza el cálculo del volumen en la zona de transición dividiendo el perfil en dos, el primero en una zona rectangular la que se calculó en la zona de alimentación y la segunda es triangular que es el aumento con respecto a la anterior.

$$V_{2-1} = L \times e \times h_1$$

$$V_{2-1} = 230,7749 \text{ mm} \times 8,4 \text{ mm} \times 10,5 \text{ mm}$$

$$V_{2-1} = 20354,34456 \text{ mm}^3$$

Para hallar el valor del volumen en la zona de transición este se multiplica por el número de filetes que hay en esta sección:

$$V_{T2-1} = 20354,34456 \text{ mm}^3 \times 6$$

$$V_{T2-1} = 122125,9183 \text{ mm}^3$$

Ahora para calcular la zona triangular se tiene:

⁷⁹ GÓMEZ. Jimmy, GUTIÉRREZ. Jorge. Diseño de una extrusora para plástico. Tesis de grado. Universidad Tecnológica de Pereira. 2007. 47p.

$$A = \frac{b \times h}{2}$$

$$A = \frac{230,7748 \text{ mm} \times 10,5 \text{ mm}}{2}$$

$$A = 1211,5677 \text{ mm}^2$$

Con esta área multiplicada por la longitud se halla el volumen:

$$V_{2-2} = 1211,5677 \text{ mm}^2 \times 230,7748 \text{ mm}$$

$$V_{2-2} = 279599,2937 \text{ mm}^3$$

Del mismo modo para hallar el volumen total se multiplica por el número de filetes:

$$V_{T2-2} = 279599,2937 \text{ mm}^3 \times 6$$

$$V_{T2-2} = 1677595,762 \text{ mm}^3$$

Los dos valores obtenidos anteriormente se suman para encontrar el volumen total en la zona de transición:

$$V_{T2} = V_{T2-1} + V_{T2-2}$$

$$V_{T2} = 122125,9183 \text{ mm}^3 + 1677595,762 \text{ mm}^3$$

$$V_{T2} = 1799721,68 \text{ mm}^3$$

✓ Zona dosificación

Para el cálculo de volumen de la zona de dosificación se realiza el mismo procedimiento aplicado en la zona de alimentación con la modificación que la altura de filete cambia:

e = Ancho del filete: 8,4 mm

h_2 = Altura del canal de alimentación: 5,25 mm

$$l = \pi \times D \times \tan\varphi$$

$$l = \pi \times 70 \text{ mm} \times \tan(17,65)$$

$$l = 69,9713 \text{ mm}$$

Se calcula la longitud por medio de la siguiente ecuación⁸⁰.

$$L = \sqrt{(\pi \times D)^2 + l^2}$$

$$L = \sqrt{(\pi \times 70\text{mm})^2 + 69,9713\text{mm}^2}$$

$$L = 230,7749 \text{ mm}$$

Con el valor obtenido de la longitud multiplicado por el ancho del filete y la altura del mismo se obtiene el volumen:

$$V_1 = L \times e \times h_2$$

$$V_3 = 230,7749 \text{ mm} \times 8,4 \text{ mm} \times 5,25 \text{ mm}$$

$$V_3 = 10177,1731 \text{ mm}^3$$

Para hallar el valor del volumen total en la zona de alimentación este se multiplica por el número de filetes que hay en esta sección:

$$V_{T3} = 10177,1731 \text{ mm}^3 \times 3$$

$$V_{T3} = 30531,5193 \text{ mm}^3$$

Luego de hallar los datos de los volúmenes correspondientes en cada una de las zonas se tiene que:

$$V_{TF} = V_{T1} + V_{T2} + V_{T3}$$

$$V_{TF} = 222949,66 \text{ mm}^3 + 1799721,68 \text{ mm}^3 + 30531,5193 \text{ mm}^3$$

$$V_{TF} = 2053202,859 \text{ mm}^3 \rightarrow 2,05320 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Con los datos del volumen del tornillo y volumen de los filetes se puede calcular el volumen total:

$$V_{TOTAL} = V_{Tornillo} + V_{TF}$$

$$V_{TOTAL} = 3,813 \times 10^{-3} \text{ m}^3 + 2,05320 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_{TOTAL} = 5,8662 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

⁸⁰ GÓMEZ. Jimmy, GUTIÉRREZ. Jorge. Diseño de una extrusora para plástico. Tesis de grado. Universidad Tecnológica de Pereira. 2007. 47p.

Luego de obtener el volumen total del tornillo se determina la masa total del tornillo, sabiendo que el material de fabricación de este es acero AISI SAE 4140 como se observa en el numeral 4.3.1, el cual posee una densidad de⁸¹ 7850 kg/m³.

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = V \times \rho$$

$$m = 5,8662 \times 10^{-3} \text{m}^3 \times 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = 46,048 \text{ kg}$$

Con la masa del tornillo se procede a buscar el peso de este para realizar los cálculos de la estructura:

$$\omega = m \times g$$

$$\omega = 46,048 \text{ kg} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\omega = 451,287 \text{ N}$$

4.6 PESO DE LA CAMISA

Para el cálculo del peso de la camisa primero se seleccionó el acero en el cual esta va a ser fabricada, acero 1020, para realizar el cálculo se tienen los siguientes datos:

Espesor de la camisa: 2,1 cm

Radio interno = Ri: 3,514 cm

Radio externo = Re = 4,564 cm

Altura = h = 140 cm

Con los siguientes datos se calcula el volumen tal como se observa:

$$V = \pi \times h \times (Re^2 - Ri^2)$$

$$V = \pi \times 140 \text{ cm} \times (4,564 \text{ cm}^2 - 3,514 \text{ cm}^2)$$

$$V = 3773,7233 \text{ cm}^3$$

Con el dato obtenido para el volumen se aplica la fórmula:

⁸¹ Disponible en: http://www.acerosotero.cl/acero_aleado_sae_4140.html citado el 1 de mayo de 2017.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Despejando:

$$m = \rho \times V$$

Reemplazando se tiene que:

$$m = 7,87 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 3773,7233 \text{ cm}^3$$

$$m = 29699,20237 \text{ g} \rightarrow 29,69 \text{ kg}$$

Se busca el peso de la camisa para realizar los cálculos de la estructura:

$$\omega = m \times g$$

$$\omega = 29,69 \text{ kg} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\omega = 291,0521 \text{ N}$$

4.7 SELECCIÓN MOTORREDUCTOR

La selección del motorreductor se realizó a través de un catálogo siemens con los datos obtenidos anteriormente tales como potencia, par de salida, caballos de potencia, se logró encontrar el motorreductor de ejes coaxiales con numero de referencia 2KJ1003-2GH13-1AN1 que cumple con los requisitos mínimos para el funcionamiento de la máquina, de esta manera el catalogo muestra el dato de la masa del motorreductor con la que se procede a calcular su peso (VER ANEXO B)

$$m = 51 \text{ Kg}$$

$$\omega = m \times g$$

$$\omega = 51 \text{ kg} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\omega = 499,8 \text{ N}$$

4.7.1. Acople mecánico tornillo-motorreductor. Tiene la función de conectar dos ejes diferentes, en este caso se encarga de acoplar el eje de salida del motorreductor y el tornillo sin fin, el acoplamiento encargado de realizar esta función es de tipo flexible, "ya que se diseñan para transmitir torque con suavidad,

en tanto permiten cierta desalineación axial, radial o angular⁸², el tornillo solo se apoya mediante el acople, esto puede causar desalineación, a continuación, se selecciona el tipo de acople.

El diámetro del eje de salida del motorreductor es de 40mm (Ver anexo B), el torque a transmitir es de 150Nm, calculado en el numeral 4.3.1.13, mediante la tabla 19 se determinan los coeficientes de seguridad y de factor de carga para el acople;

Tabla 19. Factor de carga K1

Máquina motriz			Máquina receptora	Ejemplos de máquinas receptoras
Motor electr. y turbina	Máq de pistón 4 a 6 cilind.	1 a 3 cilind.		
1	1,2	1,4	1 Marcha regular Inercia muy pequeña	•Eje de reenvío •Generador de alumbrado •Línea de ejes •Bombas centrífugas •Ventilador centrifugo ...
1,2	1,4	1,7	2 Marcha irregular Inercia pequeña	•Agitador de líquidos •Cinta transportadora •Ascensor •Máquinas herramientas rotativas para madera y metales •Máquinas textiles ligeras •Plegadoras •Bombas de engranajes •Bombas de paletas •Ventiladores ...
1,4	1,7	2	3 Marcha irregular Inercia media	•Agitador de líquidos cargados •Compresor rotativo •Transportadora de rodillos •Desmenuzadoras •Hornos rotativos •Máquinas para maderas (desbastadora, sierra de cinta ...) •Máquinas para imprimir •Mezclador •Montacargas •Punzonadora •Bomba centrífuga para líquidos cargados ...
1,7	2	2,4	4 Marcha irregular Inercia media De golpes medios	•Hormigonera •Molino de percusión •Molino de bolas •Compresor de pistón con volante de inercia •Transportador de cadena •Grúa •Laminador de metales ligeros •Máquinas de molino harinero •Martillo pilón •Telar •Bomba de pistón con volante de inercia •Cepilladora de metales •Tornos elevadores •Ventiladores de mina ...
2	2,4	2,8	5 Marcha irregular Inercia importante De golpes importantes	•Molino de martillos •Calandra (de caucho, textil ...) •Compresor de pistón con pequeño volante de inercia •Desfibadora de madera •Excavadora •Laminador •Bomba de pistón con pequeño volante de inercia •Prensa forjadora •Prensa para fabricación de papel •Tamiz vibrante ...
2,4	2,8	3,3	6 Marcha irregular Inercia muy importante De golpes muy importantes	•Compresor de pistón sin volante de inercia •Triturador • Generador de soldadura •Laminador pesado •Prensa de mam posteria •Bomba de pistón sin volante de inercia ...

Fuente: QUILODRAN. Virgilio, PÉREZ. Raúl, MARCHANT. Cristián. Acoplamiento mecánicos. Universidad de Chile. Chile. 14p.

Se selecciona un factor de carga de 1,7, debido a que el motorreductor no trabaja constantemente, es decir, tiene una marcha irregular, mediante la tabla 20, se selecciona el valor del factor de carga K2.

⁸² QUILODRAN. Virgilio, PÉREZ. Raúl, MARCHANT. Cristián. Acoplamiento mecánicos. Universidad de Chile. Chile. 14p.

Tabla 20. Factor de carga K2

Según máquina motriz - máquina receptora Ver cuadro K ₁	NUMERO DE ARRANQUES POR HORA				
	1	10	30	60	120
1	1	1,2	1,3	1,5	1,6
2 3	1	1,1	1,2	1,3	1,4
4 5 6	1	1,05	1,1	1,2	1,2

Fuente: QUILODRAN. Virgilio, PÉREZ. Raúl, MARCHANT. Cristián. Acoplamientos mecánicos. Universidad de Chile. Chile. 14p.

La tabla 20, muestra el factor de carga K2 debido al número de arranques del motorreductor por hora, se toma 60, ya que es el tiempo que tarda la máquina en completar un ciclo de inyección, mediante el uso de la tabla 21, se determina el factor de carga k3 con respecto a las horas de uso al día.

Tabla 21. Factor de carga K3

Número de horas de funcionamiento diario	0 - 2	2 - 8	8 - 16	16 - 24
Coefficiente K ₃	0,9	1	1,1	1,2

Fuente: QUILODRAN. Virgilio, PÉREZ. Raúl, MARCHANT. Cristián. Acoplamientos mecánicos. Universidad de Chile. Chile. 14p.

En la tabla 21, se determina el factor de carga k3 con respecto a las horas de operación, se asume que la maquina trabaja mínimo 8 horas al día. A continuación, se determina el par nominal de acoplamiento.

$$C_n = T * K_1 * K_2 * K_3$$

Donde:

C_n = Par nominal de acoplamiento

T = Torque

K₁ = Factor de carga debido a la marcha

K₂ = Factor de carga debido a el número de arranques

K₃ = Factor de carga debido a las horas de operación

Reemplazando los valores se obtiene;

$$C_n = 150 \text{ N} * \text{m} * 1,7 * 1,2 * 1,1$$

$$C_n = 336,6 \text{ N} * \text{m}$$

De acuerdo con el par de acoplamiento, los diámetros del eje de salida del motorreductor y el diámetro del tornillo, se selecciona un acople flexible de la empresa SKF referencia ECCN 080 R (Ver anexo C), cuyo torque máximo es de 930 N*m y el diámetro de eje mínimo es de 36 mm y máximo 107 mm.

4.8 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA

El cálculo para el análisis de la estructura incluye factores como la distribución, componentes de la máquina y su peso; en esta estructura se encuentran los elementos tales como, motorreductor y sistema de inyección⁸³.

4.8.1 Análisis de la viga. Para determinar si la estructura soporta el peso de todos los componentes se hace un análisis en la viga más crítica como se presenta a continuación:

Fuerza total tornillo = fuerza del tornillo sin fin + fuerza de la camisa

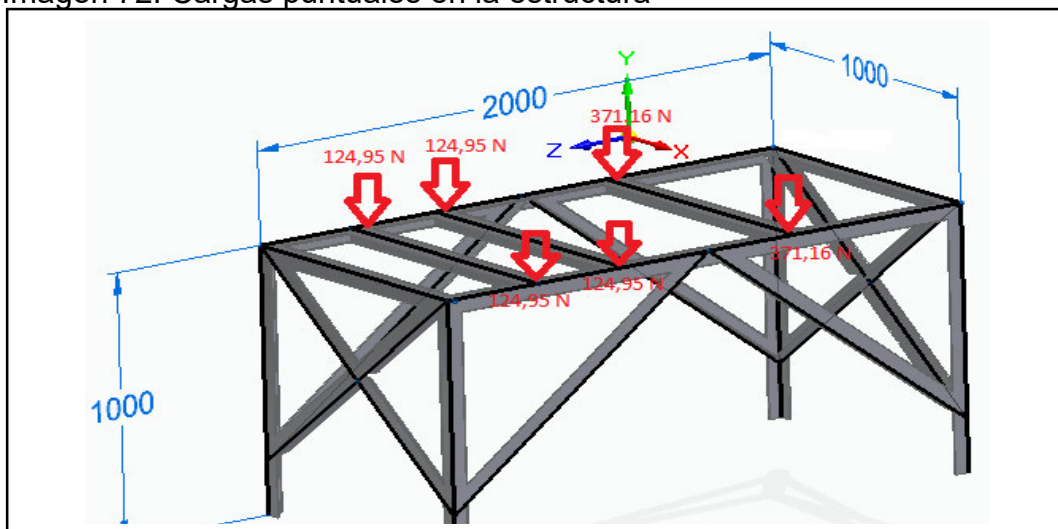
$$\text{Fuerza total tornillo} = 451,27 \text{ N} + 291,0521 \text{ N}$$

$$\text{Fuerza total tornillo} = 742,3221 \text{ N}$$

Además de la fuerza del tornillo también se presenta la fuerza ejercida por el motorreductor sobre la estructura la cual es:

$$\text{Fuerza motorreductor} = 499,8 \text{ N}$$

Imagen 72. Cargas puntuales en la estructura

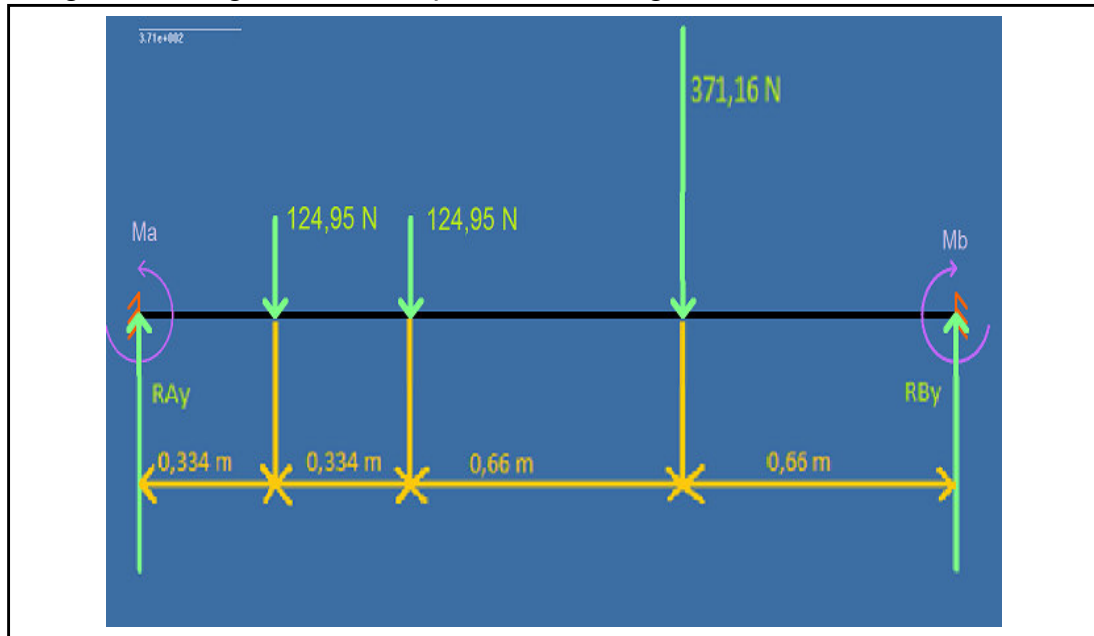


⁸³ MURCIA. Juan, ROMERO. Andrés. Diseño de un sistema primario en el proceso de trituración de llantas usadas desalambradas. Tesis de grado. Fundación Universidad de América. 2016. 92p

Como se observa en la imagen 72, la viga crítica será analizada debido a que esta es la que soporta las cargas de los componentes de la máquina pues presenta más tendencia a flectarse⁸⁴.

En la imagen 73 se observa el diagrama de cuerpo libre de la estructura de apoyo, mediante el uso de este diagrama se realiza el cálculo de resistencia de materiales para determinar si la estructura seleccionada soporta las cargas aplicadas.

Imagen 73. Diagrama de cuerpo libre de la viga



$$\Sigma M_A = 0$$

$$0 = -(124,95 \text{ N} \times 0,334 \text{ m}) - (124,95 \text{ N} \times 0,666 \text{ m}) - (371,16 \text{ N} \times 1,333 \text{ m}) + (R_{BY} \times 2 \text{ m})$$

Realizando el despeje correspondiente se tiene que:

$$R_{BY} = \frac{(124,95 \text{ N} \times 0,334 \text{ m}) + (124,95 \text{ N} \times 0,666 \text{ m}) + (371,16 \text{ N} \times 1,333 \text{ m})}{2 \text{ m}}$$

$$R_{BY} = 316,4801 \text{ N}$$

⁸⁴ MURCIA. Juan, ROMERO. Andrés. Diseño de un sistema primario en el proceso de trituración de llantas usadas desalambradas. Tesis de grado. Fundación Universidad de América. 2016. 92p

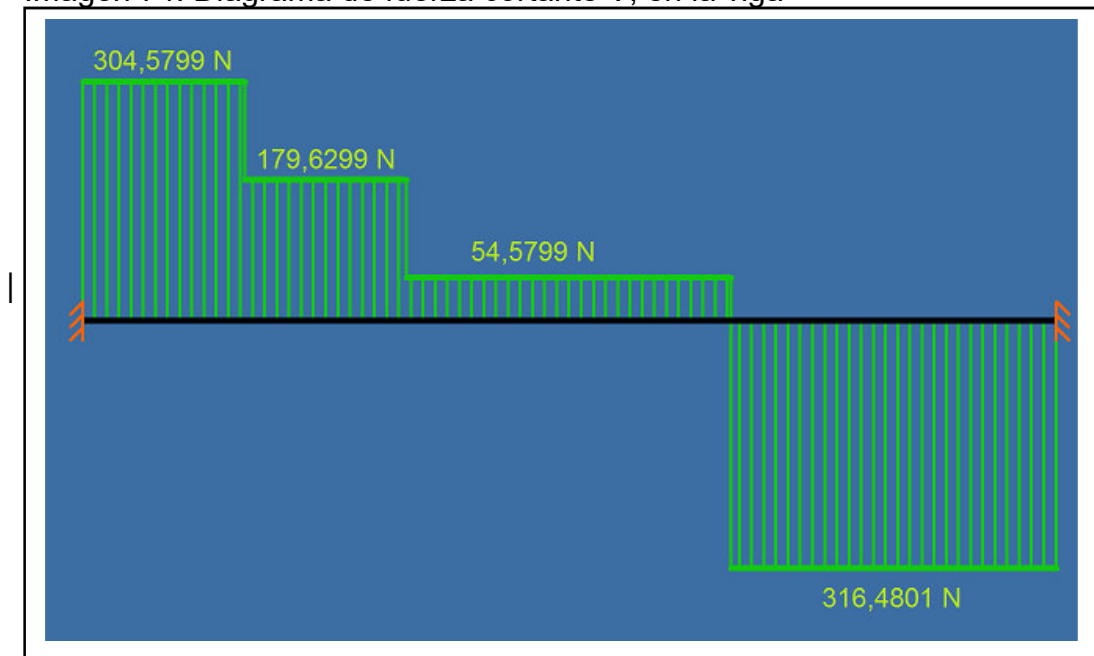
Con el valor de la reacción calculada se hace la sumatoria de fuerzas en Y, tal como se aprecia a continuación.

$$\Sigma F_Y = 0$$

$$0 = R_{AY} - 124,95 \text{ N} - 124,95 \text{ N} - 371,16 \text{ N} + 316,4801 \text{ N}$$

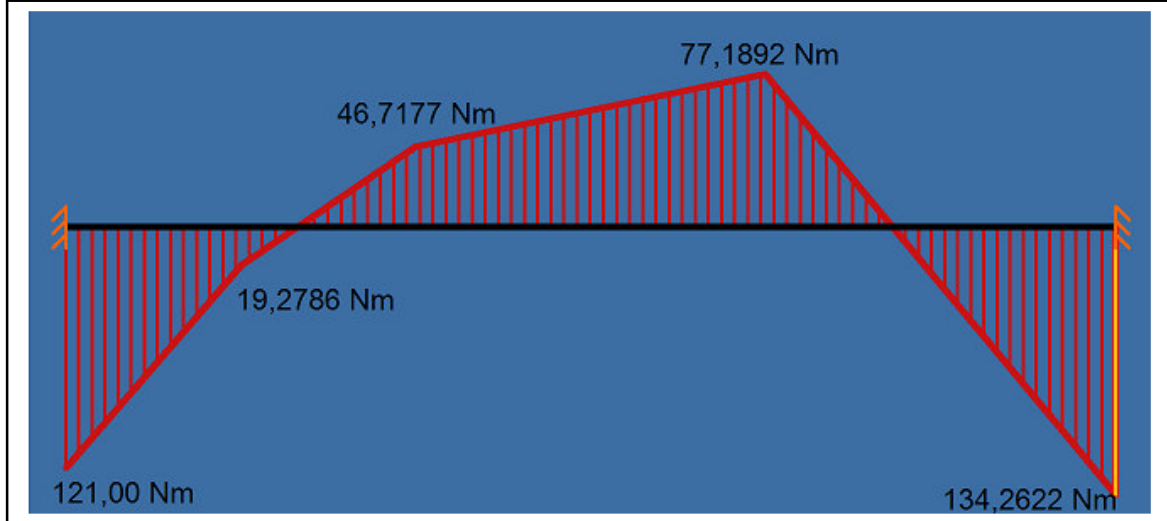
$$R_{AY} = 304,5799 \text{ N}$$

Imagen 74. Diagrama de fuerza cortante V, en la viga



Como se observa en la imagen 74 se presentan las fuerzas y con la aplicación del método de áreas se tiene que el diagrama de momento flexionante es el mostrado en la imagen 75.

Imagen 75. Diagrama de momento flexionante M, en la viga



Como se observa en la imagen 75, se obtuvo que el momento máximo en la viga es:

$$M_{\max} = 134,2622 \text{ N} * \text{m}$$

Para el diseño específico de vigas es conveniente definir la fórmula de flexión de la siguiente manera⁸⁵.

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

Donde.

$$S = \frac{I}{C}$$

M = magnitud del momento de flexión en la sección.

I = momento de inercia del área transversal con respecto a su eje.

C = Distancia del eje neutro en la sección transversal de la viga.

S = módulo de sección.

En la fabricación de la estructura se utilizará acero estructural A36 debido a sus buenas propiedades para el diseño y fabricación de estas., a continuación, se enuncian sus características;

⁸⁵ MOTT. Robert. Diseño de elementos de máquinas y herramientas. Cuarta edición 2006. 106p.

Acero estructural de buena soldabilidad, adecuado para la fabricación de vigas soldadas para edificios, estructuras remachadas, y atornilladas, bases de columnas, piezas para puentes y depósitos de combustibles.⁸⁶

Aplicaciones

Construcción de puentes, estanques, estructuras para industrias, edificios, torres y aplicaciones estructurales en general.

Acero A36 = 250 MPa = σ_y

$$\sigma_{\partial} = \frac{\sigma_y}{F.S} = \frac{250 \text{ MPa}}{2} = 125 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{M}{\sigma_{\partial}} = \frac{134,2622 \text{ Nm}}{125 \text{ MPa}}$$

$$S = \frac{134,2622 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}}{125 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}}$$

$$S = \frac{134,2622 \text{ Kg} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^2}{125 \cdot \text{s}^2 \cdot \text{Kg}}$$

$$S = 1,0740 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$1,0740 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \frac{61023.7 \text{ in}^3}{1 \text{ m}^3} = 0,0656 \text{ in}^3$$

Se selecciona el perfil deseado en la tabla 22 de propiedades de los ángulos de acero de lados iguales, la designación escogida de acuerdo con el módulo de sección S en el eje X-X es L2 X 2 x 1/8.

⁸⁶ DISPONIBLE en:

http://www.acerosotero.cl/planchas_acero_carbono_astm_a36.html citado el 1 de agosto de 2017

Tabla 22. Propiedades de los ángulos de acero de lados iguales

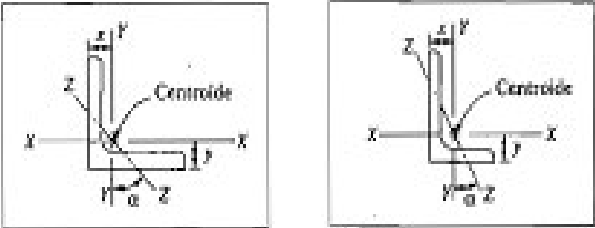


TABLA A16-1 Propiedades de los ángulos de acero de lados iguales y lados desiguales*

Designación	Área (pulg ²)	Peso por pie (lb)	Eje X-X			Eje Y-Y			Eje Z-Z	
			<i>I</i> (pulg ⁴)	<i>S</i> (pulg ³)	<i>y</i> (pulg)	<i>I</i> (pulg ⁴)	<i>S</i> (pulg ³)	<i>x</i> (pulg)	<i>r</i> (pulg)	<i>α</i> (deg)
L8 × 8 × 1	15.0	51.0	89.0	15.8	2.37	89.0	15.8	2.37	1.56	45.0
L8 × 8 × 1/2	7.75	26.4	48.6	8.36	2.19	48.6	8.36	2.19	1.59	45.0
L8 × 4 × 1	11.0	37.4	69.6	14.1	3.05	11.6	3.94	1.05	0.846	13.9
L8 × 4 × 1/2	5.75	19.6	38.5	7.49	2.86	6.74	2.15	0.859	0.865	14.9
L6 × 6 × 3/4	8.44	28.7	28.2	6.66	1.78	28.2	6.66	1.78	1.17	45.0
L6 × 6 × 3/8	4.36	14.9	15.4	3.53	1.64	15.4	3.53	1.64	1.19	45.0
L6 × 4 × 3/4	6.94	23.6	24.5	6.25	2.08	8.68	2.97	1.08	0.860	23.2
L6 × 4 × 3/8	3.61	12.3	13.5	3.32	1.94	4.90	1.60	0.941	0.877	24.0
L4 × 4 × 1/2	3.75	12.8	5.56	1.97	1.18	5.56	1.97	1.18	0.782	45.0
L4 × 4 × 1/4	1.94	6.6	3.04	1.05	1.09	3.04	1.05	1.09	0.795	45.0
L4 × 3 × 1/2	3.25	11.1	5.05	1.89	1.33	2.42	1.12	0.827	0.639	28.5
L4 × 3 × 1/4	1.69	5.8	2.77	1.00	1.24	1.36	0.999	0.896	0.651	29.2
L3 × 3 × 1/2	2.75	9.4	2.22	1.07	0.932	2.22	1.07	0.932	0.584	45.0
L3 × 3 × 1/4	1.44	4.9	1.24	0.577	0.842	1.24	0.577	0.842	0.592	45.0
L2 × 2 × 3/8	1.36	4.7	0.479	0.351	0.636	0.479	0.351	0.636	0.389	45.0
L2 × 2 × 1/4	0.938	3.19	0.348	0.247	0.500	0.348	0.247	0.500	0.301	45.0
L2 × 2 × 1/8	0.484	1.65	0.190	0.131	0.546	0.190	0.131	0.546	0.308	45.0

FUENTE MOTT. Robert. Diseño de elementos de máquinas y herramientas. Cuarta edición 2006. A-31p.

Con el módulo de sección *S* del ángulo seleccionado se procede a calcular el factor de seguridad.

$$0,131 \text{ in}^3 * \frac{1\text{m}^3}{61023,7 \text{ in}^3} = 2,1467 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$S = 2,1467 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\sigma_d = \frac{M}{S}$$

$$\sigma_d = \frac{124,17 \text{ N} \cdot \text{m}}{2,1467 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_d = 57,8922 \text{ MPa}$$

$$F.S = \frac{\sigma_y}{\sigma_d}$$

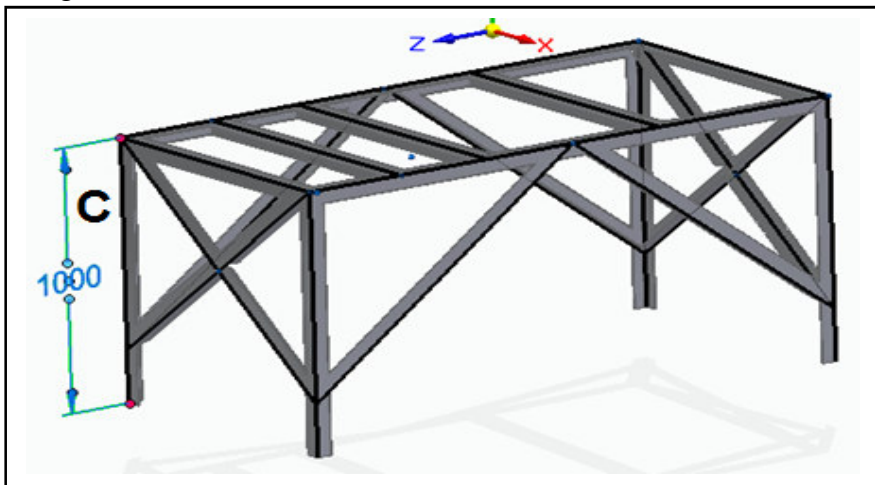
$$F.S = \frac{250 \text{ MPa}}{57,8422 \text{ MPa}}$$

$$F.S = 4,32$$

De acuerdo con los cálculos anteriormente presentados se observa que el cálculo correspondiente al factor de seguridad es de 4,32, esto significa que la estructura no presentará falla estructural por las cargas a las que será sometida.

4.8.2 Análisis de la columna. Para corroborar que la estructura soporta el peso del motorreductor se realiza un análisis sobre la columna (C) mostrada en la imagen 76 de la estructura.

Imagen 76. Medidas de las columnas de la estructura



Para el cálculo de columna se seguirá el procedimiento explicado en el libro de diseño de máquinas citado a continuación⁸⁷

Fuerza ejercida por el motorreductor en la columna

$$499,8 \text{ N} = f$$

⁸⁷ MOTT. Robert. Diseño de elementos de máquinas y herramientas. Cuarta edición 2006. 232p.

$$M_d = f \text{ real 1 columna} = \frac{499,8 \text{ N}}{4}$$

$$f \text{ real 1 columna} = 124,95 \text{ N}$$

Se utiliza el momento de inercia del ángulo seleccionado en el eje Y-Y, ya que es el eje de pandeo crítico.

$$I = 0,190 \text{ in}^4 * \frac{1 \text{ m}^4}{(39,3701) \text{ in}^4}$$

$$I = 7,9083 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Área Pulgada²

$$0,484 \text{ in}^2 * \frac{1 \text{ m}^2}{1550,003 \text{ in}^2} = 3,122 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Luego de haber calculado el momento de inercia y el área en metros se puede calcular el radio de giro.

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$r = \sqrt{\frac{7,9083 \times 10^{-8} \text{ m}^4}{3,122 \times 10^{-4} \text{ m}^2}}$$

$$r = 0,0159 \text{ m}$$

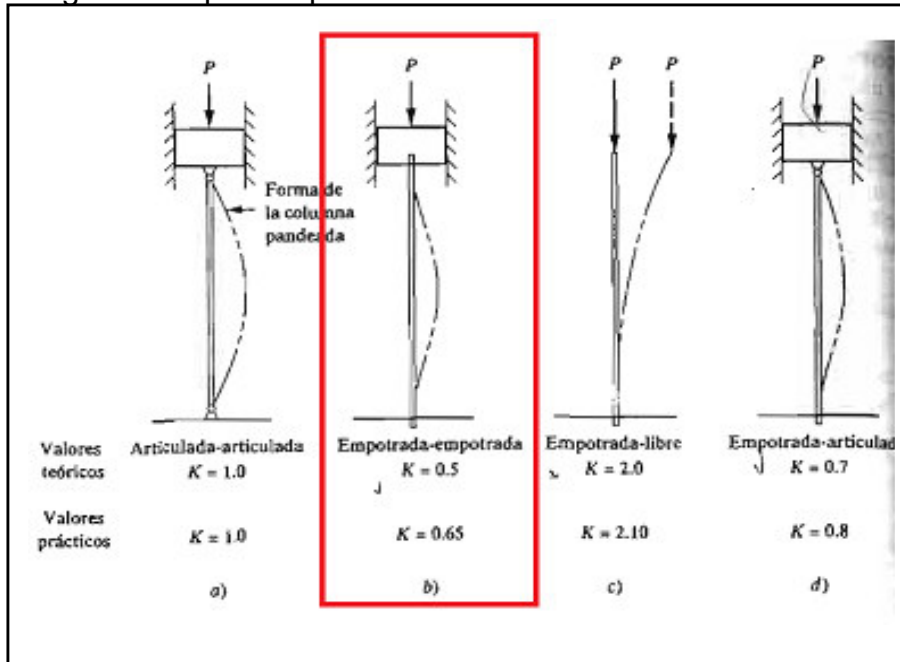
Posteriormente se calcula la longitud efectiva de la columna expresada en la siguiente formula.

$$L_e = K * L$$

Donde

L_e = Longitud efectiva de la columna
 K = constante de los extremos fijados
 L = longitud real de la columna

Imagen 77. Tipos de pandeo en columnas



FUENTE MOTT. Robert. Diseño de elementos de máquinas y herramientas. Cuarta edición 2006. 234p.

Con el valor teórico tomado para una columna doblemente empotrada se calcula la longitud efectiva.

$$l_e = K * L = 0,5 \text{ m} * 1 \text{ m} = 0,5 \text{ m}$$

Relación de esbeltez real es;

$$R\sigma = \frac{L_e}{r}$$

Donde:

$R\sigma$ = Relación de esbeltez

L_e = Longitud efectiva de la columna

r = Radio de giro

$$R\sigma = \frac{0,5 \text{ m}}{0,0159 \text{ m}}$$

$$R\sigma = 31,4155$$

El cálculo de la Relación esbeltez transición o constante de columna [CC] es realizado para la comparación con la relación de esbeltez real, de tal forma saber el método apropiado para analizar la columna.

$$CC = \sqrt{\frac{2\pi^2 * E}{S_y}}$$

Donde;

CC = Relación de esbeltez de transición

E = módulo de elasticidad del material de la columna.

S_y = resistencia a la fluencia del material.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 * 200 \text{ MPa}}{250 \text{ MPa}}}$$

$$C_c = 3,9738$$

Comparando los datos obtenidos se tiene que la relación de esbeltez real (Rσ) es mucho mayor que la esbeltez de transición (C_c).

$$R\sigma = 31,4155 > C_c = 3,9738$$

Por tal razón se asume que la columna es larga es decir que se empleará la fórmula de Euler:

$$Per = \frac{\pi^2 * E * A}{R\sigma^2}$$

Donde;

Per = carga crítica de pandeo

E = módulo de elasticidad del material de la columna.

A = área transversal

Rσ = relación de esbeltez real

$$Per = \frac{\pi^2 * 200 \text{ MPa} * 3,122 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{31,4155^2}$$

$$Per = 1246,6765 \text{ N}$$

Con esta carga la columna comenzará a pandearse, una carga segura tendría un valor menor, se calcula al aplicar el factor de diseño a la carga crítica.

$$Pa = \frac{P_{cr}}{N}$$

$$Pa = \frac{1246,6765 \text{ N}}{3}$$

$$Pa = 415,548 \text{ N}$$

$$F.S = \frac{1246,6765 \text{ N}}{124,95 \text{ N}}$$

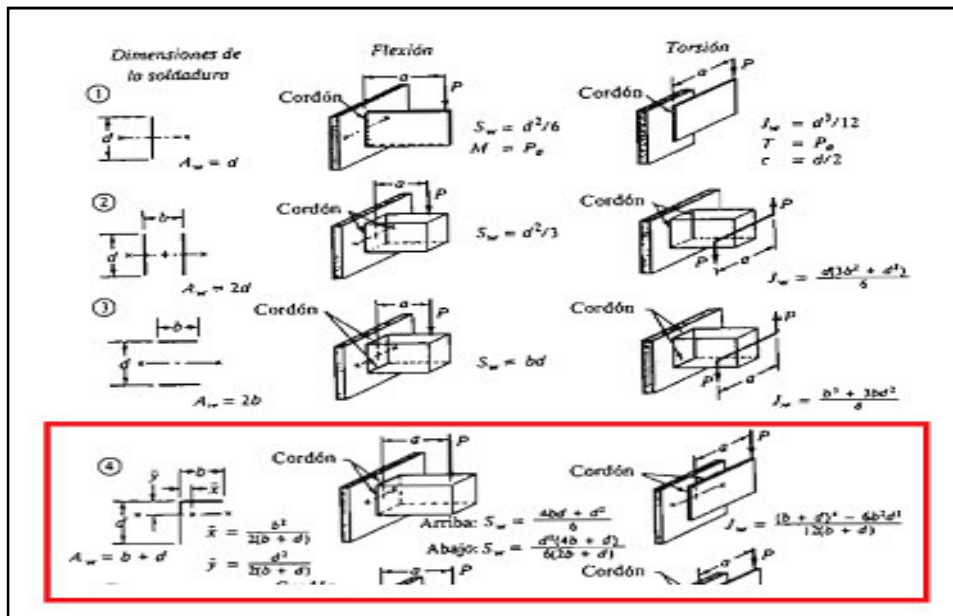
$$F.S = 9,97$$

Se obtuvo que el factor de seguridad es 9,97, lo cual demuestra que la columna no va a sufrir pandeo ni fallará debido a las cargas.

4.9 ANÁLISIS DE SOLDADURA

El tipo de estructura que se diseñó está compuesto por ángulos de lados iguales, los cuales se unen por medio de soldadura, por tal motivo se realiza el cálculo de la resistencia de las uniones soldadas mostrado en el libro de diseño de Mott.

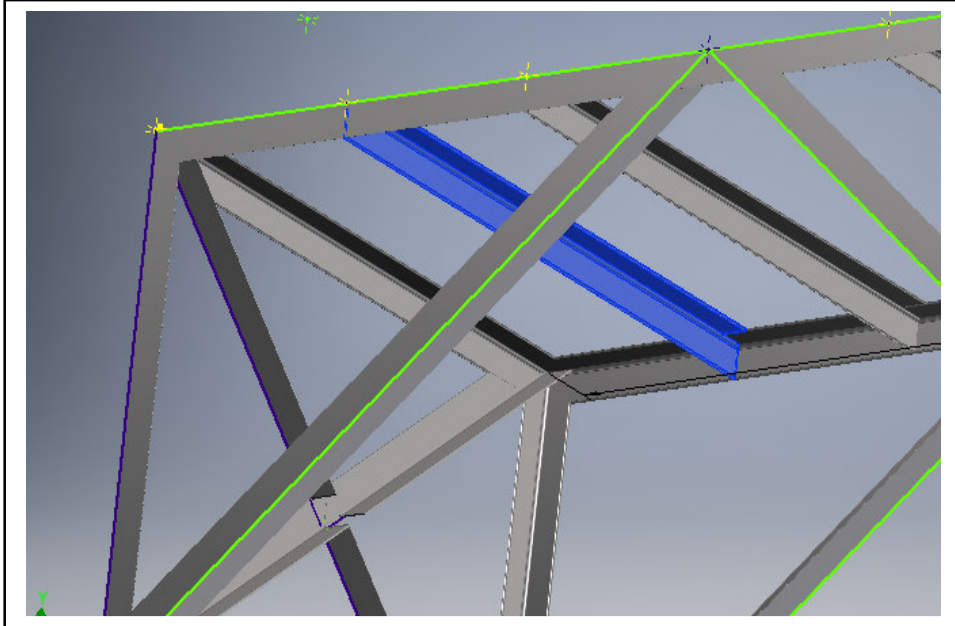
Imagen 78. Factores geométricos para el análisis de soldaduras



FUENTE: MOTT. Robert. Diseño de elementos de máquinas y herramientas. Cuarta edición 2006. 286p.

La estructura que se va a diseñar está propuesta para tener ángulos de lados iguales por tal razón el cálculo para la unión soldada número 4, sometida a flexión como se aprecia en la imagen 78.

Imagen 79. Análisis soldadura



Cálculo de los factores geométricos.

$$S_{warrriba} = \frac{(4 * b * d) + d^2}{6}$$

$$S_{wabajo} = \frac{d^2 * ((4 * b) + d)}{6 * ((2 * b) + d)}$$

Donde.

d= altura de perfil (peralte)= 2 pulgadas

b= ancho del perfil (patín)= 2 pulgadas

$$S_{warrriba} = \frac{(4 * 2 * 2) + 2^2}{6}$$

$$S_{warrriba} = 3,33 \text{ in}^2$$

$$S_{wabajo} = \frac{2^2 * ((4 * 2) + 2)}{6 * ((2 * 2) + 2)}$$

$$S_{wabajo} = 1,11 \text{ in}^2$$

Se procede con el cálculo de A_w en el que tenemos que.

$$A_w = b + d$$

$$A_w = 4 \text{ in}$$

Luego de haber calculado esta proseguimos con.

$$\bar{y} = \frac{d^2}{2 * (b + d)}$$

$$\bar{y} = \frac{2}{2 * (2 + 2)}$$

$$\bar{y} = \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$\bar{x} = \frac{b^2}{2 * (b + d)}$$

$$\bar{x} = \frac{2}{2 * (2 + 2)}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{4} \text{ in}$$

Ahora se realiza el cálculo del momento flector.

$$M = V * a$$

Donde.

V = carga

a = distancia soldadura a la carga

Entonces se tiene que.

$$M = 124,95 \text{ N} \times 1 \text{ m}$$

$$M = 124,95 \text{ N} * \text{ m} \rightarrow 1105,80 \text{ lb} * \text{ in}$$

Se calcula la fuerza de flexión.

$$f_b = \frac{M}{S_w}$$

En el siguiente cálculo se usan los valores anteriormente encontrados de Swarriba y Swabajo

$$f_{\text{barrriba}} = \frac{1105,80 \text{ lb} \cdot \text{in}}{3,33 \text{ in}^2}$$

$$f_{\text{barrriba}} = 332,0720 \frac{\text{lb}}{\text{in}}$$

$$f_{\text{babajo}} = \frac{1105,80 \text{ lb} \cdot \text{in}}{1,11 \text{ in}^2}$$

$$f_{\text{babajo}} = 996,2162 \frac{\text{lb}}{\text{in}}$$

Se suman los dos valores obtenidos.

$$f_{\text{btotal}} = f_{\text{barrriba}} + f_{\text{babajo}}$$

$$f_{\text{btotal}} = 332,0720 \frac{\text{lb}}{\text{in}} + 996,2162 \frac{\text{lb}}{\text{in}}$$

$$f_{\text{btotal}} = 1328,2882 \frac{\text{lb}}{\text{in}}$$

Imagen 80. Esfuerzos cortantes y fuerzas sobre soldadura

Grado ASTM del metal base	Electrodo	Esfuerzo cortante admisible	Fuerza admisible por pulgada de lado
Estructuras de edificios:			
A36, A441	E60	13 600 psi	9600 lb/pulg
A36, A441	E70	15 800 psi	11 200 lb/pulg
Estructuras de puentes:			
A36	E60	12 400 psi	8800 lb/pulg
A441, A242	E70	14 700 psi	10 400 lb/pulg

FUENTE: MOTT. Robert. Diseño de elementos de máquinas y herramientas. Cuarta edición 2006. 785p

En la imagen 80, se selecciona un electro E7018 se utiliza para soldaduras de acero al carbono de hasta 70.000 lb/pulg² de resistencia a la tensión, en

aplicaciones en estructura⁸⁸, la cual es usada para aceros A36 por sus buenas propiedades, una fuerza admisible por pulgada de lado, la cual es 9600 lb/in, se calcula la longitud del hilo.

$$W = \frac{f_{btotal}}{\text{fuerza admisible por pulgada de lado}}$$

$$W = \frac{1328,2882 \frac{\text{lb}}{\text{in}}}{9600 \frac{\text{lb}}{\text{in de lado}}}$$

$$W = 0,138 \text{ in} \approx \frac{3}{16} \text{ in}$$

Calculo de soldadura por el método del libro diseño de elementos de máquinas de Robert Norton⁸⁹, los factores de seguridad del cordón de soldadura se muestran en la imagen 81.

Imagen 81. Factores de seguridad contra falla estática

Tabla 12-1 Factores de seguridad contra falla estática cuando se utiliza la ecuación 12.1 ^[6]					
Como los reportó la Testing Engineers, Inc., 1968					
Metal base	Clase del electrodo	Factores de seguridad cuando se aplica un esfuerzo en el área de la garganta igual a 0.3 de la resistencia a la tensión del electrodo			
		Soldaduras longitudinales		Soldaduras transversales	
		Promedio	Mínimo	Promedio	Mínimo
A36	E60xx	2.88	2.67	—	—
A441	E70xx	2.95	2.67	4.62	4.06
A514	E110xx	2.41	2.21	3.48	3.30

FUENTE: NORTON. Robert. Diseño de máquinas, un enfoque integrado. Cuarta edición 2006. 800p

Debido a que la soldadura E60 ya no es tan común para la unión en estructuras por tal motivo decidimos usar la el electrodo E70 recomendado por el procedimiento del libro de Robert Norton

⁸⁸ Disponible en [http:// www.westarco.com/ westarco/sp/support/ documentation/ upload / catalogo-resumido-westarco.pdf](http://www.westarco.com/westarco/sp/support/documentation/upload/catalogo-resumido-westarco.pdf) citado el 2 de agosto de 2017

⁸⁹ NORTON. Robert. Diseño de máquinas, un enfoque integrado. Cuarta edición 2006. 800p

Determinaremos la resistencia permisible con base en el 30% del valor del límite de fluencia de este electrodo la ecuación es tomada del libro de diseño de Norton.

$$\tau_{\text{permisible}} = 0.30 * \text{Resistencia a la fluencia del electrodo}$$

$$\tau_{\text{permisible}} = 0.30 * (60 \text{ kpsi})$$

$$\tau_{\text{permisible}} = 18 \text{ kpsi}$$

Calculamos el área cortante necesaria en la garganta para limpiar el esfuerzo a este valor.

$$\tau_{\text{permisible}} = \frac{P}{A_{\text{cortante}}}$$

Donde;

$\tau_{\text{permisible}}$ = Esfuerzo permisible

P = Fuerza aplicada en la soldadura

A_{cortante} = Área cortante necesaria en la garganta

Sabiendo que la carga máxima es de 371,16 N = 83,44 lbf, según lo mostrado en el diagrama de cuerpo libre de la imagen 73, se obtiene un área cortante necesaria en la garganta de;

$$A_{\text{cortante}} = \frac{83,44 \text{ lbf}}{18000 \text{ psi}} = 0,04635 \text{ in}^2$$

Determinamos el área mínima de la longitud completa en el cordón de soldadura, que proporciona el área requerida.

$$A_{\text{cortante}} = 2 * A_{\text{Lt}}$$

Donde;

A_{cortante} = Área cortante necesaria en la garganta

A_{Lt} = Área mínima de la longitud completa en el cordón

$$A_{\text{Lt}} = \frac{A_{\text{cortante}}}{2}$$

$$A_{\text{Lt}} = 0,023175 \text{ in}^2$$

El área de longitud completa en el cordón, se convierte esta dimensión t de la garganta al ancho de la pierna w, en este caso una la junta se encuentra a 90° y su espesor es de 0,1 in.

$$w = \frac{t}{\cos(45^\circ)}$$

Donde;

w = Ancho de la pierna

t = Ancho de la garganta

$$W = \frac{0.1 \text{ in}}{0.707} = 0.141 \text{ in}$$

Imagen 82. Tamaños mínimos de soldadura en filetes

Tamaños mínimos de soldadura en filetes*	
Espesor del metal base (T)	Tamaño mínimo de la soldadura
tamaño en pulgadas	
T ≤ 1/4	1/8
1/4 < T ≤ 1/2	3/16
1/2 < T ≤ 3/4	1/4
3/4 < T	5/16
tamaños en mm	
T ≤ 6	3
6 < T ≤ 12	5

FUENTE: NORTON. Robert. Diseño de máquinas, un enfoque integrado. Cuarta edición 2006. 800p

Por el tamaño obtenido se requiere un ancho de soldadura igual a 3/16 in, según lo mostrado en la imagen 82, de modo que se incrementa el ancho de pierna de la soldadura a 0.187 in; con el resultado obtenido comprobamos que la soldadura calculada anteriormente también sirve.

Imagen 83. Resistencias mínimas de algunos aceros ASTM

Resistencias mínimas de algunos aceros estructurales ASTM		
Número ASTM	S _y kpsi (MPa)	S _{ut} kpsi (MPa)
A36	36 (250)	58-80 (400-500)
A572 Gr42	42 (290)	60 (415)
A572 Gr50	50 (345)	65 (450)
A514	100 (690)	120 (828)

FUENTE: NORTON. Robert. Diseño de máquinas, un enfoque integrado. Cuarta edición 2006. 800p

En la imagen 83 se verificará si la pieza fallara en el metal base fundido, solo se necesita verificar las áreas al cortante contra falla, la resistencia mínima a la fluencia por tensión del material es de 36 Kpsi, según lo mostrado en la imagen 83.

$$\tau_{xy} = \frac{P}{A_{cortante}} = \frac{P}{2Lw} = \frac{83,44 \text{ Lbf}}{0,04635 \text{ in}^2} = 1800 \text{ psi}$$

El factor de seguridad contra el esfuerzo cortante para el cordón de soldadura es;

$$N_c = \frac{S_y}{\tau_{xy}} = \frac{36000 \text{ psi} * (0.557)}{1800 \text{ psi}} = \frac{20772 \text{ psi}}{1800 \text{ psi}} = 11,54$$

Este valor es aceptable, sobre todo porque la resistencia a la fluencia es un valor mínimo garantizado.

Se rectificará la resistencia contra falla por tensión, a través de la sección en la línea central⁹⁰.

$$\sigma_x = \frac{P}{A_{Lt}} = \frac{83,44 \text{ Lbf}}{0,023175} = 3600 \text{ psi}$$

$$N_{fluencia} = \frac{S_y}{\sigma_x} = \frac{36000 \text{ psi}}{3600 \text{ psi}} = 10$$

La pieza es segura contra la fluencia por tensión contra falla en la soldadura.

Se selecciona un electrodo 7018, ya que se cuenta con un electrodo en el cual se puede utilizar en todas las posiciones, es adecuado para ser utilizado en el acero ASTM A36, y su revestimiento es de tipo orgánico, amigable con el medio ambiente, en la imagen 84 se enlistan las ventajas de los diferentes tipos de electrodos de soldadura.

⁹⁰ NORTON. Robert. Diseño de máquinas, un enfoque integrado. Cuarta edición 2006. 800p

Imagen 84. Tipos de electrodos de soldadura

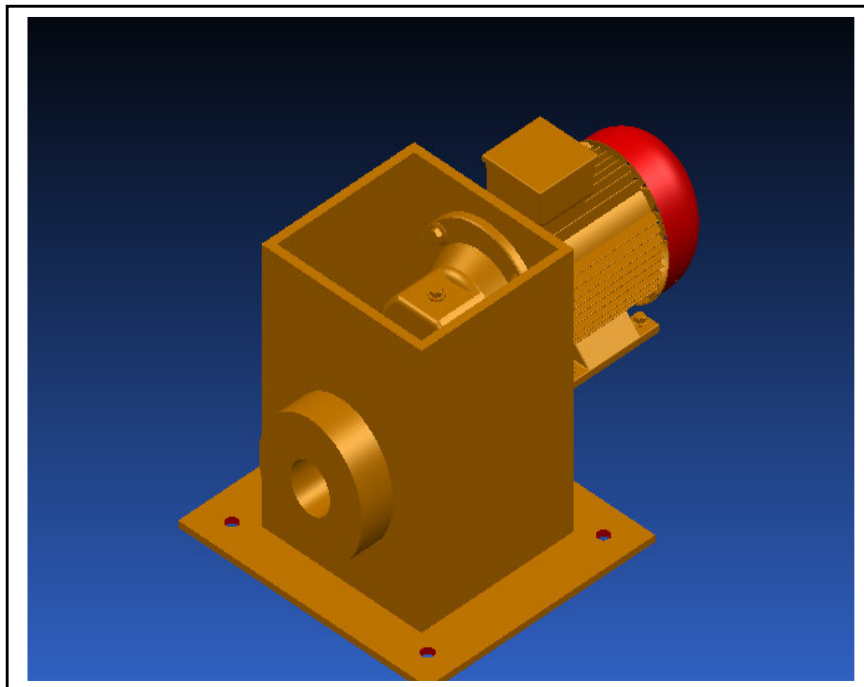
Última cifra	Tipo de corriente	Tipo de Revestimiento	Tipo de Arco	Penetración
E XX10	CCPI Polaridad inversa	Orgánico ⁽¹⁾	Fuerte	Profunda ⁽²⁾
E XX11	CA ó CCPI Polaridad inversa	Orgánico	Fuerte	Profunda
E XX12	CA ó CCPD Polaridad directa	Rutilo	Mediano	Mediana
E XX13	CA ó CC Ambas polaridades	Rutilo	Suave	Ligera
E XX14	CA ó CCPI Polaridad inversa	Rutilo	Suave	Ligera
E XX15	CCPI Polaridad inversa	Bajo Hidrógeno	Mediano	Mediana
E XX16	CA ó CCPI Polaridad inversa	Bajo Hidrógeno	Mediano	Mediana
E XX17	CCPI Polaridad inversa	Bajo Hidrógeno	Suave	Mediana
E XX18	CA ó CCPI Polaridad inversa	Bajo Hidrógeno	Mediano	Mediana

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn47.html> citado el 1 de agosto de 2017.

4.10 SOPORTE DE FIJACIÓN DE LA CAMISA.

Dada la geometría del reductor seleccionado, no es posible fijar la camisa a este, por eso se debe diseñar un elemento que soporte el peso de la camisa, en la imagen 85 se muestra un esquema del soporte, sabiendo que el diámetro externo de la camisa es de 192,28 mm y los tornillos de sujeción son de tipo Allen M16.

Imagen 85. Esquema apoyo de la camisa



La presión de inyección es de 70,59 MPa, debido a esta presión se genera una fuerza a la cual estaría sometido el apoyo de la camisa de inyección, cuyo valor es de;

$$F = \frac{P_i}{A}$$

Donde:

F = Fuerza en la cual esta sometida la estructura

P_i = Presión de inyección

A = Area donde es ejercida la presión, diametro interior de la camisa

Reemplazando los valores se obtiene una fuerza de:

$$F = \frac{70,59 \text{ MPa}}{\frac{\pi}{4} * (0,07028 \text{ m})^2}$$

$$F = 18196,581 \text{ N}$$

El material de fabricación de la estructura de apoyo de la camisa, es de Acero ASTM A36, cuyo limite de fluencia es de 250 MPa⁹¹, con factor de seguridad de 2, se tiene un esfuerzo maximo aplicable de:

$$\sigma_p = \frac{\sigma_y}{FS}$$

Donde:

σ_p = Esfuerzo permisible

σ_y = Limite de fluencia del Acero A36

FS = Factor de seguridad

$$\sigma_p = \frac{250 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_p = 125 \text{ MPa}$$

Con el valor de esfuerzo permisible, se calcula el área de sección transversal del apoyo de la camisa, para asegurar que el valor de esfuerzo en el elemento no sobrepase este valor, entonces se tiene un área de;

⁹¹ Tomado de: http://www.acerosotero.cl/planchas_acero_carbono_astm_a36.html citado el 5 de junio de 2017.

$$A = \frac{F}{\sigma_p}$$

$$A = \frac{18191,581 \text{ N}}{175 * 10^6 \text{ Pa}}$$

$$A = 1,033951 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

El espesor de la lamina en el apoyo es de 10 mm, y por facilidades geometricas en el montaje, se tiene un rectangulo de 310 mm x 295 mm de superficie exterior, el área transversal del elemento debe ser mayor a la anteriormente calculada, para evitar que este falle, se calcula el área actual del elemento;

$$A = (0,310 \text{ m} * 0,295 \text{ m}) - (0,290 \text{ m} * 0,275 \text{ m})$$

$$A = 0,0117 \text{ m}^2 > 1,033951 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

5. ANÁLISIS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

En este capítulo se valida la resistencia mecánica mediante el método de elementos finitos. El software utilizado para realizar la simulación es NX, SIEMENS y permite realizar el análisis de la mecánica de fluidos computacional y estructural.

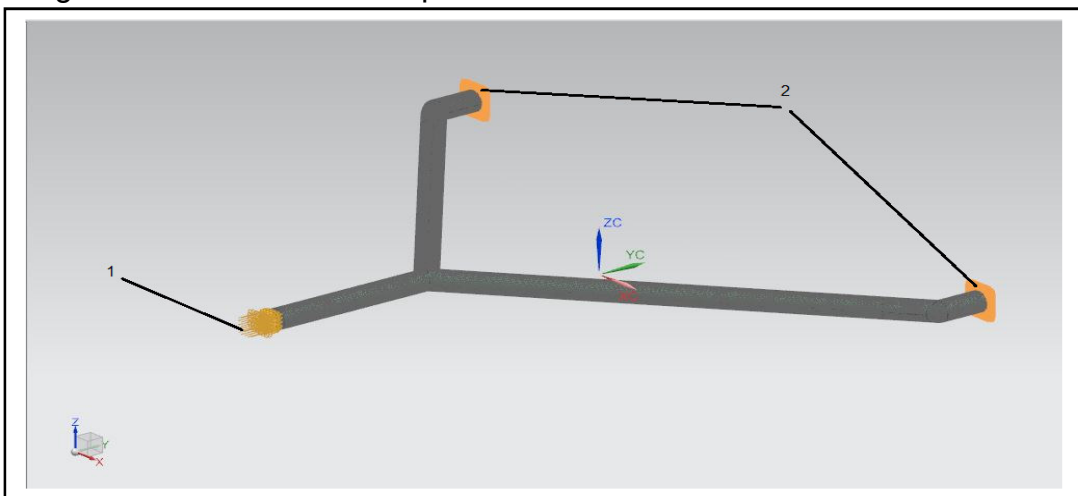
Los elementos a los cuales se les hace la simulación son: boquilla de doble salida, por donde fluye el PVC flexible fundido a alta presión para ser conducido hacia el bebedero de los moldes y la estructura la cual soporta al sistema de inyección.

5.1 SIMULACIÓN BOQUILLA DOBLE SALIDA

Para esta simulación se considera la presión de salida del material desde la tobera calculada analíticamente, el material de fabricación de la boquilla de doble salida es acero AISI 1040, descrito en el apartado 4.3.5. Primero se hace el análisis del comportamiento del fluido dentro de la boquilla, para conocer las presiones de superficie y posteriormente analizar el comportamiento de la estructura de la boquilla de doble salida con estas presiones de superficie.

5.1.1 Comportamiento del fluido. Para este caso se toma un fluido compresible, el agua, debido a la dificultad del software NX de tomar como fluido al PVC fundido para simular las condiciones de los conductos en estado estable, dado que los esfuerzos en la pared de la boquilla son muy similares entre los dos fluidos, se toman como condición de entrada la presión de salida del PVC desde la tobera.

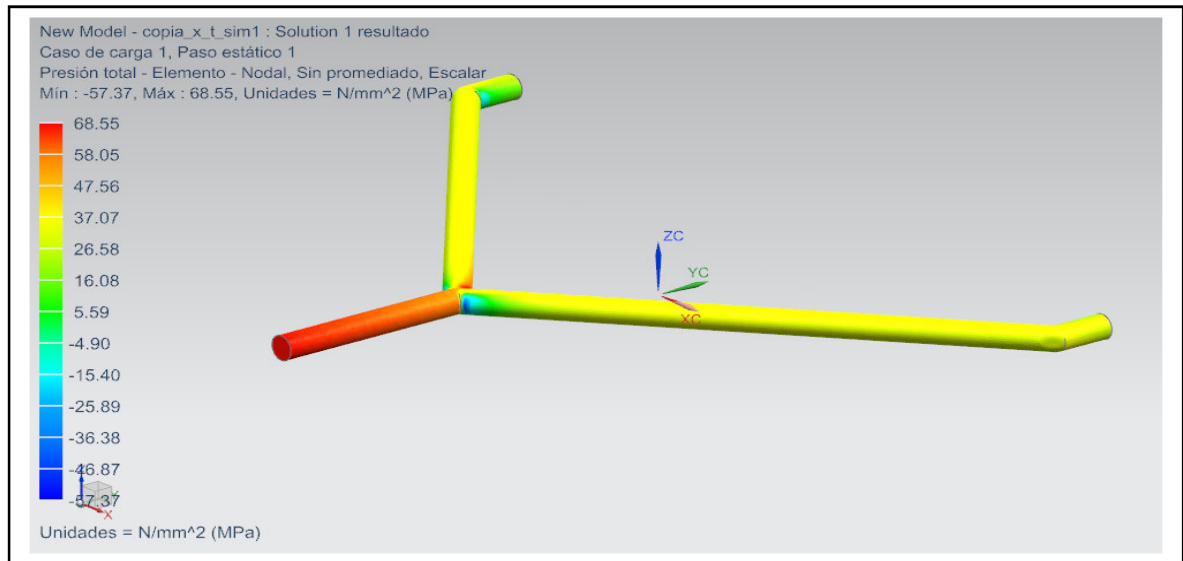
Imagen 86. Canales de la boquilla de doble salida



En la imagen 86 se muestra el enmallado de los canales por donde es conducido el fluido, se hizo mediante una malla tetraédrica estructurada, es decir, con una malla uniforme que minimiza los resultados erróneos debido a la calidad de la

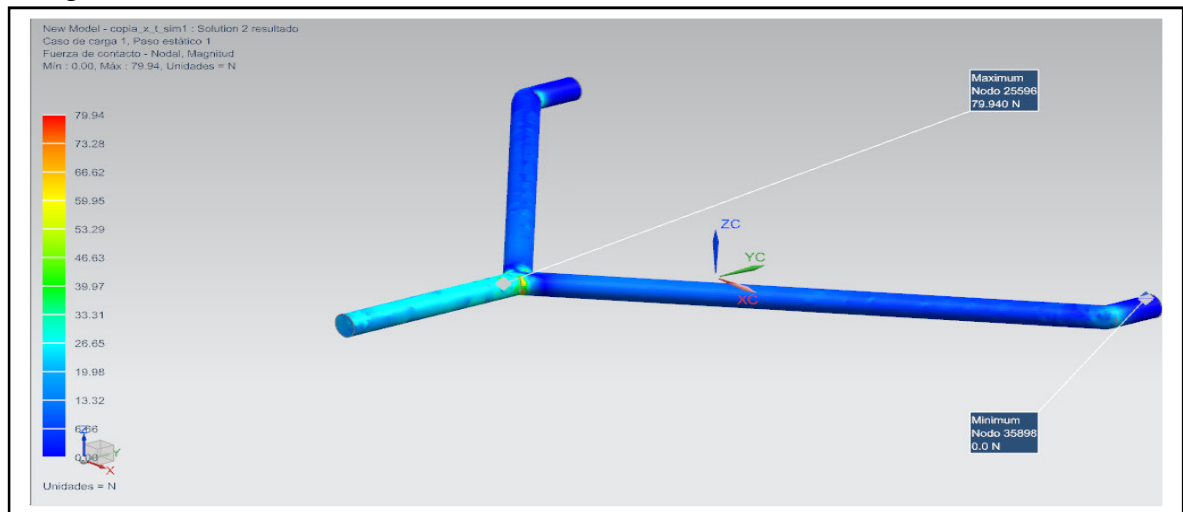
mall. En el punto 1 se tiene como condición de entrada una presión de 67,763 MPa, con la cual sale el material desde la tobera, y en los puntos 2, como condición de salida aberturas.

Imagen 87. Resultados de presión en el fluido



En la imagen 87 se muestran los resultados obtenidos de la simulación del fluido en los canales. Como punto de presión máxima se tiene la entrada a la boquilla de doble salida; como existen pérdidas de presión, los puntos de menor presión están a la salida de la boquilla de doble salida, estos resultados del fluido son llevados a la simulación de la estructura de la boquilla de doble salida.

Imagen 88. Fuerza de contacto fluido-estructura

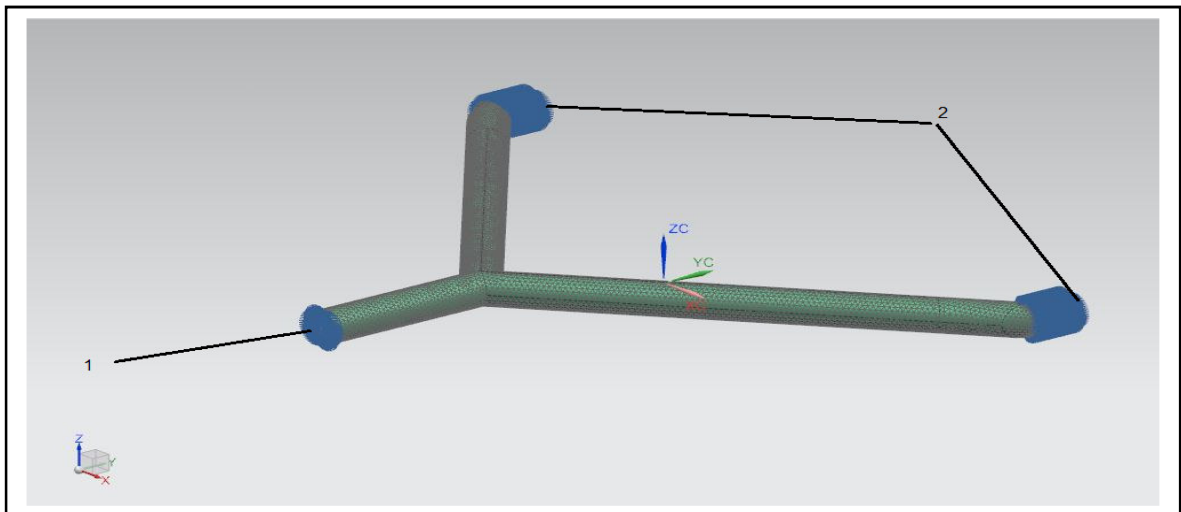


En la imagen 88, se muestra el resultado de la fuerza de contacto que existe entre el fluido y la estructura de la boquilla de doble salida, estos valores se toman como cargas que se aplican a la simulación de la estructura.

5.1.2 Comportamiento de la estructura. A partir de los resultados de fuerza y presión de contacto existentes entre el fluido conducido por los canales de la boquilla y la estructura de la boquilla de doble salida, se inicia la simulación con un espesor de pared de 3 mm, para cerciorar los cálculos analíticos de este espesor. Si el valor del factor de seguridad se encuentra por debajo de 1,5, es necesario iterar el valor del espesor de pared, hasta llegar a un factor de seguridad mayor a 1,5.

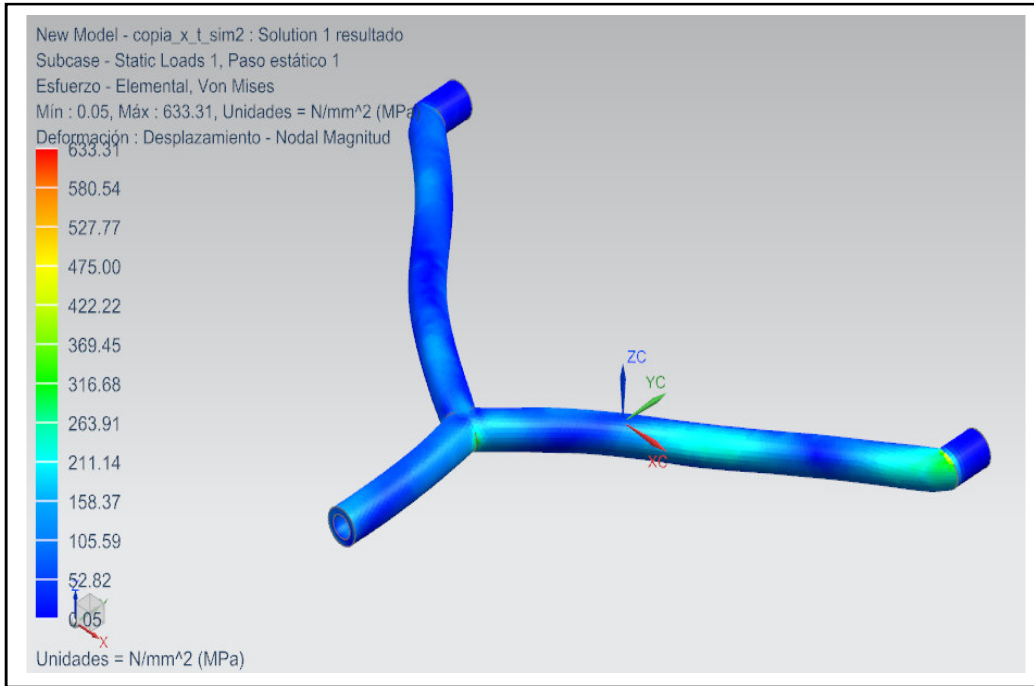
Después de haber llegado al valor esperado de factor de seguridad, es necesario realizar un análisis de convergencia de malla con el fin de determinar que no existen errores debido al enmallado de la estructura de la boquilla de doble salida.

Imagen 89. Estructura de la boquilla



En la imagen 89, se aprecia el enmallado de la estructura de la boquilla que tiene espesor de pared de 3 mm de acuerdo con el cálculo del numeral 4.3.5.1; el apoyo de la boquilla de doble salida se encuentra en la entrada donde se fija a la tobera, y a la salida donde es apoyada sobre los bebederos del molde. Se muestran los resultados del esfuerzo aplicado en la estructura de la boquilla de doble salida.

Imagen 90. Resultados de esfuerzo en la estructura de la boquilla



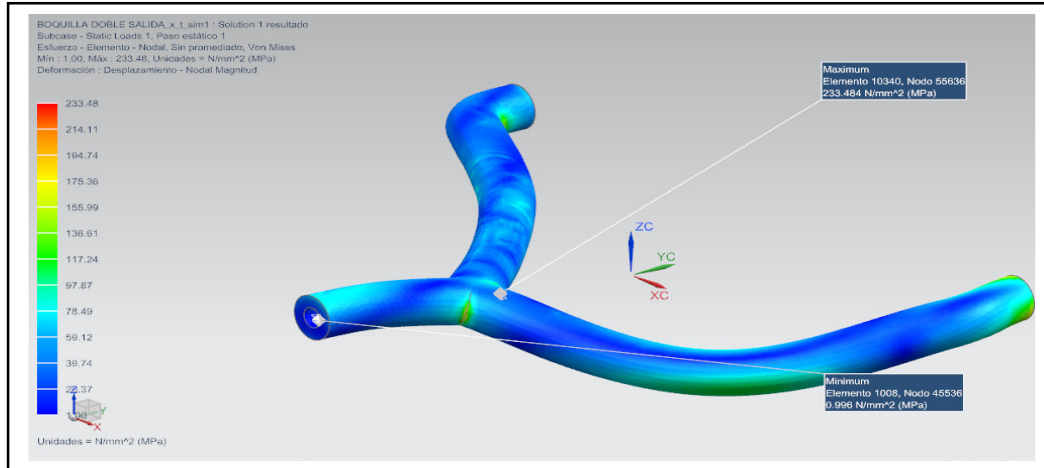
Como valor máximo de esfuerzo elemental en la boquilla de acuerdo con la imagen 90 se tiene 633,31 MPa, cuya magnitud supera la del límite de fluencia del Acero 1040 del que está fabricada la boquilla. El cálculo del espesor de pared de esta no tuvo en cuenta los concentradores de esfuerzo, por eso, se realiza la simulación y se verifica que con un espesor de pared de 3mm la estructura no soporta la presión interna a la que está sometida, se calcula el valor del factor de seguridad;

$$FS = \frac{290\text{MPa}}{633,31\text{MPa}}$$

$$FS = 0,458$$

Como el valor del factor de seguridad, se encuentra por debajo del valor esperado, es necesario aumentar el espesor de pared, en este caso se va a aumentar al doble, es decir, a 6mm y se procede a correr la simulación nuevamente hasta llegar al valor esperado de factor de seguridad.

Imagen 91. Resultados de esfuerzo en la estructura con espesor de 6 mm



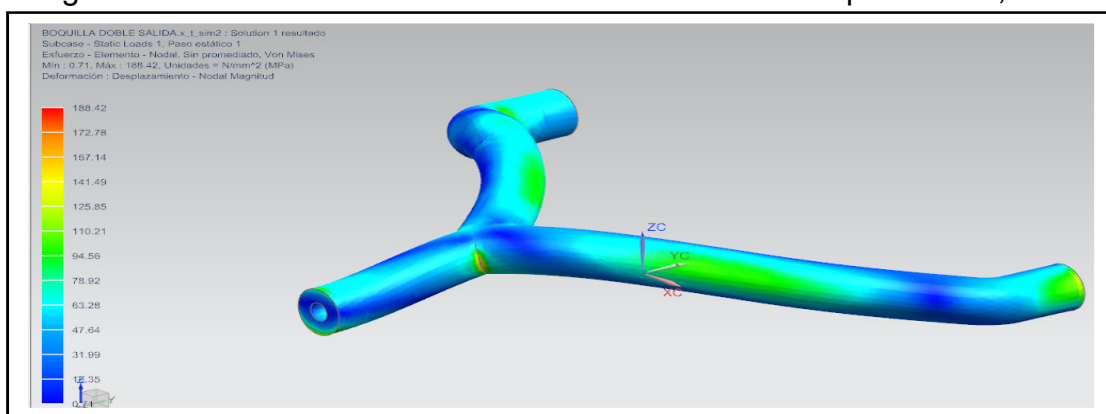
En la imagen 91, se muestran los resultados de esfuerzo elemental Von Mises que está aplicado a la estructura de la boquilla con 6 mm de espesor de pared. El esfuerzo máximo elemental nodal es de 233,48 Mpa, sabiendo que el límite de fluencia del acero 1040 es de 290 MPa⁹², se tiene un factor de seguridad de:

$$FS = \frac{290 \text{ MPa}}{233,48 \text{ MPa}}$$

$$FS = 1,242$$

De acuerdo al factor de seguridad, la estructura de la boquilla resiste la presión de inyección, pero se tiene una medida relativa de seguridad del elemento con valor muy bajo, es necesario volver a realizar la simulación con un espesor mayor, en este caso de 7,5 mm, para obtener un valor de factor de seguridad mayor.

Imagen 92. Resultados de esfuerzo en la estructura con espesor de 7,5 mm



⁹² Tomado de: http://lim.ii.udc.es/docencia/din-sismec/Propiedades_aceros.Pdf citado el 27 de mayo de 2017.

En la imagen 92 se muestra el valor de esfuerzo elemento nodal, para la estructura de la boquilla de doble salida, con un valor máximo de 188,42 MPa, cuyo valor del factor de seguridad es:

$$FS = \frac{290 \text{ MPa}}{188,42 \text{ MPa}}$$

$$FS = 1,54$$

Se analiza la convergencia de malla, a partir de los resultados obtenidos y se define si el espesor obtenido anteriormente es el adecuado para la construcción de la boquilla de doble salida.

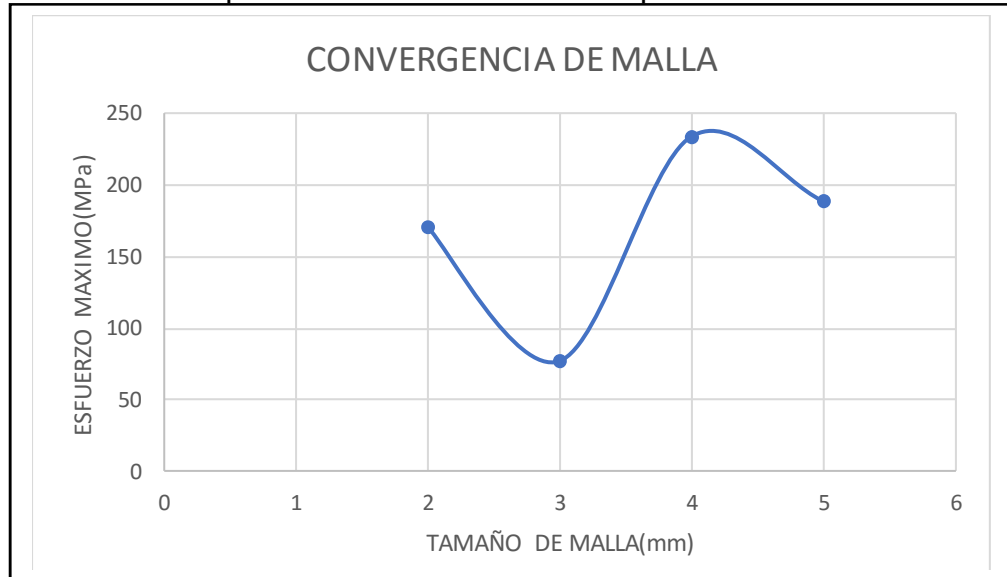
5.1.3 Convergencia de malla. Es un análisis que se realiza mediante iteraciones en el valor del tamaño de malla, cuando no existe variación muy grande entre los resultados, se dice que la malla no está generando error en los resultados, en este caso se inició el enmallado con una malla tetraédrica con un tamaño de 5mm. Se realiza una tabla con las iteraciones, los tamaños de malla y la diferencia de resultados entre los valores que muestra que entre más pequeña la malla el costo computacional es mayor, es decir se necesita mayor capacidad en el computador para realizar en enmallado y llegar a la solución.

Tabla 23. Convergencia de malla

TIPO DE MALLA	TAMAÑO DE MALLA(mm)	ESFUERZO MÁXIMO(MPa)	DIFERENCIA (MPa)	FS
Tetraédrica	5	188,42	-	1,54
Tetraédrica	4	233,17	44,75	1,24
Tetraédrica	3	77,15	156,02	3,76
Tetraédrica	2	171,05	93,9	1,69

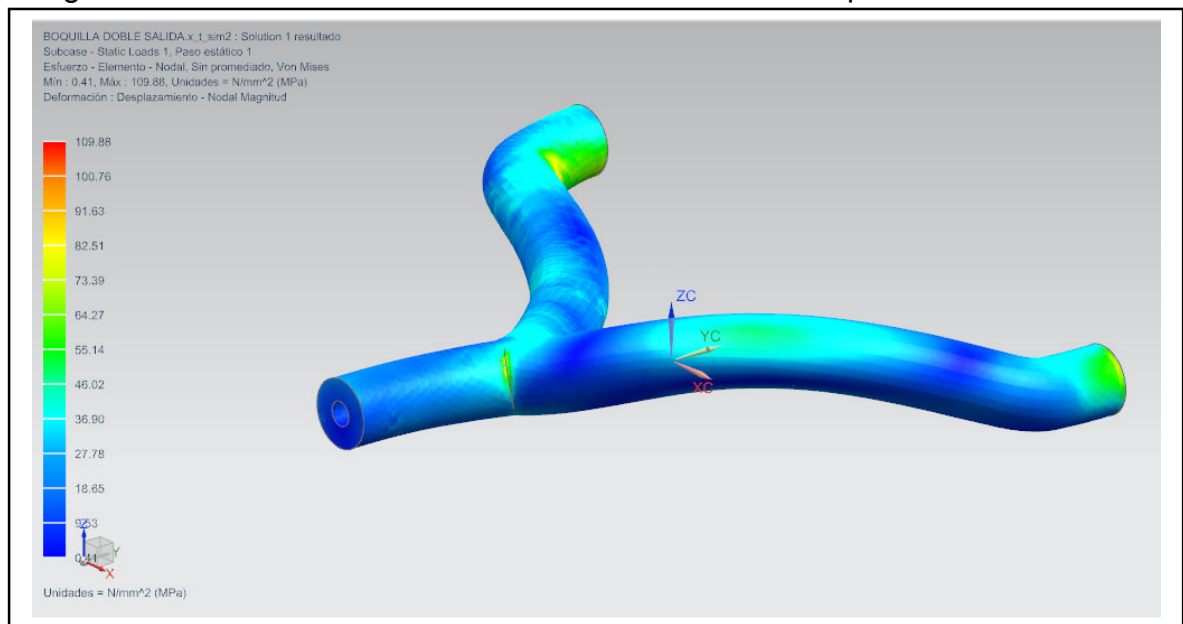
La tabla 23 muestra que no se pudo llegar a una convergencia de malla, cuando la malla está en un valor de 4 se aumenta el esfuerzo considerablemente. Se muestra la gráfica del comportamiento del esfuerzo con respecto al tamaño de malla.

Gráfico 7. Comportamiento esfuerzo con respecto al tamaño de malla



En el gráfico 7 se muestra el comportamiento del esfuerzo máximo Vs el tamaño de malla, en este caso no se llega a una convergencia, si así fuera, la gráfica debería tender a ser una línea recta entre dos puntos, por tal motivo se modifica el espesor de pared por uno mayor para que en todos los valores de tamaño de malla el factor de seguridad, tenga un valor por encima de 1,5.

Imagen 93. Resultados de esfuerzo en la estructura con espesor de 9mm



En la imagen 93 se aprecian los resultados del esfuerzo máximo para un espesor de pared de 9 mm en la boquilla de doble salida, a continuación, se muestra la tabla para la convergencia de malla y el grafico del comportamiento de esta.

Imagen 94. Desplazamiento

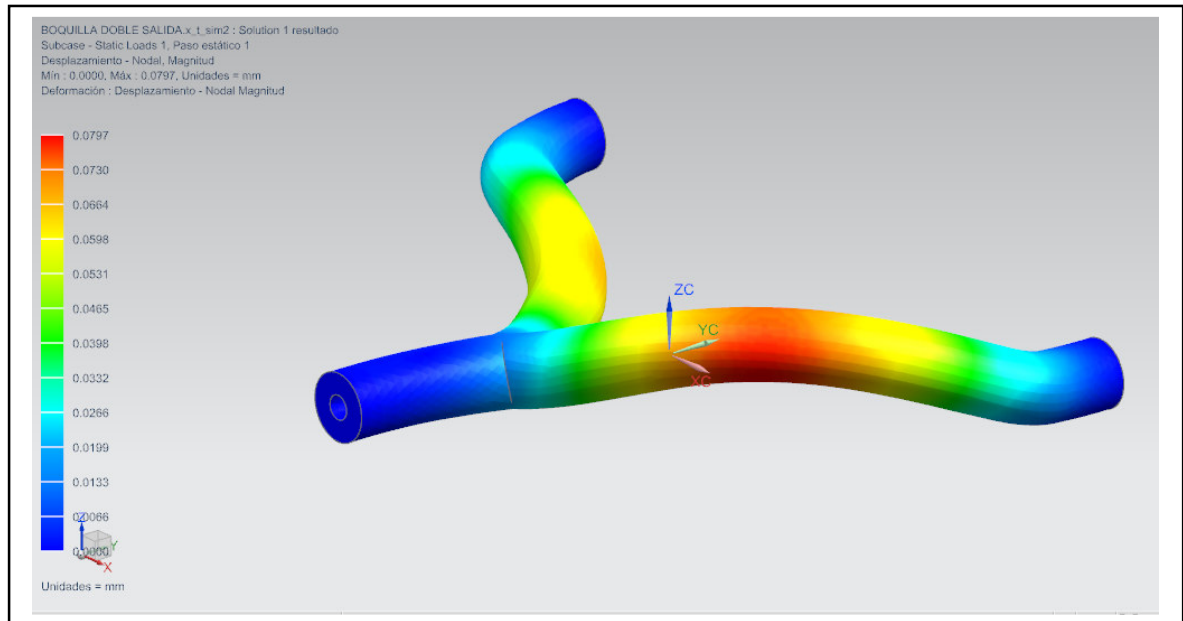
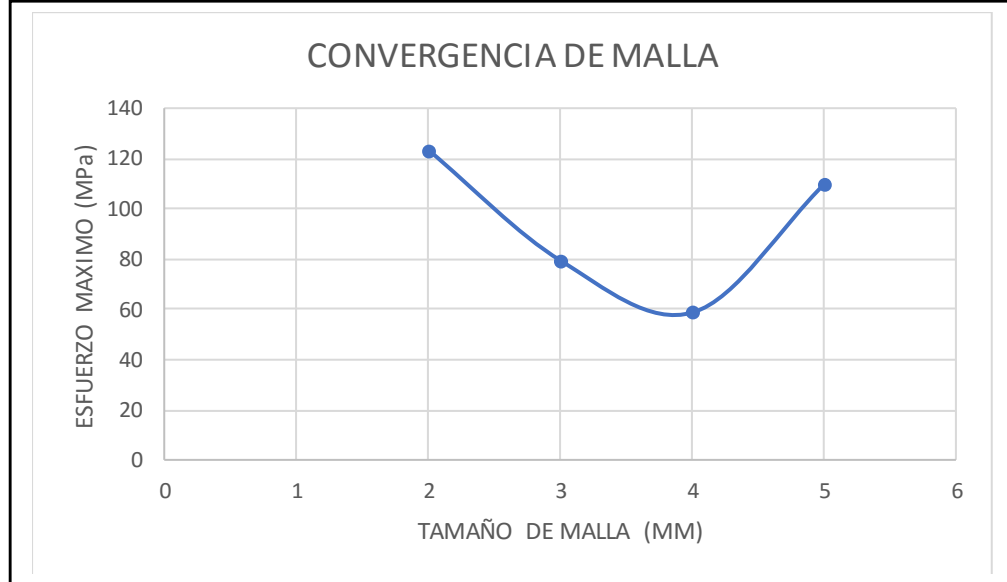


Tabla 24. Convergencia de malla para espesor de 9 mm

TIPO DE MALLA	TAMAÑO DE MALLA(mm)	ESFUERZO MÁXIMO(MPa)	DIFERENCIA (MPa)	FS
Tetraédrica	5	109,88	-	2,64
Tetraédrica	4	58,66	51,22	4,94
Tetraédrica	3	79,07	20,41	3,67
Tetraédrica	2	122,90	43,83	2,36

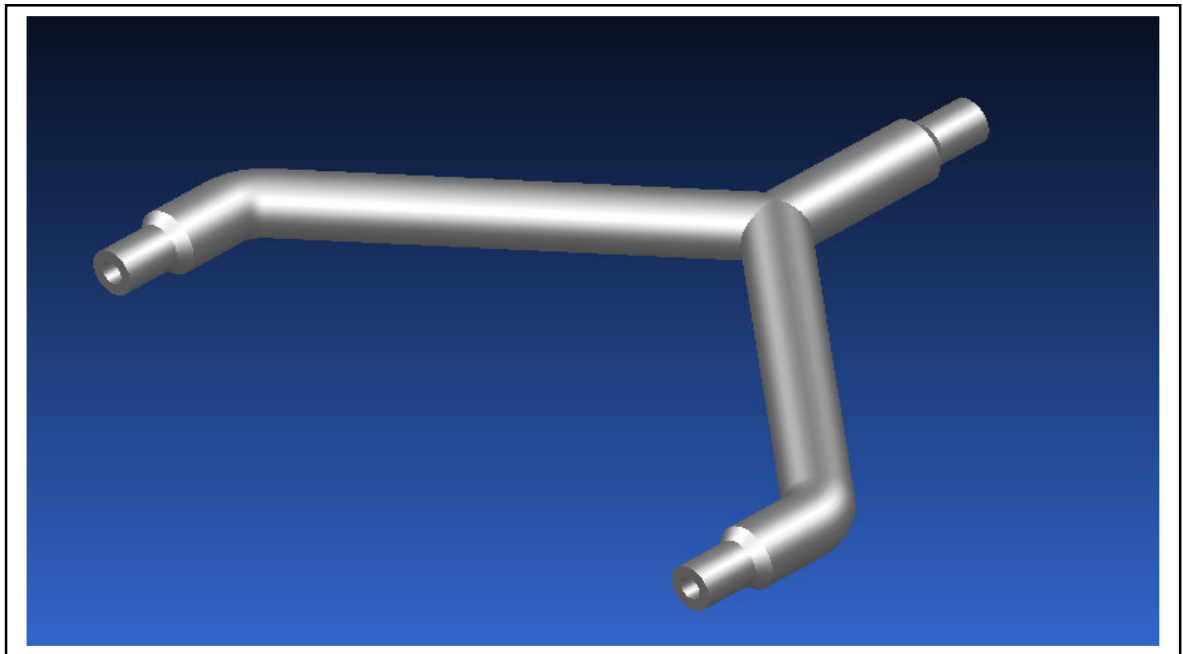
En la tabla 23, se muestran los valores de esfuerzo y factor de seguridad para los diferentes tamaños de malla en la simulación de la estructura de la boquilla de doble salida con espesor de pared de 9 mm, para todos los valores de tamaño de malla el factor de seguridad se encuentra por encima de 2, con este valor se comprueba que el elemento no fallaría debido a la presión del material, este valor de espesor de pared es con el cual se construirá la boquilla de doble salida.

Gráfico 8. Comportamiento esfuerzo con respecto al tamaño de malla



Como la salida de la boquilla de doble salida tiene mayor diámetro externo que 28 mm, es necesario realizar una reducción al diámetro para llegar a la medida de los bebederos del molde que para este caso son de 20 mm de diámetro, esta dimensión se toma de los moldes existentes en la empresa Tridimensionales, la geometría final de la boquilla se muestra a continuación:

Imagen 95. Esquema bebedero en la boquilla

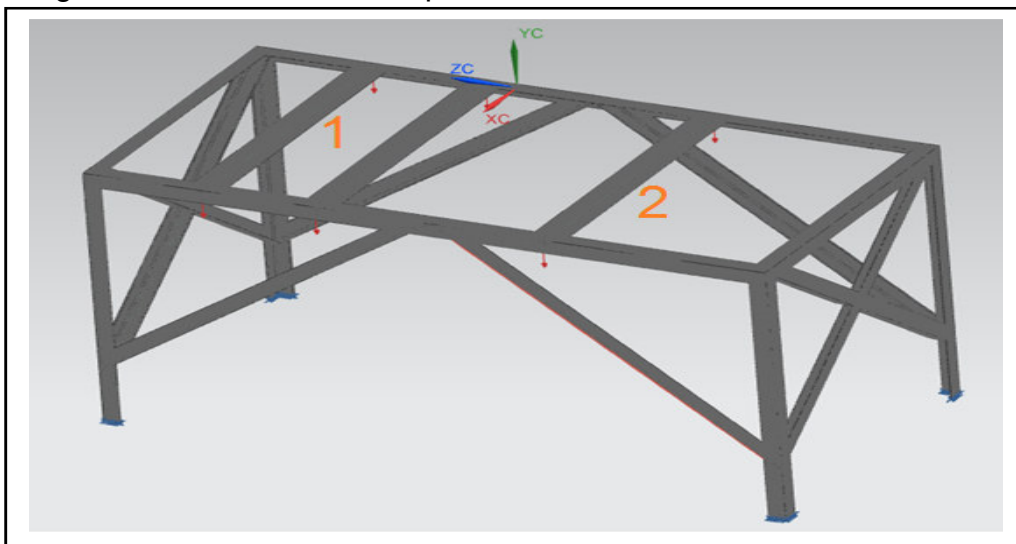


5.2 SIMULACIÓN ESTRUCTURAL

Una de las partes más importantes en el diseño del sistema es la simulación de la estructura ya que esta es la encargada de soportar toda la carga de los componentes que irán sobre ella, es por esto razón que se realiza la simulación y análisis de resultados de la estructura.

Esta estructura está compuesta por dos partes, la primera es donde va a ir apoyado el motorreductor, la sección final es donde ira el apoyo el cual sostendrá el tornillo sin fin o inyector, como se observa en la imagen 96.

Imagen 96. Estructura de máquina.



Para la fabricación de la estructura se seleccionó un acero estructural ASTM A-36, el cual presenta las siguientes propiedades.

Tabla 25. Propiedades del acero ASTM A-36

Designación del material	Resistencia a la tensión		Resistencia a la fluencia		Módulo de elasticidad	
	Ksi	MPa	Ksi	MPa	GPa	Ksi
Acero ASTM A36	58	400	36	250	200	29.000

FUENTE: ANEXO A

Con el diseño ya hecho de la estructura se procede a simularla aplicándole las fuerzas correspondientes del tornillo más camisa.

$$\text{Fuerza total tornillo} = \text{fuerza del tornillo sin fin} + \text{fuerza de la camisa}$$

Fuerza total tornillo = 451,27 N + 291,0521 N

Fuerza total tornillo = 742,3221 N

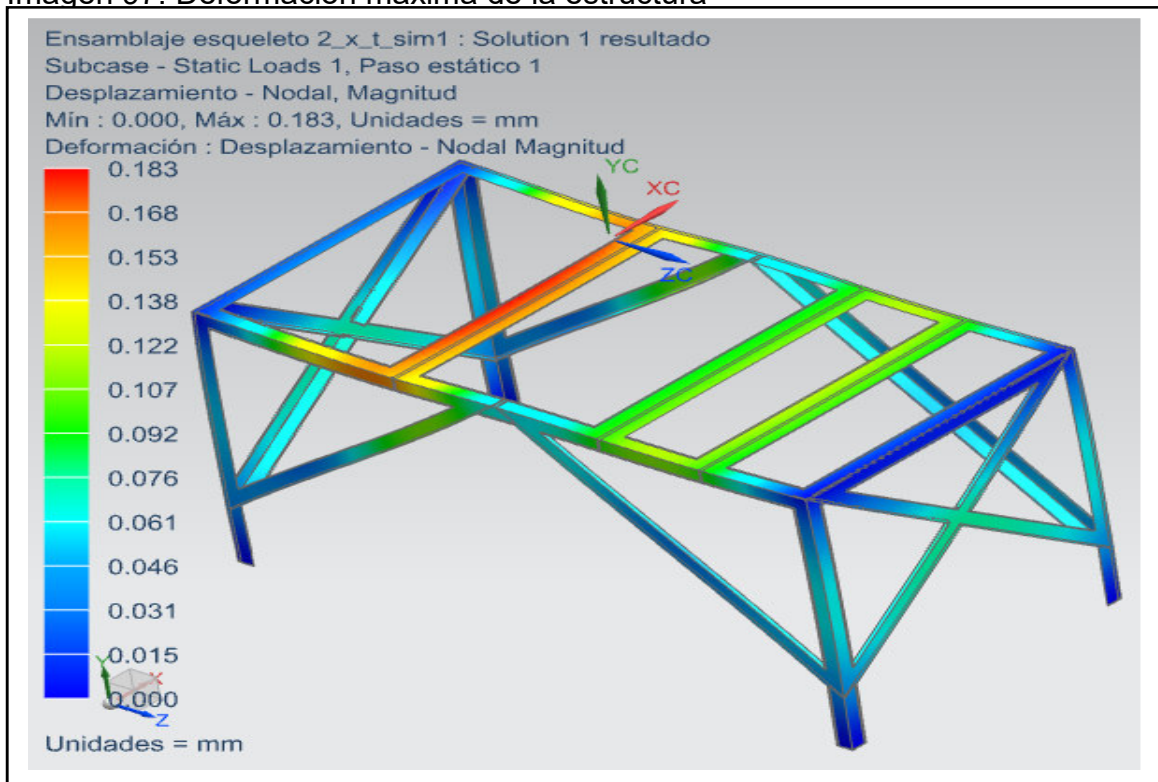
Además de la fuerza del tornillo también se presenta la fuerza ejercida por el motorreductor sobre la estructura la cual es.

Fuerza motorreductor = 499,8 N

Las fuerzas que van a ir sobre la estructura son ubicadas de tal forma que estas representen la carga de cada uno de los componentes y analizar, luego de esto se procede a realizar una restricción fija en la cara donde las columnas tienen contacto con el suelo.

Análisis de resultados. Mediante la utilización del software NX Nastran se realiza el análisis de la estructura en cual arroja los siguientes resultados tales como deformación máxima (Imagen 97) y el esfuerzo máximo (Imagen 98).

Imagen 97. Deformación máxima de la estructura



Luego de haberse realizado el análisis de la deformación este arroja como resultado que la viga anteriormente calculada como crítica presenta una deformación máxima de 0,183 mm, lo cual representa que este si soporta el peso del tornillo el cual presenta la mayor carga.

Imagen 98. Esfuerzo máximo de la estructura

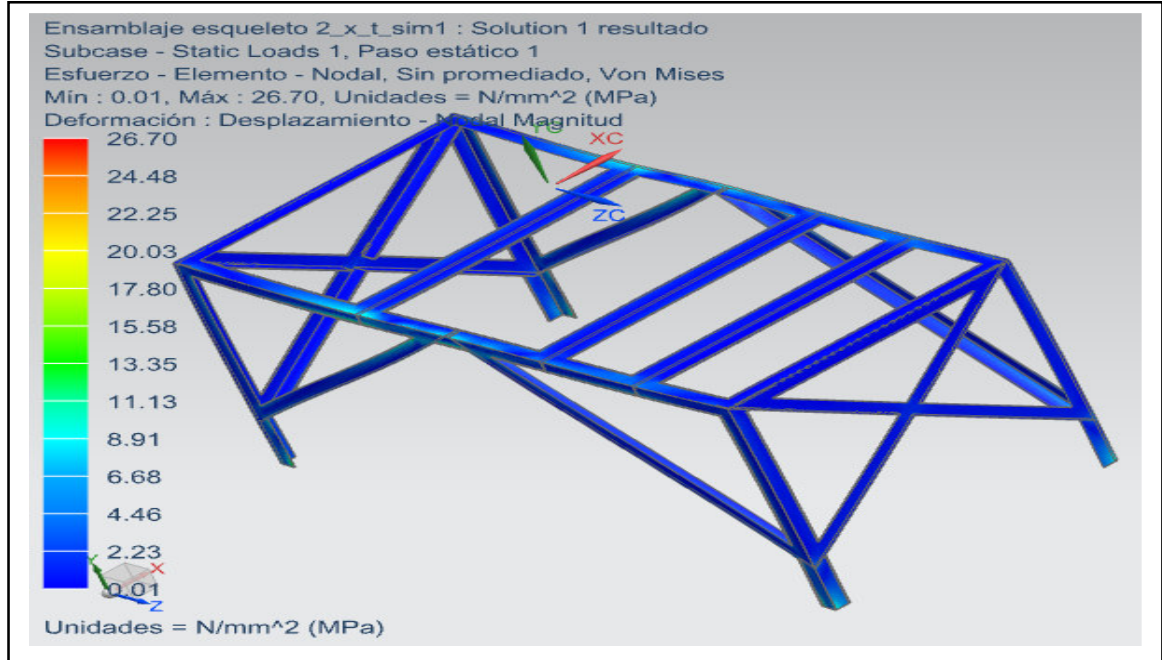
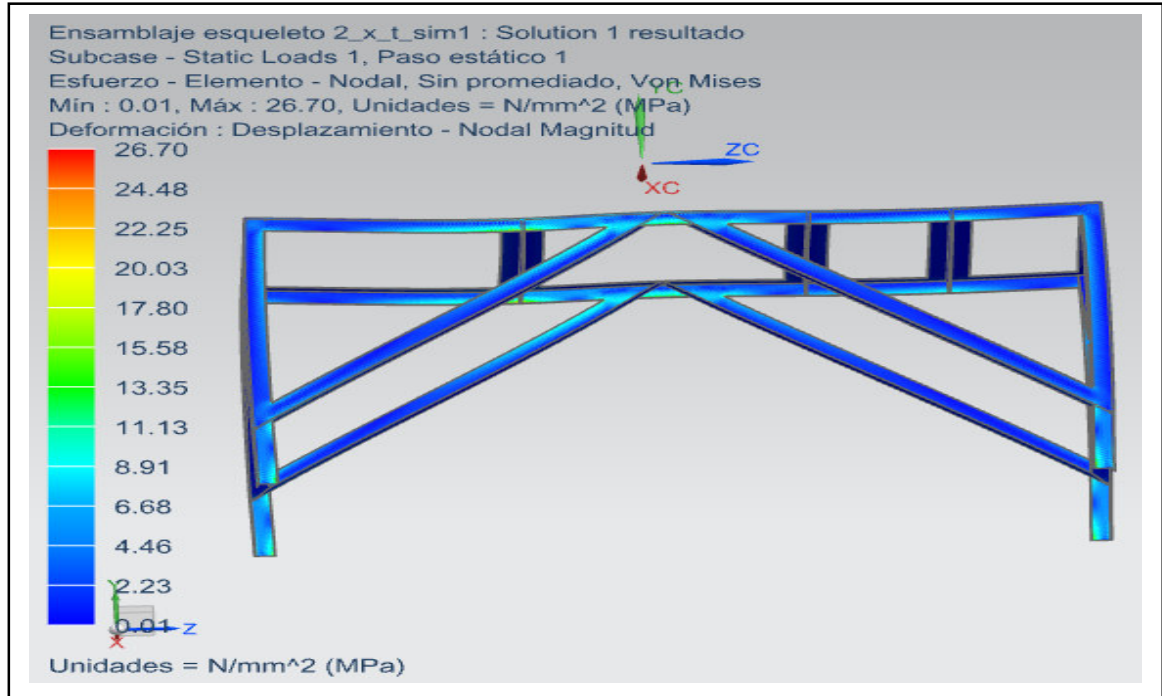


Imagen 99. Esfuerzo máximo de la estructura (Otra vista)



Como se observa en la Imagen 99, se presentan los segmentos en los cuales la estructura es más esforzada y donde se concentra mayor magnitud de fuerza,

anteriormente se había realizado el cálculo en el cual el segmento más crítico es donde va el apoyo para el tornillo sin fin.

Mediante el análisis realizado por el Software podemos ver que el esfuerzo máximo al que se somete la estructura con las cargas que está soportando es de 26,70 MPa, con este dato calculamos el factor de seguridad.

$$F.S = \frac{250 \text{ MPa}}{26,70 \text{ MPa}}$$

$$F.S = 9,36$$

Con el valor obtenido se aprecia que el factor de seguridad es alto debido a que el material con el cual se fabricó la estructura es el que generalmente se usa en estructuras pesadas y por otra parte las cargas ejercidas por los elementos que va a soportar no son tan altas.

6. MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

En este capítulo se describen los manuales de operación y mantenimiento del sistema de inyección de la máquina inyectora de plásticos, aquí se conciben los procedimientos y pautas que se deben seguir antes, durante y después de la operación para evitar y minimizar riesgos, paradas no deseadas y aumentar la vida útil del equipo.

6.1 MANUAL DE OPERACIÓN

Para llevar a cabo la operación de la máquina correctamente, es indispensable tener presente y seguir los pasos descritos en este manual, garantizando el trabajo realizado por la máquina ya sea estando en reposo o puesta en marcha, además de preservar la salud e integridad de los operarios, personal de la empresa y las instalaciones de la misma.

La operación debe ser única y exclusivamente realizada por personal capacitado.

- ✓ El operario debe realizar una inspección visual de los componentes y de la tensión presente en la red eléctrica donde será conectada la máquina antes de iniciar el arranque.
- ✓ Utilizar elementos de protección personal como gafas de seguridad, overol, tapa oídos, botas punta de acero, guantes en el momento de cambiar los moldes y casco cuando sea necesario
- ✓ Aproximadamente 30 min antes de iniciar el arranque del motorreductor, es necesario poner a calentar la superficie interna de la camisa de inyección, esto se logra encendiendo las bandas calefactoras y con el control de temperatura, indicar la temperatura de operación, la cual debe ser de entre 200°C y 220°C dependiendo de las condiciones ambientales a las que está expuesta la máquina y las propiedades del PVC con el que se esté trabajando, que depende del proveedor del material cuya temperatura de trabajo puede variar dentro de este rango, verificar la conexión de las termocuplas, que se encargan de enviar la medición de la temperatura al control

Imagen 100. Control de temperatura



Fuente: <http://www.cofaco.com.ar/detalle.php?id=36>

- ✓ Vaciar en la tolva el bulto de material en forma de pellets, revisar el contenido de este para verificar que el color es con el cual van a ser inyectadas las suelas, verificar que no ingresen elementos extraños al sistema, abrir la compuerta de salida del material

Imagen 101. Vaciado de la tolva



Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=DHb4hgLUN84>

- ✓ Verificar que los moldes estén en la posición correcta, donde los bebederos del molde estén completamente en contacto con la superficie de la boquilla de doble salida, para evitar aplastamiento de la boquilla la cual tendría que ser reemplazada.
- ✓ Iniciar el arranque del motorreductor, cuando existan ruidos extraños, detener la máquina y consultar con el manual de mantenimiento y el personal capacitado.

- ✓ Una vez la máquina esté funcionando correctamente, el operario debe estar al tanto de los controladores, revisar temperatura, presión, evitar reparar los elementos con la máquina en marcha, calibrar el tiempo de inyección para cada talla de molde, evitando defectos en el producto final.
- ✓ Al finalizar cada ciclo de inyección, es necesario retirar los residuos de material solidificado que quedan en la salida de la boquilla de doble salida, con el fin de evitar un taponamiento del sistema y un mayor desperdicio de material.

Imagen 102. Residuos de material en la boquilla

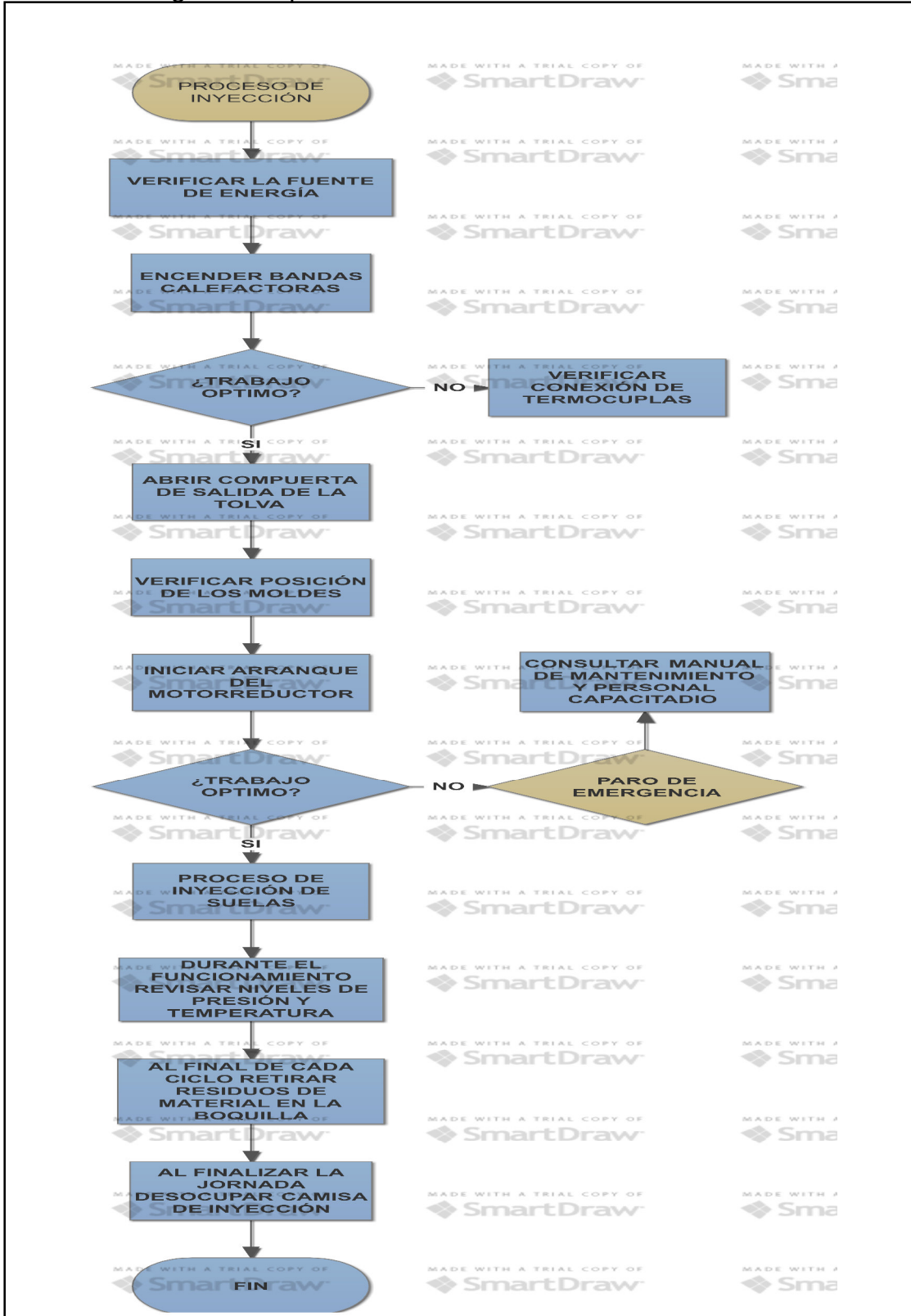


- ✓ Cada vez que se termine el turno es necesario cerrar la compuerta de salida de la tolva y desocupar completamente la camisa de inyección del material sobrante, mediante el funcionamiento del tornillo, este procedimiento se realiza antes de apagar la máquina, si se omite este paso se genera taponamiento del tornillo, teniendo que desmontar el sistema y extraer el tornillo de la camisa para eliminar el material que queda adherido a la superficie de este.

Imagen 103. Compuerta de salida de la tolva



Gráfica 9. Diagrama de proceso



6.2 MANUAL DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento es una inversión que se debe realizar para conservar la vida útil de los equipos, es de vital importancia para cada uno de los sistemas y elementos que conforman la máquina. Asegurando su correcto funcionamiento se consigue un producto final de calidad, por ello se debe conseguir un mantenimiento programado, ejecutado por el operario de la máquina, el cual debe ser previamente capacitado.

La rutina de mantenimiento consta de limpieza, inspección, ajuste de los elementos de sujeción y lubricación, se necesita realizar estas tareas a diario antes, durante y después del proceso de inyección de suelas, para consignar las observaciones en un registro y poder detectar las condiciones anormales que se puedan presentar a modo de llegar a prevenir fallos.

6.2.1 Métodos de inspección. La inspección por parte del operario se debe realizar diariamente antes de poner en funcionamiento el equipo, consiste de evaluación de las partes y monitoreo del funcionamiento de los sistemas y así poder establecer rutinas de mantenimiento para cada componente, a continuación, se presentan cada uno de los componentes que conforman el equipo.

- ✓ Unidad de control: La inspección visual del sistema, inicia con la verificación del funcionamiento correcto de los mandos e interruptores de los sistemas eléctricos, el cual debe encender las bandas calefactoras y el motorreductor; es uno de los elementos que requiere mayor frecuencia de inspección.

Se deben revisar periódicamente las conexiones de las termocuplas en las bandas calefactoras, para evitar calentamiento excesivo y quema del PVC, lo cual se ve afectado en el producto final, igualmente que el estado de los interruptores.

- ✓ Motorreductor: Se seleccionó un motorreductor de 6 HP, el cual transmite la potencia al tornillo sin fin, para darle movimiento. Necesita inspecciones periódicas.

El reductor cuenta con una transmisión por engranajes, los cuales se encuentran lubricados, debido a esto es necesario revisar el nivel del líquido lubricante y de ser necesario agregar hasta llegar al nivel máximo, teniendo en cuenta que sea de la misma clase de lubricante, especificada por el fabricante.

En el motor eléctrico es necesario realizar dos tipos de ensayos no destructivos como lo es la termografía, la cual busca eliminar toda clase de corrientes parasitas, que generan sobrecalentamientos en la bobinas del rotor y de su estator, al igual que un análisis de vibraciones, en el cual se analizan los espectros para analizar frecuencias no naturales, los cuales dan un criterio de falla en

cojinetes, desalineación en el eje, desajustes en la cuña y desgastes en los dientes de los engranajes del reductor.

Cuadro 12. Lubricante recomendado para engranajes

TIPO DE ENGRANAJE	15° F a 60° F (-10°C a 15°C)	50° F a 125° F (10°C a 50°C)
Ejes paralelos Velocidad hasta 3.600 R.P.M.		
Reducción sencilla		
Distancia entre centros	hasta 8" de 8" a 20" arriba de 20"	Teresso 68 Teresso 68 Teresso 100
Doble reducción		
Distancia entre centros	hasta 8" de 8" a 20" arriba de 20"	Teresso 68 Teresso 100 Teresso 100
Triple reducción		
Distancia entre centros	hasta 8" de 8" a 20" arriba de 20"	Teresso 68 Teresso 100 Teresso 150
Velocidad superior a 3.600 r.p.m. Todos los tipos y medidas		Teresso 46 Teresso 68
Unidades planetarias:		
Diámetro de carcasa	Hasta 16" más de 16"	Teresso 68 Teresso 100
Engranaje cónico, espiral o recto		
Distancia de cono	hasta 12" arriba de 12"	Teresso 68 Teresso 100
Engranaje hipoidal (No. Automotor)		Spartan EP 680 Spartan Ep 460

Tomado de <http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanica-eneral/CURSO%20OPERADOR%20DE%20MANTENIMIENTO%20MECANICO%20INDUSTRIAL/14%20MANTENIMIENTO%20REDUCTORES%20DE%20VELOCIDAD.pdf> citado el 31 de mayo de 2017.

- ✓ Tolva de alimentación: Este elemento, se encuentra sometido a cargas durante todo el proceso de inyección, debido a que la máquina inyectora no se puede dejar sin alimentación, es necesario realizar inspección visual.

A la soldadura en la tolva es necesario realizarle inspección visual, y a la soldadura de la estructura de apoyo es necesario realizar ensayos no destructivos como lo son líquidos penetrantes y partículas magnéticas para encontrar posibles fisuras.

Imagen 104. Líquidos penetrantes en soldadura



Tomado de: <https://www.youtube.com/watch?v=B YybW13fCXM> citado el 31 de mayo de 2017.

- ✓ Tornillo sin fin: es un elemento que necesita una rutina de mantenimiento apropiada, está expuesto a impurezas del medio que caen en el material y generan posibles taponamientos, es por esto que se necesita hacer limpieza rutinaria. También es recomendable realizar análisis de vibraciones para detectar fallos de des-alineamiento y desbalanceo, al funcionar este elemento como un eje.
- ✓ Camisa de inyección: Este elemento está expuesto a presiones internas muy altas y temperaturas por encima de 200°C, por este motivo es necesario realizar inspecciones ya que este elemento es susceptible a fallar por fatiga, también se debe comprobar la sujeción de este, para que no existan vibraciones producidas por desajustes.
- ✓ Tobera: La función de la tobera, es la de conectar al sistema de inyección con la boquilla de doble salida, su inspección debe ser periódica, garantizando la integridad del elemento, el estado de los tornillos es vital para la correcta operación de la maquina ya que al haber desajustes de estos pueden existir filtraciones de material fundido e incluso afectar la integridad del operario debido a la alta presión a la que está sometida la tobera.
- ✓ Boquilla de doble salida: Del estado de la boquilla depende en gran medida la calidad con la que se va inyectar el par de suelas, si la superficie de la boquilla con la que tiene contacto el molde esta desgastada o con golpes, es necesario reemplazarla, ya que el proceso de inyección no se va realizar correctamente. Al presentarse taponamientos de los conductos, es necesario desmontar y remover las partículas extrañas que quedaron atrapadas en ella.



seguridad.

Nota: Para realizar los procedimientos de mantenimiento, es necesario aplicarlos con la máquina apagada y desconectada de cualquier fuente de energía, si el equipo estaba en funcionamiento es necesario purgar o desocupar la camisa de inyección, apagar las resistencias y dejar llegar los elementos a temperatura ambiente, estos procedimientos solo se pueden realizar por personal calificado y con los implementos de

6.2.2 Rutinas de mantenimiento. Después de haber establecido los elementos y accesorios con los que cuenta la máquina y los tipos de avería que pueden llegar a tener, a continuación, se muestra el cuadro 13, donde se estipulan las rutinas de mantenimiento para el correcto funcionamiento del equipo, que son obligadas a cumplir en los periodos de tiempo dado.

Cuadro 13. Rutinas de mantenimiento

Tiempo	Rutina
Diaria	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Inspección visual de la unidad de control, motorreductor y la tolva de alimentación ✓ Revisar conexiones de las termocuplas ✓ Verificar que el material a procesar se encuentre libre de contaminación ✓ Verificar la tensión de entrada para el motorreductor
Mensual	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Evaluar los reportes diarios y hacer el reporte mensual ✓ Revisar el nivel de aceite de los engranajes del motorreductor, si hace falta, agregarle liquido lubricante ✓ Verificar el apriete de los tornillos de sujeción de la camisa y la tobera ✓ Revisar el estado de la boquilla de doble salida y los bebederos del molde
Trimestral	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Evaluar el reporte mensual y hacer el reporte trimestral ✓ Revisar el estado del acople entre el motor eléctrico y el reductor ✓ Termografía al motorreductor, para encontrar corrientes parasitas ✓ Termografía a los componentes eléctricos de la unidad de control, para encontrar malas conexiones ✓ Revisar estado de la cuña tornillo-reductor
Tiempo	Rutina
Trimestral	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Realizar inspección visual con baroscopio a la boquilla de doble salida, camisa de inyección y tobera

Semestral	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Evaluar el reporte trimestral y hacer el reporte semestral ✓ Realizar el cambio de aceite de los engranajes del reductor y hacer el lavado ✓ Revisar estado de las bandas calefactoras, conexiones de estas con las termocuplas ✓ Comprobar el ajuste por interferencia de la tobera ✓ Realizar análisis de vibraciones al motorreductor, buscando fallos en los cojinetes y engranajes
Anual	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Revisar el reporte semestral y hacer el reporte anual ✓ Realizar segundo cambio de aceite del reductor ✓ Desmontar la tobera, comprobar el estado de sus tornillos y la rosca donde se encuentra ajustada la boquilla de doble salida ✓ Desmontar el tornillo sin fin, para limpieza de las impurezas ✓ Comprobar el estado de la estructura, haciendo ensayos de corrientes de Eddy y ultrasonido

6.2.3 Posibles fallas y correcciones. Pese a que se realice correctamente la rutina de mantenimiento, sigue existiendo una mínima probabilidad de que se presente un imprevisto o una falla inesperada, por este motivo se han determinado una serie de fallos posibles con la respectiva solución en el cuadro 14.

Cuadro 14. Fallas posibles

Falla	Posible causa	Corrección
Producto final con material escaso	Obstrucciones en el sistema de inyección, impurezas en el material entrante, lo cual evita que este fluya correctamente	Desmontaje de la boquilla, tobera y tornillo de inyección
Exceso de calentamiento del PVC	Conexiones de las termocuplas en mal estado, no toman adecuadamente la temperatura del sistema, lo que causa sobrecalentamiento de las bandas calefactoras	Reemplazar el cable termopar del sensor de temperatura
Superficie de contacto con el molde de boquilla deformada	Mal montaje de los moldes a la máquina, cuando este se cierra golpea la boquilla, causando una deformación	Reemplazar la boquilla de doble salida.
Vibración excesiva en el sistema de inyección	Desgaste del cuñero que acopla al tornillo y el motorreductor, desgaste en los dientes de los engranajes o en los cojinetes	Reemplazar la cuña, si se presenta desgaste en el tornillo o engrane rectificar las partes
Sobreesfuerzo en el motor, causando calentamiento	Taponamiento del sistema de inyección, lo que genera que el motor no trabaje correctamente	Desmontar el sistema de inyección para eliminar el tapón
Fugas de material fundido	Desajuste entre la tobera y la camisa de inyección o entre la boquilla y la tobera	Verificar el ajuste entre estos elementos, eliminando espacios por donde pueda salirse el PVC

7. EVALUACIÓN FINANCIERA

En este capítulo se expone el análisis financiero del proyecto; partiendo de los valores de fabricación y montaje de la máquina, el aumento de los ingresos y de los costos, considerando que se espera duplicar la producción. Esto se lleva a cabo por medio de los indicadores financieros de valor presente neto (VPN) y tasa interna de retorno (TIR); los cuales se toman como base para realizar un análisis y determinar la viabilidad y rentabilidad del proyecto para implementarlo en una organización.

7.1 ANÁLISIS DE COSTOS

Para el montaje y puesta en marcha de la máquina se ve involucrado el sacrificio de algunos recursos, los cuales son importantes para el diseño y desarrollo de la máquina y a partir de la sección 17 de NIIF para pymes Propiedad Planta y Equipo (PP&E) y propiedades de inversión emitida por el *International Accounting Standards Board* en el cual se presentan los parámetros de los costos que se pueden adherir y que hacen parte del reconocimiento de una PP&E, en este caso es tenido en cuenta para analizar cuáles son los costos que hacen parte del mayor valor de este activo.⁹³

7.1.1 Costos de ingeniería. Son costos en los que se incurren para el desarrollo y diseño del proyecto, en la Tabla 26, se muestran los costos de ingeniería para el diseño de la máquina;

Tabla 26. Costos de ingeniería.

Concepto	Valor
Talento Humano	\$18.000.000
Costos de equipo de oficina	\$400.000
Otros Costos	\$230.000
TOTAL	\$18.630.000

7.1.2 Costos de materiales de la máquina. Hacen parte de las materias primas para el ensamble y armado de la maquina todas aquellas erogaciones que pertenecen al mayor valor del activo y que pueden ser medibles, identificable y rastreables. En la Tabla 27 se presenta al detalle los materiales utilizados;

⁹³ Tomado de: http://www.ifrs.org/Documents/17_PropiedadesPlantayEquipo.pdf el 02 de junio de 2017

Tabla 27. Costos de materiales de la máquina.

Concepto	Valor unitario	Unidad de medida	Cantidad	Total
Resistencia de diámetro 112 mm, ancho 200mm, 2500 W a 220 V	\$ 52.400	Unidad	4	\$ 649.600
Resistencia de diámetro 30 mm, ancho 60 mm, 300 W a 220 V	\$52.200	Unidad	2	\$ 104.400
Acero AISI SAE 1016/20 redondo calibre 8 pulgadas por 1500 mm	\$2.416.640	Metros	1	\$ 2.416.641
Acero AISI SAE1016/20 redondo calibre 3 pulgadas por 1600 mm	\$ 264.944	Metros	1,6	\$ 423.910
Acero AISI SAE 4140 tratado térmicamente redondo calibre 3 pulgadas por 1500 mm	\$876.500	Metros	1,5	\$1.314.750
Angulo HR 1/8 pulgada por dos pulgadas por 6 metros	\$48.720	Metros	4	\$ 194.880
Angulo HR 3/16 pulgada por dos pulgadas por 6 metros	\$ 66.120	Metros	4	\$ 264.480
Tornillo de 8 por 50 mm	\$ 351	Unidad	12	\$ 4.218
Tornillo de 16 por 100 mm	\$ 532	Unidad	12	\$ 6.389
Motor Hp 6.0 Maracwec brasilero carcaza en aluminio V 220/440 con brida	\$ 1.253.580	Unidad	1	\$ 1.253.581
Reductor en Piñones marca hidromec	\$ 1.404.671	Unidad	1	\$ 1.404.672
TOTAL				\$8.037.521

En el Anexo D se presentan las respectivas cotizaciones de los materiales referidos con anterioridad.

En la tabla 28 se presenta la relación de contratación de recurso humano para el montaje y ejecución de la máquina.

Tabla 28. Costos a causa de la fabricación y el montaje.

Concepto	Valor Unitario	Unidad de medida	Cantidad	Valor Total
Operarios	\$ 3.664.850,89	Meses a trabajar	3	\$ 10.994.553
Soldador	\$ 60.000,00	por marco	8	\$ 480.000
Soldadura	\$ 9.400,00	kilo	3	\$ 28.200
Transporte	\$ 200.000,00	POR EL TRASLADO DEL MATERIAL	1	\$ 200.000
monta carga	\$ 40.000,00	Horas	2	\$ 80.000
Mecanizado	\$ 6.000.000,00	POR EL TOTAL DE LAS PIEZAS	1	\$ 6.000.000
TOTAL				\$ 17.782.753

7.1.3 Costo total de la máquina. La tabla 29 muestra los costos totales en los que se deberá incurrir según el ítem.

Tabla 29. Costo total de la máquina.

Ítem	Valor
Costos de Ingeniería	\$ 18.630.000
Costo de Materiales	\$ 8.037.521
Costo de Montaje	\$17.782.753
TOTAL	\$44.450.274

7.2 COSTOS OPERACIONALES

Se muestran los costos anuales para el desarrollo de sus operaciones como: material directo, mano de obra directa y costos indirectos de fabricación. En la tabla 32 se consigna el costo de mantenimiento preventivo para mejor rendimiento. Los datos de referencia fueron tomados de una empresa de la industria de fabricación de suelas en la ciudad de Bogotá D.C. y se asume una inflación del 3.6% dada por el Banco de la República para el año 2018⁹⁴ y se hace el supuesto que esta será constante para los 5 años que dura este proyecto. Se presentan tablas consecutivas para cada uno de los costos mencionados manejando como año base el 2017 para las proyecciones del año 2018 al 2022.

⁹⁴ Tomado de: <http://www.banrep.gov.co/es/comunicado-24-03-2017> el 3 de junio de 2017

Tabla 30. Costos anuales que genera la maquina en el desarrollo de sus operaciones.

Año	Ítem	Unidad de medida	Cantidad estándar	Precio por kilo	Cantidad de pares producida anual	Costo unitario para la producción	Total
2017	PVC	Kg	0,3	\$ 7.000	51.120	\$ 2.100	\$107.352.00
2018	PVC	Kg	0,3	\$ 7.252	51.120	\$ 2.176	\$ 111.216.672
2019	PVC	Kg	0,3	\$ 7.513	51.120	\$ 2.254	\$ 115.220.472
2020	PVC	Kg	0,3	\$ 7.784	51.120	\$ 2.335	\$ 119.368.409
2021	PVC	Kg	0,3	\$ 8.064	51.120	\$ 2.419	\$ 123.665.672
2022	PVC	Kg	0,3	\$ 8.354	51.120	\$ 2.506	\$ 128.117.636

Tabla 31. Costos indirectos de fabricación.

Año	Unitarios	Cantidad producida anual	Total costos indirectos.
2017	\$ 1.500	51.120	\$ 76.680.000
2018	\$ 1.554	51.120	\$ 79.440.480
2019	\$ 1.610	51.120	\$ 82.300.337
2020	\$ 1.668	51.120	\$ 85.263.149
2021	\$ 1.728	51.120	\$ 88.332.623
2022	\$ 1.790	51.120	\$ 91.512.597

Tabla 32. Costos de mantenimiento preventivo.

Año	Costos de mantenimiento
2017	\$ 2.000.000,00
2018	\$ 2.072.000,00
2019	\$ 2.146.592,00
2020	\$ 2.223.869,31
2021	\$ 2.303.928,61
2022	\$ 2.386.870,04

7.2.1 Costo total de fabricación. En la Tabla 33 se enseña la relación de costos de materiales directos, mano de obra directa, costos indirectos de fabricación y mantenimiento total de manera anual para del año 2018 al 2022.

Tabla 33. Costo total de operación.

Proyección de costos de operación					
Item	2018	2019	2020	2021	2022
Materiales	\$111.216.672	\$115.220.472	\$119.368.409	\$123.665.672	\$128.117.636
Costos indirectos de fabricación	\$79.440.480	\$82.300.337	\$85.263.149	\$88.332.623	\$ 91.512.597
Mantenimiento	\$2.072.000	\$ 2.146.592	\$ 2.223.869	\$ 2.303.929	\$ 2.386.870
Total	\$192.731.170	\$199.669.420	\$206.857.448	\$214.304.244	\$222.019.125

7.3 BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA

Con esta máquina las empresas podrán incrementar su productividad sin la necesidad de contratar otro operario y observaran una reducción en los tiempos y movimientos que se requieren para la elaboración del producto; lo que conlleva a una disminución de costos en la parte productiva.

Dado el incremento de la productividad por unidad de tiempo se espera que los ingresos se dupliquen, por tanto, se presenta la relación del aumento de los ingresos para los años proyectados, y al igual se tuvo en cuenta una inflación del 3.6% que se asume se mantendrá constante por los cinco años que dura el proyecto, desde el año 2018 al 2022.

Otro beneficio que conlleva implementar es la disminución de los costos fijos de fabricación ya que la producción se duplica sin contratar un nuevo operario. También, el costo fijo unitario se vería disminuido en términos unitarios; puesto que, los costos fijos totales de la compañía se distribuirían en una cantidad mayor de unidades sin repercutir en nuevos costos fijos.

Tabla 34. Ingresos anuales por producción.

Año	Producto	Precio unitario	Cantidad producida anual	Ingresos Anuales
2017	Vans de la talla 37-43	\$ 4.070	51.120,00	\$176.849.640,00
2018	Vans de la talla 37-43	\$ 4.216	51.120,00	\$183.216.227,04
2019	Vans de la talla 37-43	\$ 4.368	51.120,00	\$189.812.011,21
2020	Vans de la talla 37-43	\$ 4.525	51.120,00	\$196.645.243,62
2021	Vans de la talla 37-43	\$ 4.688	51.120,00	\$203.724.472,39
2022	Vans de la talla 37-43	\$ 4.857	51.120,00	\$211.058.553,39

En la Tabla 34 se tiene que la producción se mantendrá durante los años de duración de este proyecto año tras año.

7.4 ANÁLISIS FINANCIERO

7.4.1 Supuestos financieros para el flujo de caja neto. Para llevar a cabo el análisis financiero se tienen en cuenta los cálculos de los indicadores financieros de valor presente neto (VPN) y tasa interna de retorno (TIR) para esto se tomaron los siguientes supuestos:

La inflación que se tomará es la proyectada por el Banco de la República para 2018, de 3.60%⁹⁵ y será constante para los años de la implementación del proyecto.

La tasa interna de retorno (TIO) establecida fue de 9% que se determina a partir de una sensibilización que se realiza de los diferentes créditos a los que podría acceder una microempresa en Colombia como lo son:

- ✓ CDT
- ✓ Cuentas de ahorro
- ✓ Créditos ordinarios
- ✓ Sobre giros bancarios⁹⁶

⁹⁵ Tomado de: <http://www.banrep.gov.co/es/comunicado-24-03-2017> el 3 de junio de 2017

⁹⁶ <https://www.superfinanciera.gov.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=61298> el 3 de junio de 2017

Estos datos fueron tomados de la superintendencia financiera de Colombia con corte al 19 de mayo de 2017.

Se toma una tasa de impuesto del 34%.⁹⁷

Con este proyecto se espera que los ingresos se dupliquen; dado que, esta máquina como se ha mencionado puede producir un 45% adicional a una maquina convencional en el mercado.

El horizonte de tiempo que se tiene en cuenta para este proyecto es de cinco años.

No se tendrán en cuenta para este flujo de caja neto los costos del operario, porque para la implementación de este proyecto no es necesaria la contratación de otro operario para el manejo de la máquina.

Se consideran imprevistos sobre los ingresos del 4% para cada año de duración de este proyecto.

7.4.2 Flujos de caja neto. En la tabla 35 se muestra el flujo de caja neto, el cual presenta, el cambio en los ingresos y costos dada la ejecución de la maquina mencionada en este trabajo.

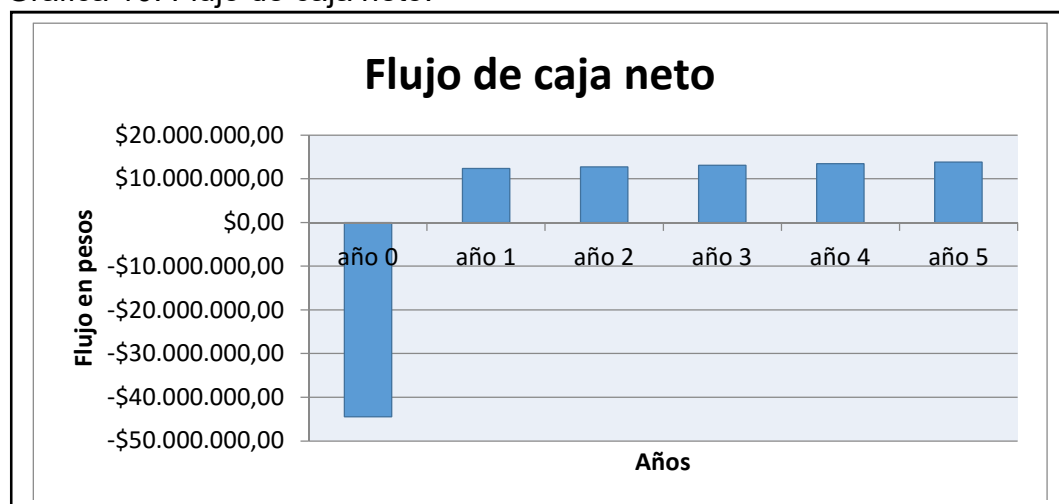
⁹⁷ http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1819_2016.html el 3 de junio de 2017

Tabla 35. Flujo de caja neto.

	PERIODOS					
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
CAMBIOS EN LOS INGRESOS		\$ 215.548.502	\$ 223.308.248	\$ 231.347.345	\$ 239.675.850	\$ 248.304.18
(-) CAMBIOS EN LOS COSTOS		\$ 190.657.152	\$ 197.520.809	\$ 204.631.559	\$ 211.998.295	\$ 219.630.23
(-) COSTO DE MANTENIMIENTO		\$ 2.072.000	\$ 2.146.592	\$ 2.223.869	\$ 2.303.929	\$ 2.386.870
(-) IMPREVISTOS SOBRE LOS INGRESOS		\$ 8.621.940	\$ 8.932.330	\$ 9.253.894	\$ 9.587.034	\$ 9.932.167
(-) CAMBIOS EN LA DEPRECIACIÓN		\$ 8.890.055	\$ 8.890.055	\$ 8.890.055	\$ 8.890.055	\$ 8.890.055
(=) CAMBIOS EN LA UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		\$ 5.307.356	\$ 5.818.462	\$ 6.347.969	\$ 6.896.538	\$ 7.464.855
(-) TASA IMPOSITIVA DEL 34%		\$ 1.804.501	\$ 1.978.277	\$ 2.158.309	\$ 2.344.823	\$ 2.538.051
(=) CAMBIOS EN LA UTILIDAD DESPUÉS DE IMPUESTOS		\$ 3.502.855	\$ 3.840.185	\$ 4.189.659	\$ 4.551.715	\$ 4.926.804
(+) CAMBIOS EN LA DEPRECIACIÓN		\$ 8.890.055	\$ 8.890.055	\$ 8.890.055	\$ 8.890.055	\$ 8.890.055
(-) DESARROLLO, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA	\$44.450.2					
FLUJOS DE EFECTIVO NETOS	\$12.392.9	\$12.730.240	\$13.079.714	\$13.441.770	\$ 816.859	\$12.392.90

En la Grafica 10 se muestran los flujos de caja netos para los próximos cinco años del proyecto a partir de la información presentada.

Grafica 10. Flujo de caja neto.



7.4.3 Valor presente neto. Permite igualar el valor presente de los flujos de efectivo que se esperan en el futuro y que generarán la inversión, menos los desembolsos iniciales de capital o VPN= valor presente neto de los flujos de efectivo futuros menos la inversión inicial.⁹⁸

Se muestra el cálculo para traer a valor presente uno a uno los flujos de efectivos netos de cada año que dura el proyecto.

$$\begin{aligned} \text{VPN} &= f \\ \text{VPN} &= \$-44.450.274 + \$12.392.909 \cdot (1+28\%) \\ \text{VPN} &= \$95.137.142,16 \end{aligned}$$

Los criterios para evaluar a partir del VPN si un proyecto es viable son:

VPN > 0, el proyecto es viable
VPN < 0, el proyecto no es viable
VPN = 0, es indiferente para el inversionista

Teniendo en cuenta los rangos, se establece que el VPN de este proyecto es de \$95.137.142,16; por lo tanto, el proyecto es viable para ser ejecutado.

7.4.4 Tasa interna de retorno. Es la tasa de rentabilidad de los ingresos y desembolsos del proyecto y se mide por un porcentaje; además, se debe considerar que esta debe ser mayor a la tasa interna de oportunidad (TIO) la cual es la tasa mínima a la cual el inversionista estaría dispuesto a invertir en un proyecto⁹⁹.

La TIR para para la evaluación de este proyecto se halla mediante con Microsoft Excel, por lo cual se obtiene una TIR del 14% y comparándola con la tasa interna de oportunidad (TIO) del 9%, se concluye que el proyecto es rentable y está por arriba de lo mínimo que estaría dispuesto a invertir en el proyecto un inversionista.

⁹⁸ MOYER. Charles, MCGUIGAN. James, KRETLOW. William. Administración financiera contemporánea. Editorial Cengage Learning. México. 2005. 797p.

⁹⁹MOYER. Charles, MCGUIGAN. James, KRETLOW. William. Administración financiera contemporánea. Editorial Cengage Learning. México. 2005. 797p.

8. CONCLUSIONES

- ✓ El planteamiento de alternativas para el sistema de inyección presentó como mejor opción la selección e implementación en el sistema de inyección el tornillo sin fin, ya que ofrece las mejores condiciones para el transporte del material, una de ellas es que siempre estará en constante movimiento lo cual permite que el material no se solidifique ni se queme en el interior del tornillo debido a que a lo largo del tornillo irán sujetas bandas calefactoras, además permite flujo continuo del material en el momento de inyección.
- ✓ El planteamiento de alternativas para el tipo de boquillas presentó como mejor opción la selección e implementación el tipo de boquilla correspondiente a la de flujo libre, esto se concluye que el material fluye a través de esta y a la vez conserve tanto la temperatura como la presión a la que el material sale del tornillo de inyección.
- ✓ El planteamiento de alternativas para el tipo de boquillas presentó como mejor opción la selección e implementación para la boquilla de doble salida el diseño en "Y", esto se debe a que cuando el material fluya a través de esta, es la alternativa en la que la geometría de la boquilla no afecta las propiedades del material inyectado, ni la presión ni la temperatura; es de fácil mantenimiento y barata de reemplazar, por lo que el producto final tendrá un alto grado de confiabilidad.
- ✓ El desarrollo e implementación de la maquina inyectora de plásticos con doble boquilla de salida, ofrece a las empresas de fabricación de calzado un aumento en la producción, gracias a que el proceso de inyección se realiza en menor tiempo.
- ✓ La fabricación y puesta en marcha de la máquina es viable, como arroja el análisis financiero, teniendo en cuenta que la inversión total fue de \$44.450.274 y que esta inversión se va a recuperar fácilmente en el tiempo proyectado de 5 años; los indicadores económicos como el VPN es mayor a 0, y la TIR es mayor a la TIO.
- ✓ A partir del análisis por el método de elementos finitos y con ayuda del software NX 9.0, se concluye que los elementos estructurales y el espesor de pared de la boquilla de doble salida logran soportar las cargas a las que están sometidas basados en los resultados de esfuerzos y desplazamientos máximos, a partir de estos se obtiene el valor de seguridad relativa del elemento y se comparó este valor con los resultados teóricos para demostrar la veracidad de los resultados obtenidos por el software.

9. RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar pruebas piloto del funcionamiento de todos los sistemas de la máquina, mediante diferentes condiciones ambientales y de trabajo, para garantizar el buen funcionamiento del equipo
- ✓ Evaluar la posibilidad de realizar la automatización del sistema de inyección de la máquina, de esta manera se reducirían tiempos de producción y daría mayor seguridad a los operarios
- ✓ Evaluar la posibilidad de aplicar RCM a los activos de la empresa donde se realice el montaje de la máquina, mediante el uso de técnicas de mantenimiento. Elevar la disponibilidad y reducir la mantenibilidad de los equipos, garantizando reducción en los costos de mantenimiento

BIBLIOGRAFIA

AHMSA – Products [Online] [citado 22-04-2017] disponible en: http://www.ahmsa.com/Acero/Complem/Manual_Construccion_2013/Capitulo8.pdf

ARBUG – Plásticos [Citado 10-04-17]. Disponible en: https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/prospekte/arburg_service_plasticising_526423_es

BANREP – Referencia documental [Citado 2-06-17]e: disponible en: <http://www.banrep.gov.co/es/comunicado-24-03-2017>

BEER. Ferdinand, JOHNSTON. Russell, DEWOLF. John, MAZUREK. David. Mecánica de materiales. Mc Graw Hill. Quinta edición. México. 2010. 817p.

BELTRÁN Maribel, MARCILLA. Antonio. Tecnología de polímeros. España Universidad de Alicante. 2012. 276p.

BOGOTA – Condiciones ambientales normales [Citado 21-04-17] Disponible en: <http://www.bogota.gov.co/ciudad/clima>

CABALLERO ÁGUILA Manuel Manual de inyección de plásticos, ciclo de operaciones de transformación de plásticos y caucho. Junta de Andalucía 2010. 157p.

CENGEL.Y, TURNER.R. Fundamentals of thermal fluid sciences. New York. Mc Graw Hill. Second edition.2005.1088p.

CIFUENTES.Roosevelth. Diseño de una máquina extrusora para la empresa plastik de occidente. Tesis de grado. Universidad del Valle. 2011. 73p.

COLLINS.Edward. The reology of PVC - An Overview. Goodrich chemical Company. Technical center. USA. 15p.

EIS – Propiedades del PVC [Online]. [Citado 22-11-16] Disponible en: <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/pvc/queeselpvc.htm>

EIS – Propiedades del PVC [Online]. [Citado 22-11-16] Disponible en: www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/PVC/estruct_sintesis.

EIS – Propiedades del PVC [Online]. [Citado 29-11-16] Disponible en: www.eis.uva.es/~curso07-08/pvc/materiasprimasyaditivos.html citado el 29 de noviembre de 2016.

ENTREVISTA con Elkin Andrés Yaya, Jefe del departamento de diseño de la empresa Tridimensionales S.A.S. Bogotá, 7 de marzo de 2017.

GASTROW. H. Moldes de inyección para plásticos, 100 casos prácticos, Plasic comunicación. 2 edición. España. 1992. 256p.

GÓMEZ. Jimmy, GUTIÉRREZ. Jorge. Diseño de una extrusora para plásticos. Tesis de grado. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. 2007. 121p.

IFRS – Referencia planta y equipo [Citado 2-06-17] disponible en: http://www.ifrs.org/Documents/17_PropiedadesPlantayEquipo.pdf

INSTUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación, Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Bogotá D.C., 2008.

INSTUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación, Referencias documentales para fuentes de información electrónica. NTC 4490. Bogotá D.C., 2006.

INSTUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación, Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá D.C., 2008.

LEADBITTER.J, DAY.J,RYAN.J. PVC-Compounds, processing and applications. Rapra technology. United kingdown.1994.143p.

MITCHEL. Philip. Tool and manufacturing engineers handbook. USA. Society of manufacturing engineers. 4edición. 348p.

MOTT. Robert. Diseño de elementos de máquinas y herramientas. Cuarta edición 2006. 106p.

MURCIA. Juan, ROMERO. Andrés. Diseño de un sistema primario en el proceso de trituración de llantas usadas desalambradas. Tesis de grado. Fundación Universidad de América. 2016. 92p.

NORTON. Robert. Diseño de máquinas un enfoque integrado. Editorial Pearson. México. Cuarta edición. 2011.892p.

ORIENTE – Catálogo de productos [Citado 29-05-17]. Disponible en: <http://www.resistenciasdelorient.com/index.php/resistencias-tipo-abrazadera>

PEZZIN.G.Rheology and plastization of Polyvinyl chloride. Laboratorio di Porto Marghera. Montecatini-Edison. Venezia Italy.14p

PINO. Eduardo. Software para diseño de transportadores de tornillo sin fin. Tesis de grado. Escuela superior politécnica de litoral. Guayaquil Ecuador. 2005. 277p.

SAVGORODNY. V. K. Transformación de materiales termoplásticos. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona España. 1989. 240p

SOTELO – FICHA TECNICA [Online]. [Citado 01-06-17]. Disponible en: http://www.acerosotero.cl/planchas_acero_carbono_astm_a36.html

SUMITECCR – Productos [Citado 21-04-17]. Disponible en: [http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI% 2010 20. Pdf](http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%2010%2020.Pdf)

SUPERFINANCIERA – Indicadores económicos [Online]. [Citado 2-06-17]. Disponible en: <https://www.superfinanciera.gov.co/jsp/loader.jsf?|Servicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=61298>

WOETBERG. J, MAHLKE. M, EFFEN. N. Barrieschnecken steigern die homogeinat de schmelze = los tornillos de barrera aumentan la homogeneidad del fundido. Bayer Leverkusen Alemania. 1994. 12p. Traducido por Lisa Koenig de Laverde.

ANEXOS

ANEXO A FICHA TECNICA ACEROS

TABLA A-20

Características y propiedades mecánicas a la tensión de algunos aceros rolados en caliente (HR) y estirados en frío (CD).

[Las resistencias indicadas son valores mínimos ASTM estimados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm ($\frac{3}{4}$ a $1\frac{1}{4}$ in). Tales resistencias son adecuadas para el uso con el factor de diseño definido en la sección 1-9, siempre que los materiales cumplan los requisitos ASTM A6 o A568, o sean requeridos en las especificaciones de compra. Conviene recordar que una designación numérica no es una especificación. Véanse en la tabla 1-1 las propiedades de algunos aceros ASTM.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS NÚM.	SAE Y/O AISI NO.	PROCESAMIENTO	RESISTENCIA ÚLTIMA, MPa (kpsi)	RESISTENCIA DE FLUENCIA, MPa (kpsi)	ELONGACIÓN EN 2 in, %	REDUCCIÓN EN ÁREA %	DUREZA BRINELL
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Fuente: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

ACEROS AL CARBONO

SUMINISTRO LAMINADO Y TREFILADO

SAE 1020

Descripción: Acero de bajo carbono, blando, responde bien al trabajo en frío y al tratamiento térmico de cementación. Tiene un alto índice de soldabilidad, y por su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para elementos de maquinaria y usos convencionales de baja exigencia.

Usos: Se utiliza en ejes, cadenas, remaches, tornillos, pernos, sujetadores, engranajes, piñones, piezas de maquinaria, pasadores de baja resistencia, prensas y levas.

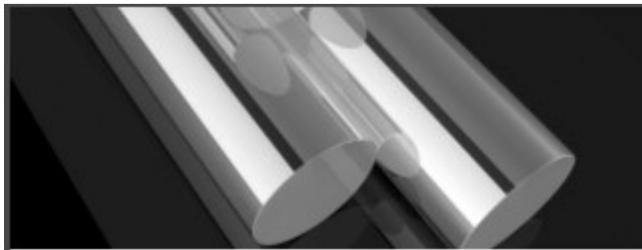
SAE 1020

Composición química (%)	
C	0,18 - 0,23
Mn	0,30 - 0,60
P	0,04 Máx.
S	0,05 Máx.

Tratamiento térmico Valores en °C	
Forjado	820 - 1100
Normalizado	870 - 890
Revenido	150 - 180
Recocido	650 - 700
Templado	Agua 820 - 850
Cementación	900 - 950

Propiedades mecánicas Laminado en caliente	
Resistencia a la tracción	40 - 45 kgf/mm ²
Límite de fluencia	27 kgf/mm ²
Elongación	20%
Reducción de área	50%
Maquinabilidad	72%
Dureza (HB)	110 - 140





ACEROS ALEADOS

SAE 4140

Descripción: Acero de medio carbono aleado con Cr y Mo. Posee mediana templeabilidad, buena maquinabilidad, alta resistencia, buena tenacidad y baja soldabilidad. Este acero es susceptible al endurecimiento por tratamiento térmico. Es comúnmente utilizado para la fabricación de piezas que requieran alta tenacidad y resistencia.

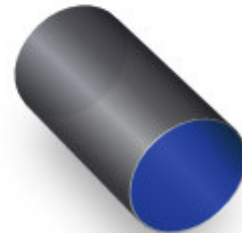
Uso: Se utiliza en piñones, pequeños, tijeras, tornillos de alta resistencia. Piezas de alta exigencia para la construcción de vehículos en general. Cigüeñales, espárragos, árboles, palieres, engranajes de transmisión, etc.

SAE 4140

Composición química (%)	
C	0,36 - 0,43
Mn	0,75 - 1,00
Si	0,15 - 0,35
P	0,035 Máx.
S	0,040 Máx.
Cr	0,80 - 1,10
Mo	0,15 - 0,25

Tratamiento térmico Valores en °C	
Forjado	850 - 1050
Normalizado	870 - 900
Revenido	540 - 680
Recocido	750 - 850
Templado	Aceite 830 - 850

Propiedades mecánicas	
	Bonificado
Resistencia a la tracción	95 - 105 kgf/mm ²
Límite de fluencia	60 - 74 kgf/mm ²
Reducción de área	50%
Maquinabilidad	-
Dureza (HB)	270 - 321
Elongación	10 - 18 %



Formas: Redonda
Suministro: Laminado (Bonificado y sin bonificar)



PLANCHAS DE ACERO CARBONO

ASTM A36



Estado de Suministro: Laminado
Tolerancia: ASTM A6

Características

Acero estructural de buena soldabilidad, adecuado para la fabricación de vigas soldadas para edificios, estructuras remachadas, y atornilladas, bases de columnas, piezas para puentes y depósitos de combustibles.

Aplicaciones

Construcción de puentes, estanques, estructuras para industrias, edificios, torres y aplicaciones estructurales en general.

Propiedades Mecánicas

Esfuerzo Fluencia		Esfuerzo Tracción		Elongación
(Kg / mm ²)	MPa	(Kg / mm ²)	MPa	%
25,5 (mín.)	250 (mín.)	40,8 (mín.)	400 (mín.)	20 (mín.)

Composición Química (Valores típicos)

% C	% Mn	% Si	% P	% S
≤ 0,26	0,80 - 1,20	≤ 0,40	≤ 0,04	≤ 0,05

Mínimo Radio Interior de Plegado en Frío ()**

Espesor E (mm.)		
Hasta 20 mm. (incl.)	Sobre 20 mm. hasta 25 mm. (incl.)	Sobre 25 mm. hasta 50 mm. (incl.)
1,5 X E	1,5 X E	1,5 X E

(**) Los parámetros de plegado indicados son perpendiculares al sentido de laminación de la placa.



Los valores de los ítems son referenciales.
 Santiago: Proyección S.A., Santiago, 1 (22) 888 8880 - No. 11 de Julio N° 203, Santiago, 1 (22) 888 8100 - Pinareros: Huelin S.A., Santiago, 1 (22) 888 8880 - Tercerera: N° 1010, San Miguel, 1 (22) 888 8170.
 Antofagasta: Ac. Pedro Aguirre Cerda N° 1707, 1 (22) 882 8800. **Valle del Maipo:** Colchagua N° 636, 5 (22) 288 8800. **Concepción:** Pizarro N° 2077, 5 (41) 238 2788. **Puerto Montt:** Bulev. 1 de N° 180, Castro Parga, 1 (22) 438 380.

Color de identificación:
Blanco / Amarillo

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL

NORMAS EQUIVALENTES	
AFNOR (Fr)	1C40
BS (Ing)	080 A40
DIN (Ale)	11186
JIS (Jap)	S40C
UNI (Ital)	C40
Grado Thyssen	XC 40H1

RANGOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA				
CARBONO	AZUFRE	FÓSFORO	SELENO	MANGANESO
C	S	P	SI	Mn
0.37 - 0.44	0.04 (Máx)	0.04 (Máx)	0.15 - 0.35	0.60 - 0.90
CROMO	NIQUEL	MOBDENO	VARADO	TUNGSTENO
Cr	Ni	Mo	V	W
—	—	—	—	—

CARACTERÍSTICAS GENERALES	APLICACIONES
<ul style="list-style-type: none"> Es un Acero de construcción de medio carbono. Responde fácilmente al tratamiento térmico de endurecimiento mediante bonificado (temple y revenido), especialmente con temple en medios de alta severidad como el agua. Buena Maquinabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> Elementos de Maquinarias. En general, sus aplicaciones son similares a las del Acero AISI 1045. Ejes, engranajes, cigüeñales, espárragos, pemos, cadenas, etc. También se suele utilizar en piezas endurecidas superficialmente por inducción o llama oxacetilénica.

TRATAMIENTO TÉRMICO DEL MATERIAL				
TRATAMIENTO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRÍAMENTO	DUREZA	
			RC	HN
NORMALIZADO	870 - 890	AIRE		190 (Máx)
RECOCCIDO	840 - 860	HORNO		170 (Máx)
TEMPLE	830 - 850	AGUA	58 (Máx)	
REVENIDO	200 - 620		52 (Máx)	228 (Máx)
CEMENTACIÓN				



ESTADO DE ENTREGA	www.sumindu.com
Natural o bonificado, durezas (ver certificado de calidad). Laminado o Forjado, premaquinado o según medidas.	

ANEXO B SELECCIÓN MOTORREDUCTOR

Motorreductores Motorreductores de ejes coaxiales

Orientamiento

Síntesis

2



Reductores de ejes coaxiales E



Reductores de ejes coaxiales VZ

Los reductores de ejes coaxiales MOTCX forman parte de la gama modular MOTCX. Sumados a los reductores cónicos heli-cordales, reductores de ejes paralelos, reductores helicoidales sin fin corona, reductores variadores, motores de corriente alterna con y sin freno son posibles todas las combinaciones de elementos de transmisión imaginables, incluso accionamientos de velocidad variable electrónicamente.

Los reductores de ejes coaxiales MOTCX están diseñados para servicio continuo.

Las carcassas de los reductores, de fundición gris o de aluminio, están desarrolladas en CAD 3D y tienen una estructura optimizada que ofrece alta rigidez y una mayor amortiguación de las vibraciones. Las pérdidas de aceite y la penetración de polvo y agua se evitan mediante retenes con labios antipolvo. Todas las ruedas dentadas están fresadas, y sus superficies templadas. Los flancos de diente están rectificados o brutados de forma abombada y con corrección de perfil.

Los reductores de eje coaxiales MOTCX están disponibles en versiones de una, dos y tres etapas. La serie de reductores de ejes coaxiales MOTCX está disponible con carcasa con patas o brida para su montaje en cualquier posición. Las carcassas se pueden suministrar con contraje integrado (tipo C). También son posibles, por encargo especial, versiones con carcasa con patas y brida o carcassas con patas y contraje.

Motorreductores Motorreductores de ejes coaxiales

Motorreductores de hasta 200 kW

2

Datos para selección y pedidos (continuación)

Potencia P_{motor} kW	Velocidad de salida		Par de salida T_2 Nm	Factor de servicio f_s	Índice de reducción i_{red}	Referencia	Código (n.º polos)	Peso ¹⁾ kg
	n_2 (50 Hz) min ⁻¹	n_2 (60 Hz) min ⁻¹						
4,0 (50 Hz) 4,8 (60 Hz)	Z 48-LA112MB4							
	336	403	114	2,3	4,20 *	2KJ1100 - GH13 - A1		52
	Z 38-LA112MB4							
	165	196	232	0,84	8,75	2KJ1102 - GH13 - H1		42
	191	229	199	0,95	7,52 *	2KJ1102 - GH13 - G1		42
	192	230	199	0,93	7,50 *	2KJ1102 - GH13 - F1		42
	215	256	175	1,0	6,71	2KJ1102 - GH13 - D1		42
	234	281	163	1,0	6,16 *	2KJ1102 - GH13 - C1		42
	259	311	147	1,1	5,55	2KJ1102 - GH13 - B1		42
	302	362	127	1,3	4,77 *	2KJ1102 - GH13 - A1		42
E 128-LA112MB4	E 128-LA112MB4							
	142	170	269	2,0	10,14 *	2KJ1006 - GH13 - T1		126
	153	184	249	2,3	9,40	2KJ1006 - GH13 - S1		126
	161	193	237	2,7	8,84 *	2KJ1006 - GH13 - R1		126
	172	206	222	3,2	8,35	2KJ1006 - GH13 - Q1		126
	195	234	195	4,2	7,37 *	2KJ1006 - GH13 - P1		126
E 188-LA112MB4	E 188-LA112MB4							
	264	317	145	4,6	5,46 *	2KJ1005 - GH13 - K1		89
E 88-LA112MB4	E 88-LA112MB4							
	139	167	274	0,84	10,33 *	2KJ1004 - GH13 - S1		68
	152	182	251	0,84	9,45	2KJ1004 - GH13 - R1		68
	171	205	223	1,1	8,42 *	2KJ1004 - GH13 - Q1		68
	187	224	204	1,2	7,83	2KJ1004 - GH13 - P1		68
	204	245	186	1,5	7,07 *	2KJ1004 - GH13 - N1		68
	221	265	173	1,7	6,53	2KJ1004 - GH13 - M1		68
	236	286	161	1,7	6,06 *	2KJ1004 - GH13 - L1		68
	255	306	150	2,1	5,65	2KJ1004 - GH13 - K1		68
	282	338	136	2,7	5,11 *	2KJ1004 - GH13 - J1		68
	306	367	125	3,1	4,70	2KJ1004 - GH13 - H1		68
	340	406	112	3,6	4,23 *	2KJ1004 - GH13 - G1		68
	389	443	103	3,7	3,90	2KJ1004 - GH13 - F1		68
	436	523	88	5,1	3,30	2KJ1004 - GH13 - E1		68
	500	600	75	5,7	2,81 *	2KJ1004 - GH13 - D1		68
	E 68-LA112MB4	E 68-LA112MB4						
142		216	210	0,81	7,92 *	2KJ1003 - GH13 - S1		51
224		299	170	1,0	6,42 *	2KJ1003 - GH13 - P1		51
243		292	157	1,2	5,92	2KJ1003 - GH13 - N1		51
269		323	142	1,5	5,35 *	2KJ1003 - GH13 - M1		51
292		350	131	1,7	4,93	2KJ1003 - GH13 - L1		51
316		379	121	1,8	4,55 *	2KJ1003 - GH13 - K1		51
340		406	112	2,0	4,24	2KJ1003 - GH13 - J1		51
385		462	99	2,3	3,74 *	2KJ1003 - GH13 - H1		51
417		500	92	2,6	3,45	2KJ1003 - GH13 - G1		51
465		559	82	3,0	3,00 *	2KJ1003 - GH13 - F1		51

* Reducción por efecto

Para versiones de eje, ver la página 2/117

Para frecuencias y tensiones, ver la página 8/18

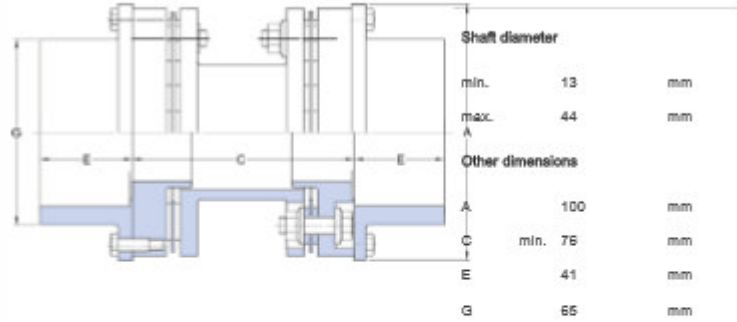
Para formas de carcasa, ver la página 2/116

¹⁾ para forma constructiva B3

ANEXO C ACOPLE

KD2-053

Dimensions



Calculation data

Torque, continuous	max.	0.23	kN·m
Speed	max.	8200	r/min
Total WR^2		0.005	kg·m ²
Axial capacity	±	1.4	mm

Mass

Mass disc coupling		3.48	kg
--------------------	--	------	----

ANEXO D COTIZACIONES



OXICORTES Y ACEROS DEL CARVAJAL S.A.S.

NIT. 900,962,439
Carrera 69 B No. 36 26 Sur
TELS 7103090 BOGOTÁ, D.C.

**COTIZACIÓN
COTI 000000001077**

CLIENTE TRANSPORTE EQUIPETROL	ATENCIÓN	
NIT. 123 - 8	DIRECCIÓN	TELÉFONO

CIUDAD BOGOTÁ
FECHA 03 de junio de 2017
ASESOR: CEL:

REFERENCIA	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MG. UNITARIO	VALOR TOTAL
ACI 016/20R08	1.00	Metros	ACERO 1016/20 REDONDO CALIBRADO 8" X 1500 MM	2,083,311.00	2,083,311.00
ACI 016/20R03	1.00	Metros	ACERO 1016/20 REDONDO CALIBRADO 3" X 1600 MM	228,400.00	228,400.00
ANGHRJ1802	4.00	Metros	ANGULO HR 18" X 2" X 6MTS	42,000.00	168,000.00
ANGHRJ1602	4.00	Metros	ANGULO HR 16" X 2" X 6MTS	57,000.00	228,000.00

TRES MILLONES DOSCIENTOS VEINTIDOS MIL CIENTO SETENTA Y SEIS PESOS

SUBTOTAL	2,707,711.00
I.V.A	514,465.00
REVENCIÓN	0.00
TOTAL \$	3,222,176.00

OXICORTES Y ACEROS DEL CARVAJAL S.A.S. FIRMA Y SELLO DEL CLIENTE

MONTACARGAS LA INMEDIATA

Compra, venta, mantenimiento, repuestos
y transporte



Servicio de 1 a 5 Ton.



Estibadores
Manuales



Eléctrica
Pasillo angosto

Pablo Fontecha

☎ 300 218 76 34 - 317 794 88 05 - 311 501 60 08

Tel.: 408 56 93 - 360 86 77

Carrera 26 # 7 - 88 Barrio Ricaurte / Casa: 455 51 48

E-mail: pablofontechab@hotmail.com Bogotá, D.C.

COTIZACIÓN

FECHA: DD MM AA

DETALLE	Vr. TOTAL
L HORA	\$ 40.000 =
Dentro del perimetro	



Cotización: 01062017-008

Fecha: 01062017

Detalle: **Cotización resistencias abrazaderas.**

Contacto: **Jorge Salamanca** Empresa:

Responsable: **Marcelo Velez** Dpto: Comercial y Técnico.

PBX 444 64 31 Medellín.

Móvil: 309 458 62 57

WhatsApp: 312 465 81 51

1- Requerimiento del cliente:

Buenas tardes Sr. Marcelo, el diámetro externo del cañón de inyección de la inyectora es de 112mm y el ancho es de 200mm, también necesitaría unas de diámetro de 30mm para una boquilla y de ancho 60mm. Muchas gracias

2- Valor abrazadera de Ø 112 mm, ancho 200 mm, 2500 W a 220 V, \$ 140.000 mas IVA.

3- Valor abrazadera de Ø 30 mm, ancho 60 mm, 300 W a 220 V, \$ 45.000 mas IVA.



Condiciones de la cotización:

Forma de pago: **Contado.**

Favor consignar a la cuenta corriente Bancolombia No 01705685840, a nombre de Resista SAS.

Tiempo de entrega a partir del envío de la orden de compra.: **Aconvenir según cantidad.**

Fletes contra entrega.

Garantía: **Seis meses por defectos de fabricación.**

Validez de la cotización **30 días.**

ADVERTENCIA: Los planos y fotos contenidos en esta cotización, son propiedad de Resista SAS, para cualquier reproducción total o parcial, debe obtener autorización previa por escrito.

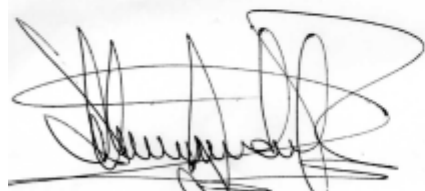
Resistencias Eléctricas Industriales
Carrera 45 No 25 - 83, Medellín - Colombia
Celular: 312 465 81 51 - 300 458 62 57
PBX: 444 64 31 Fax 261 64 60

www.resistaltda.com

Email: resista@une.net.co

COD: 999999 NIT: 9 FECHA: JUNIO 05/2017
 NOM: CARLOS GUIJANO
 DIR: ABC-55 NOMVEN:1050 ALVARO CARDONA
 TEL: 313 222 22 21 CIU: BOGOTA

ITEM	CODIGO	PRODUCTO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	0820109	TLLD BRISTOL C CABEZA MM CLASE 8.8	8 X 50 20	500.00 204.00	\$ 102,000.00
2	0820222	TLLD BRISTOL C CABEZA MM CLASE 8.8	16 X 100 20	200.00 1,544.00	\$ 368,800.00
			SUMA CANT=>	700.00	



ASESOR: ALVARO CARDONA #CAMBIO DE PRECIOS SIN PREVIO AVISOX V/R MERCANCIA.....

ASESOR: ALVARO CARDONA	#CAMBIO DE PRECIOS SIN PREVIO AVISOX V/R MERCANCIA.....	\$ 410,800.00
	FLETES.....	
	SUBTOTAL.....	\$ 410,800.00
	I.V.A.....	\$ 78,052.00
	TOTAL.....	\$ 488,852.00
	RETEFUENTE.....	
	TOTAL A GIRAR.....	\$ 488,852.00

313 222.22.21

CARTERA: _____ DESPACHOS: _____ ALISTAMIENTO: _____ REVISION: _____



TRANSPORTE EQUIPETROL
NIT 900.770.611 - 8

Bogotá D.C., Junio 3 de 2017

Señor
CARLOS A. QUIJANO
Móvil # 3204070098
Ciudad

ASUNTO: COTIZACION # TE-031/2017

Respetado señor:

A continuación discrimino el siguiente Servicio de Transporte:

- **Servicio dentro del Perímetro Urbano de Bogotá**
(Servicio prestado en Camión Turbo)

Valor \$ 200.000 Doscientos Mil Pesos Mcte.****

Cualquier información adicional con gusto le será suministrada, y quedo atento a sus comentarios e inquietudes.

Cordialmente,

TRANSEQUIPETROL LTDA.
TRANSPORTE EQUIPETROL LTDA.
NIT. 900.770.611 - 8
TRANSEQUIPETROL LTDA.

Av. Centenario N° 96G - 42 Teléfono +57 1 2673752 Móvil # 3112781229
e-mail: transequipetrol@hotmail.com Bogotá D.C. - Colombia

COTIZACION No. 2341

CLIENTE GENÉRICO			POR CONCEPTO DE	
NIT 000000 0			COTIZACIÓN	
DIRECCION		CIUDAD	TELEFONO	
FECHA DOCUMENTO		FECHA VENCIMIENTO		VENDEDOR
viernes, 2 de junio de 2017		02-jun-17		GLORIA MARIA LASSO MONSALVE
				FORMA DE PAGO
				Efectivo

Codigo Producto	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Total
MOTOR	MOTOR HP 6.0 MARAC WEG BRASILEIRO CARCAZA EN ALUMINIO V 220/440 CON BRIDA	1,00	1.080.673	1.080.673
REDUCTOR	REDUCTOR EN PIÑONES MARCA HIDROMECC TIEMPO DE ENTREGA 2 DIAS DESPUES DEL ANTICIPO	1,00	1.210.924	1.210.924
Valor en Letras DOS MILLONES SETECIENTOS VEINTISIETE MIL PESOS M/CTE				SUBTOTAL
				2.291.597
				DESCUENTO
				0
				IVA
				435.403
				TOTAL
				2.727.000

MEDIOS HABILITADOS PARA PAGO:

* DIRECTAMENTE EN CAJA DE NUESTRO ALMACEN
 CHEQUES, TRANSFERENCIAS ELECTRONICAS Y/O CONSIGNACIONES
 * BANCOLOMBIA RECAJIDO NACIONAL CUENTA CORRIENTE: N° 22767621943 CONVENIO 37694
 * BANCO CAJA SOCIAL BCSC CUENTA CORRIENTE: N° 21500219899
 TODOS LOS PAGOS DEBEN SER A NOMBRE DE CENTRO INDUMAQ S.A.S

Carrera 24 No. 12 – 39 Bogotá Teléfonos: 371 22 12 – 371 22 13 – 375 19 89 – Celular: 316 753 49 29
 www.centroindumaq.com – E-mail: centroindumaq@hotmail.com

ANEXO E
EVALUCION FINANCIERA

Calculo de nomina

MESES AÑO	12		2017
SALARIO MÍNIMO	\$ 737.717		\$ 737.717,00
			COSTO MENSUAL
REMUNERACIÓN DIRECTA			
Sueldo			\$ 737.717,00
Sub. Transporte	\$ 83.140		83.140
TOTAL REMUNERACIÓN DIRECTA			\$ 820.857,00
PRESTACIONES SOCIALES			
Cesantía			\$ 68.404,75
Intereses sobre cesantía	12%		\$ 8.208,57
Prima de servicios			\$ 68.404,75
Vacaciones	50%		\$ 30.738,21
TOTAL PRESTACIONES SOCIALES			\$ 175.756,28
SEGURIDAD SOCIAL			
Salud	8,50%		\$ 62.705,95
Pensión	12%		\$ 88.526,04
ARL	1,00%		\$ 7.377,17
TOTAL SEGURIDAD SOCIAL			\$ 158.609,16
APORTES PARAFISCALES			
Caja Compensación	4%		\$ 29.508,68
ICBF	3%		\$ 22.131,51
Sena	2%		\$ 14.754,34
TOTAL APORTES PARAFISCALES			\$ 66.394,53
COSTO TOTAL NÓMINA			\$ 1.221.616,96
Días operación planta	25		
Horas diarias	8		
Horas mensuales	200		
Tiempos no productivos	0%		
Horas Estándar	200		
COSTO MENSUAL			\$ 1.221.616,96
FACTOR PRESTACIONAL			\$ 483.899,96
% F.P.			65,59%
TARIFA ESTANDAR H / H			\$ 6.108,08

Depreciación de la máquina

ESTIMACIÓN DE LA DEPRECIACIÓN POR LINEA RECTA		DEPRECIACIÓN A 5 AÑOS
MAQUINA INYECTORA DE TERMOPLASTICOS CON DOBLE BOQUILLA DE SALIDA		DEPRECIACIÓN ANUAL
\$	44.450.274,00	\$ 8.890.054,80

Producción diaria	213		inflación	3,60%	
Producción semanal	1.065		Tx	34%	ley 1619-2016
Producción mensual	4.260				
producción anual	51.120				

Año	Producto a producir	Precio unitario	cantidad producida an	Ingresos Anuales
2017	Vans de la talla 37-43	\$ 4.070,00	51.120,00	\$ 208.058.400,00
2018	Vans de la talla 37-43	\$ 4.216,52	51.120,00	\$ 215.548.502,40
2019	Vans de la talla 37-43	\$ 4.368,31	51.120,00	\$ 223.308.248,49
2020	Vans de la talla 37-43	\$ 4.525,57	51.120,00	\$ 231.347.345,43
2021	Vans de la talla 37-43	\$ 4.688,49	51.120,00	\$ 239.675.849,87
2022	Vans de la talla 37-43	\$ 4.857,28	51.120,00	\$ 248.304.180,46

Año	Producto a producir	Precio unitario	cantidad producida an	Ingresos Anuales
2017	Vans de la talla 37-43	\$ 3.459,50	51.120,00	\$ 176.849.640,00
2018	Vans de la talla 37-43	\$ 3.584,04	51.120,00	\$ 183.216.227,04
2019	Vans de la talla 37-43	\$ 3.713,07	51.120,00	\$ 189.812.011,21
2020	Vans de la talla 37-43	\$ 3.846,74	51.120,00	\$ 196.645.243,62
2021	Vans de la talla 37-43	\$ 3.985,22	51.120,00	\$ 203.724.472,39
2022	Vans de la talla 37-43	\$ 4.128,69	51.120,00	\$ 211.058.553,39

Costos indirectos de fabricación	Unitarios	Cantidad producida anual	Total costos indirectos de fabricación.
2017	\$ 1.500	51.120,00	\$ 76.680.000
2018	\$ 1.554	51.120,00	\$ 79.440.480
2019	\$ 1.610	51.120,00	\$ 82.300.337
2020	\$ 1.668	51.120,00	\$ 85.263.149
2021	\$ 1.728	51.120,00	\$ 88.332.623
2022	\$ 1.790	51.120,00	\$ 91.512.597


Proyección de costos de operación					
Item	2018	2019	2020	2021	2022
Materiales	\$ 111.216.672	\$ 115.220.472	\$ 119.368.409	\$ 123.665.672	\$ 128.117.636
costos indirectos de fabricación	\$ 79.440.480	\$ 82.300.337	\$ 85.263.149	\$ 88.332.623	\$ 91.512.597
Costos de mantenimiento	\$ 2.072.000	\$ 2.146.592	\$ 2.223.869	\$ 2.303.929	\$ 2.386.870
total con costos de mantenimiento	\$ 192.731.170	\$ 199.669.420	\$ 206.857.448	\$ 214.304.244	\$ 222.019.125
Total sin costos de mantenimiento	\$ 190.657.152	\$ 197.520.809	\$ 204.631.559	\$ 211.998.295	\$ 219.630.233

Año	costos de mantenimiento
2017	\$ 2.000.000,00
2018	\$ 2.072.000,00
2019	\$ 2.146.592,00
2020	\$ 2.223.869,31
2021	\$ 2.303.928,61
2022	\$ 2.386.870,04

	PERIODOS					
	año 0	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
CAMBIOS EN LOS INGRESOS	\$ 215.548.502	\$ 223.308.248	\$ 231.347.345	\$ 239.675.850	\$ 248.304.180	\$ 257.032.916
(-) CAMBIOS EN LOS COSTOS	\$ 190.657.152	\$ 197.520.809	\$ 204.631.559	\$ 211.998.295	\$ 219.630.233	\$ 227.460.170
(-) COSTO DE MANTENIMIENTO	\$ 2.072.000	\$ 2.146.592	\$ 2.223.869	\$ 2.303.929	\$ 2.386.870	\$ 2.470.810
(-) IMPREVISTOS SOBRE LOS INGRESOS	\$ 8.621.940	\$ 8.932.330	\$ 9.253.894	\$ 9.587.034	\$ 9.932.167	\$ 10.283.307
(-) CAMBIOS EN LA DEPRECIACIÓN	\$ 8.890.055	\$ 8.890.055	\$ 8.890.055	\$ 8.890.055	\$ 8.890.055	\$ 8.890.055
(=) CAMBIOS EN LA UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	\$ 5.307.356	\$ 5.818.462	\$ 6.347.969	\$ 6.896.538	\$ 7.464.855	\$ 8.059.960
(-) TASA IMPOSITIVA DEL 34%	\$ 1.804.501	\$ 1.978.277	\$ 2.158.309	\$ 2.344.823	\$ 2.538.051	\$ 2.740.257
(=) CAMBIOS EN LA UTILIDAD DESPUÉS DE IMPUESTOS	\$ 3.502.855	\$ 3.840.185	\$ 4.189.659	\$ 4.551.715	\$ 4.926.804	\$ 5.319.703
(+) CAMBIOS EN LA DEPRECIACIÓN	\$ 8.890.055	\$ 8.890.055	\$ 8.890.055	\$ 8.890.055	\$ 8.890.055	\$ 8.890.055
(-) DESARROLLO, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA	\$ 444.450.274,00					
FLUJOS DE EFECTIVO NETOS	-\$44.450.274,00	\$ 12.392.909	\$ 12.730.240	\$ 13.079.714	\$ 13.441.770	\$ 13.816.859

FLUJOS TRAIDOS A VALOR PRESENTE	\$ 50.686.868,16
MENOS LA INVERSION INICIAL	-\$44.450.274,00
VPN	\$ 95.137.142,16
TIR	14%
TIO	9,00%

ANEXO F FICHA TÉCNICA DEL PVC

	FICHA TECNICA	Código: FTPVCR-01 Fecha: 2013-05-23 Página: 1 de 1 CAS: N/A Clase de riesgo: N/A
Quimiplast Ingeniería S.A.S. C.T. Via Páez Rivera Parque Dabala 89-141 Tel: (57) 8336611 Páez Colombia	COMPUESTO PVC PARA INYECCIÓN	

1. Identificación de la sustancia: REFERENCIA 3P00460

Identificación del producto:

Denominación: Compuesto PVC, Granulado para inyección de piezas. La sustancia no se ha clasificado como peligrosa de acuerdo con la Directiva 67/548/EEC y sus enmiendas. En condiciones normales de uso, no provoca riesgo a la salud y al medio ambiente.

Uso de la sustancia/preparado:

Uso Industrial - Inyección con rápida plastificación y homogeneidad del fluido.

INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES		
COMPONENTES	CAS	%
Resina 500	9002-86-2	99.8
D.O.P. Blanco	117-81-7	99.0
Unistab Ca-Zn	N/A	

2. Manejo y Almacenamiento:

Manipulación: Evitar la formación de cargas electrostáticas. Evitar contacto con solventes orgánicos e hidrocarburos.

Almacenamiento: Mantenga el producto en el empaque original sellado o en recipientes bien tapados. Conservar bajo techo, en un lugar fresco y seco y no estar expuesto a la luz directa del sol ni a fuentes de calor. Ventilar el área de

3. Medidas para extinción de incendios:

Medios de extinción adecuados: Dióxido de carbono, Espuma, Polvo químico seco.

Medios de extinción que NO deben utilizarse: No se conoce ninguno.

Riesgos especiales: Mantener alejado de fuentes de ignición, llamas. Puede emitir humo tóxico e irritante

Equipos de protección: Usar protección respiratoria autónoma para el combate del fuego y

4. Propiedades físicas y químicas:

PROPIEDADES QUÍMICAS		
Propiedades	Especificación	Método de análisis
Apariencia	Pellets Cilíndrico	Visual
Dureza	60 ±2	ASTM D-2240
Índice de Fluidéz	45-50	ASTM D-1238
Densidad	1.22±0.04 g/cm3	ASTM D-1505
Contracción	0.2 %	

PROPIEDAD FÍSICAS	
Propiedades	Especificación
Color	Según requerimientos
Solubilidad	Soluble en solventes orgánicos



ANEXO G DIMENSIONES MOTORREDUCTOR

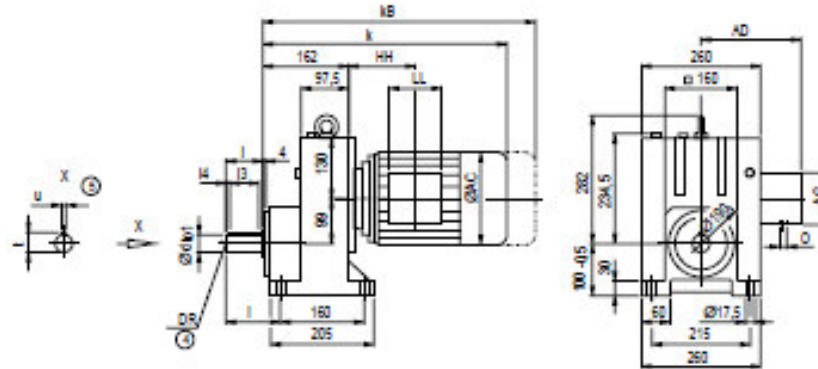
Motorreductores Motorreductores de ejes coaxiales

Dimensiones

Reductores E88 (una etapa), carcasa con patas

E011

2



d	to1	l	H	Ø	t	u	l	DR
40	k5	80	5	70	43	12	110	M16x36
40 ¹	k5	90	5	80	48,5	14	120	M16x36

¹) Serie preferente

Motor	E88									Peso E88
	k	kB	AC	AD	AG	LL	HH	D		
LA90S	462,0	523,0	174,0	163,0	90	90	87,5	M20x1,5/M25x2,5	52	
LA90L	462,0	520,0	174,0	163,0	90	90	87,5	M20x1,5/M25x2,5	52	
LA100L	505,5	586,5	196,0	198,0	120	120	125,5	2xM32x1,5	63	
LA112M	531,5	612,5	219,0	181,0	120	120	127,5	2xM32x1,5	72	
LA132S	591,5	690,5	259,0	196,0	140	140	168,0	2xM32x1,5	84	
LA132M	591,5	690,5	259,0	196,0	140	140	168,0	2xM32x1,5	84	
LA132ZM	637,5	739,5	259,0	196,0	140	140	168,0	2xM32x1,5	93	
LA160M	696,0	814,5	313,5	227,0	165	165	196,5	2xM40x1,5	119	
LA160L	696,0	814,5	313,5	227,0	165	165	196,5	2xM40x1,5	119	
LG180M	756,0	878,0	348,0	322,5	200	190	213,0	2xM40x1,5	211	
LG180ZM	807,0	929,0	348,0	322,5	200	190	213,0	2xM40x1,5	241	
LG180L	756,0	878,0	348,0	322,5	200	190	213,0	2xM40x1,5	211	
LG180ZL	807,0	929,0	348,0	322,5	200	190	213,0	2xM40x1,5	241	


© DIN 332

© Chaveta/chavetero DIN 6885

2/148

Siemens D 87.1 - 2008

ANEXO H
PLANOS


 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES




Nosotros CARLOS ALBERTO QUIJANO RODRIGUEZ y JORGE IVÁN SALAMANCA BECERRA en calidad de titulares de la obra: Diseño de máquina inyectora de termoplásticos para la fabricación de suelas con doble boquilla de salida, elaborada en el año 2016, autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autores establecemos las siguientes condiciones de uso de nuestra obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	X
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a sus autores.

De igual forma como autores autorizamos la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

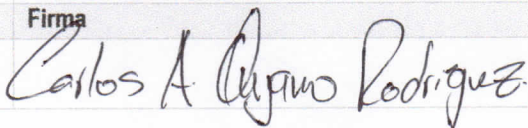
AUTORIZAMOS	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá D.C., a los 8 días del mes de Agosto del año 2017.

LOS AUTORES:

Autor 1

Nombres	Apellidos
CARLOS ALBERTO	QUIJANO RODRIGUEZ
Documento de identificación No	Firma
1.032.466.498 Bogotá D.C.	

Autor 2

Nombres	Apellidos
JORGE IVÁN	SALAMANCA BECERRA
Documento de identificación No	Firma
1.022.386.616 Bogotá D.C.	Jorge S.