

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
“INGENIERO MECÁNICO”**

TEMA:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PELETIZADORA DE
POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD LDPE DE 25 kg /h.**

AUTORES:

**CUMBAJIN ARGUERO BAYRON ROLANDO
VÁSQUEZ LEMA MARCO ANTONO**

DIRECTOR:

ING. OLGHER PÉREZ

QUITO, MARZO 2013

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	i
DECLARACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
INTRODUCCIÓN	v
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	v
JUSTIFICACIÓN	vi
ALCANCE	vii
OBJETIVOS	viii
OBJETIVO GENERAL	viii
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	viii
HIPÓTESIS	viii
VARIABLE	viii
LOCALIZACIÓN	x
METODOLOGÍA	x
CAPÍTULO I	1
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Generalidades	1
1.1.1. Peletizadora del plástico	1
1.1.2. Peletización	1
1.1.2.1. Peletización en frío	1
1.1.2.2. Peletización en caliente	2
1.1.2.3. Pellets	2
1.2. Material a procesar	3
1.2.1. Polietileno	3
1.2.1.1. Estructura química del polietileno	4
1.2.1.2. Propiedades del polietileno	4
1.2.1.2.1. Propiedades mecánicas - Cristalinidad	4
1.2.1.2.2. Propiedades térmicas	4
1.2.1.2.3. Propiedad de desplazamiento	5

1.2.1.3.	Características del polietileno	5
1.2.1.3.1.	Viscosidad – Característica reológica	5
1.2.1.4.	Clasificación del polietileno con base a su densidad	5
1.2.1.4.1.	Polietileno de Baja Densidad (PEBD o LDPE)	6
1.2.1.4.2.	Polietileno Lineal de Baja Densidad (PELBD o LLDPE)	6
1.2.1.4.3.	Polietileno de Alta Densidad (PEAD o HDPE)	6
1.2.1.4.4.	Polietileno de Alta Densidad Alto Peso Molecular (HMW-HDPE)	7
1.2.1.4.5.	Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (UHMWPE)	7
1.2.1.5.	Estructura química del polietileno de baja densidad	7
1.2.1.6.	Simbología del LDPE	8
1.2.1.7.	Propiedades del LDPE	8
1.2.1.7.1.	Propiedades Físicas	8
1.2.1.7.2.	Propiedades Mecánicas	8
1.2.1.7.3.	Propiedades Térmicas	9
1.2.1.8.	Resistencia Química	9
1.2.1.9.	Características del polietileno de baja densidad	10
1.2.1.10.	Proceso de Obtención	10
1.2.1.10.1.	Iniciación	11
1.2.1.10.2.	Propagación	11
1.2.1.10.3.	Terminación	11
1.2.1.11.	Aplicaciones del LDPE	12
1.2.1.12.	Importación de polietileno en el Ecuador	13
1.3.	Comportamiento reológico de polímeros fundidos y en disolución	14
1.3.1.	Viscosidad en cizalla	14
1.3.1.1.	Viscosidad extensional	15
1.3.1.2.	Flujos Newtonianos y no newtonianos	16
1.3.1.3.	Variación de la viscosidad con la velocidad de deformación	17
1.3.1.4.	Variación de la viscosidad con el tiempo de aplicación de la cizalla.	18
1.3.1.5.	Variación de la viscosidad con la temperatura	19
1.3.1.6.	Variación de la viscosidad con la presión	20
1.3.1.7.	Curvas de flujo en polímeros	20
1.3.1.8.	Relación entre estructuras y comportamiento durante el flujo	21
1.3.1.9.	Efecto del peso molecular	21

1.3.1.10.	Efecto de la distribución de pesos moleculares	22
1.3.1.11.	Defectos generados en el proceso de peletizado.....	22
1.3.1.12.	Problemas de plastificación	23
1.3.1.13.	Problemas de desgaste	23
1.3.1.14.	Problemas generados por temperatura.....	23
1.3.1.15.	Comportamiento durante la fusión	24
1.3.1.16.	Fusión del polímero	24
1.3.1.17.	Fusión y arrastre.....	25
1.3.1.18.	Hinchamiento del fluido a la salida de la malla.....	25
	CAPITULO II	26
2.	PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	26
2.1.	Parámetros de selección	26
2.1.1.	Construcción	26
2.1.2.	Costo	26
2.1.3.	Durabilidad.....	26
2.1.4.	Eficiencia.....	26
2.1.5.	Estabilidad.....	26
2.1.6.	Maniobrabilidad	27
2.1.7.	Mantenimiento y montaje	27
2.1.8.	Precisión.....	27
2.2.	Formulación de alternativas	27
2.2.1.	Maquinaria para la peletización	27
2.2.2.	Peletizadoras de filamento o hebras mono husillo.....	28
2.2.2.1.	Ventajas.....	29
2.2.2.2.	Desventajas	29
2.2.3.	Peletizadoras de filamento o hebras de dos husillos	29
2.2.3.1.	Ventajas.....	30
2.2.3.2.	Desventajas	30
2.2.4.	Peletizadora centrifuga.....	31
2.2.4.1.	Ventajas.....	32
2.2.4.2.	Desventajas	32
2.2.5.	Peletizadora bajo agua.....	32
2.2.5.1.	Ventajas.....	33

2.2.5.2.	Desventajas	33
2.3.	Selección de alternativas	34
2.3.1.	Evaluación de los criterios para la selección.....	34
2.4.	Análisis de los elementos y sistemas principales de la máquina seleccionada	35
2.4.1.	Análisis de tipos de cilindros de una peletizadora de filamento	36
2.4.1.1.	Sistema de camisa cilíndrica	36
2.4.2.	Análisis de los tipos de superficies internas del cilindro/camisa	38
2.4.2.1.	Cilindros/camisa con zonas lisas.....	38
2.4.2.2.	Cilindros con zonas acanaladas.....	38
2.4.2.3.	Selección de los tipos de superficies	39
2.4.3.	Análisis y selección de los tipos de husillos o tornillo de Arquímedes	39
2.4.3.1.	Parámetros para una correcta selección de un husillo/tornillo.....	40
2.4.3.1.1.	Característica en el diseño del husillo/tornillo	40
2.4.3.1.2.	Relación de longitud /diámetro (L/D)	41
2.4.3.1.3.	Ventajas de una relación L/D corta	41
2.4.3.1.4.	Ventajas de una relación L/D larga:	41
2.4.3.1.5.	Relación de compresión	42
2.4.3.1.6.	Descripción del funcionamiento de un husillo/tornillo.....	42
2.4.3.2.	Tipos de husillos/tornillo de una peletizadora.	44
2.4.3.2.1.	Husillo/tornillo de uso general	44
2.4.3.2.2.	Husillo/tornillo tipo polietileno.....	45
2.4.3.2.2.1.	Zona de alimentación o transporte	46
2.4.3.2.2.2.	Zona de transición o compresión.	46
2.4.3.2.2.3.	Zona de dosificado	48
2.4.3.2.2.3.1.	Flujo de arrastre o de fricción (QD)	49
2.4.3.2.2.3.2.	Flujo de presión o de retroceso (QP).....	49
2.4.3.2.2.3.3.	Flujo de pérdida o de fugas (Qper).....	49
2.4.3.3.	Selección del tipo de husillo	52
2.4.3.3.1.	Material de husillo y cilindro	53
2.4.4.	Análisis de la tolva de alimentación	53
2.4.4.1.	Tolva de alimentación de sección circular.	53
2.4.4.2.	Tolva de alimentación de sección rectangular	54
2.4.4.3.	Selección de la tolva de alimentación	55

2.4.5.	Análisis del plato rompedor.....	55
2.4.6.	Análisis del cabezal y dado peletizador.....	56
2.4.7.	Análisis del sistema de calentamiento.....	57
2.4.8.	Análisis del sistema de movimiento.....	57
2.4.8.1.	Análisis del motor.....	57
2.4.8.2.	Análisis de la caja reductora.....	58
	CAPITULO III.....	60
3.	CÁLCULOS DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA MÁQUINA PELETIZADORA.....	60
3.1.	Capacidad de producción de la máquina peletizadora.....	60
3.2.	Cálculo de los elementos del husillo/tornillo.....	60
3.2.1.	Altura del filete (H).....	60
3.2.2.	Altura del filete en la zona de transición.....	61
3.2.3.	Paso (P).....	62
3.2.4.	Longitud del husillo (L).....	62
3.2.5.	Ángulo del filete.....	63
3.2.6.	Ancho del canal del husillo (W).....	63
3.2.7.	Velocidad de giro del husillo (rpm).....	64
3.2.8.	Cálculo del número de filetes del husillo.....	65
3.2.9.	Resumen de parámetros geométricos calculados para el husillo.....	65
3.3.	Potencia del motor.....	66
3.3.1.	Velocidad de cortadura (γ).....	67
3.3.2.	Viscosidad Aparente (μ_a).....	67
3.3.3.	Presión (P).....	67
3.3.4.	Flujo de fricción o arrastre (Q_f).....	68
3.3.5.	Flujo de presión o retroceso (Q_P).....	69
3.3.6.	Flujo total (Q_T).....	69
3.3.7.	Potencia en base al flujo (P_F).....	70
3.3.8.	Pérdidas por instalaciones eléctricas (Z_e).....	71
3.3.9.	Pérdidas en motores y generadores (Z_m).....	71
3.4.	Selección de bandas y poleas.....	73
3.4.1.	Potencia de diseño (P_D).....	73
3.4.1.1.	Potencia de diseño en Hp	74

3.4.2.	Selección de bandas en “V”	74
3.4.3.	Velocidad tangencial del husillo	74
3.4.4.	Diámetro de las poleas y relación de velocidades.....	75
3.4.4.1.	Diámetro de la polea conductora (d_1).....	75
3.4.4.2.	Relación de velocidades angulares.....	76
3.4.4.3.	Diámetro de la polea conducida (d_2).....	76
3.4.5.	Características de la banda seleccionada.....	78
3.4.5.1.	Distancia mínima entre centros (C).....	78
3.4.5.2.	Longitud de bandas (Lb)	78
3.4.5.3.	Números de bandas (Nb).....	79
3.4.5.4.	Potencia nominal de cada banda (Pn)	80
3.4.5.5.	Factor de corrección por ángulo de abrazamiento	80
3.4.5.6.	Factor de corrección por longitud	80
3.4.5.7.	Cálculo de las fuerzas ortogonales en la polea.....	81
3.4.6.	Torque	85
3.5.	Peso del husillo	86
3.5.1.	Volumen del alma del husillo	86
3.5.2.	Volumen de los filetes en cada zona.....	87
3.5.2.1.	Zona de alimentación	89
3.5.2.2.	Zona de transición	90
3.5.2.3.	Zona de dosificación	92
3.5.2.4.	Volumen del muñón.....	94
3.6.	Diámetro del cilindro/camisa	95
3.6.1.	Masa del cilindro/camisa.....	97
3.7.	Diseño de la garganta de alimentación.....	99
3.8.	Diseño del cabezal.....	100
3.8.1.	Presión máxima zona de dosificación	100
3.8.2.	Caída de presión en la malla	101
3.8.3.	Caída de presión porta malla.....	104
3.8.3.1.	Diámetro del porta malla.....	105
3.8.4.	Caída de presión dado	106
3.9.	Diseño del husillo.....	109
3.9.1.	Diagrama de momentos.....	112

3.9.2.	Diseño del husillo por efecto de torsión.....	116
3.9.2.1.	Inercia polar para un eje macizo	118
3.9.2.2.	Inercia (J_p)	119
3.9.2.3.	Esfuerzo cortante máximo ($T_{máx}$)	119
3.9.2.4.	Ángulo de torsión (α)	120
3.9.3.	Factor de seguridad estático (N_s).....	121
3.9.4.	Factor de seguridad dinámico (N_d).....	125
3.9.4.1.	Límite de resistencia a la fatiga en vigas rotatorias (Se').....	127
3.9.4.2.	Factor de modificación de la condición superficial (K_a).....	127
3.9.4.3.	Factor de modificación del tamaño (K_b).....	128
3.9.4.4.	Factor de modificación de carga (K_c)	128
3.9.4.5.	Factor de modificación a la temperatura (K_d).....	129
3.9.4.6.	Factor de confiabilidad (K_e).....	129
3.9.4.7.	Factor de modificación de efectos varios (K_f)	130
3.9.5.	Comprobación de esbeltez	131
3.9.5.2.	Longitud efectiva (KL).....	132
3.9.5.3.	Radio de giro	133
3.9.5.4.	Razón de esbeltez KL/r	133
3.9.5.5.	Diámetro necesario para una columna larga	135
3.9.5.6.	Deflexión del husillo	136
3.10.	Diámetro de la sección dónde va ubicado el chavetero.	137
3.10.1.	Diseño de chavetas	139
3.10.1.1.	Material de las cuñas o chavetas.....	140
3.10.1.2.	Chaveta para el husillo.....	140
3.10.1.3.	Dimensiones de la cuña o chaveta	141
3.10.1.3.1.	Altura de la cuña o chaveta	141
3.10.1.3.2.	Longitud de la cuña o chaveta.....	141
3.10.1.3.3.	Resistencia al corte.....	141
3.10.1.3.4.	Resistencia al aplastamiento o apoyo.....	143
3.10.1.4.	Verificación del factor de seguridad	144
3.10.1.5.	Chaveta para la polea conductora	146
3.10.1.6.	Chaveta para la polea conducida.	146
3.11.	Diseño del eje motriz	146

3.11.1.	Material de eje motriz	147
3.11.2.	Elementos del eje motriz.....	147
3.11.3.	Cargas en el eje	148
3.11.3.1.	Cálculo del peso de la brida.....	148
3.11.3.2.	Pernos de la brida.....	149
3.11.3.3.	Perforaciones de alojamiento.....	150
3.11.3.4.	Peso de la brida.....	151
3.11.4.	Diagrama de momento flector del eje motriz.....	153
3.11.5.	Diámetro mínimo del eje motriz	158
3.12.	Transmisión de movimiento brida – eje motriz	161
3.12.1.	Estrías.....	162
3.13.	Rodamientos.....	163
3.13.1.	Selección de rodamientos.....	164
3.13.2.	Cargas sobre los rodamientos	164
3.13.3.	Rodamientos (d) sollicitación estática.....	165
3.13.4.	Rodamientos (d) sollicitación dinámica.....	166
3.13.5.	Rodamientos (c) sollicitación dinámica	170
3.13.6.	Ajuste de los rodamientos	172
3.13.7.	Elección de tolerancias y ajustes.....	172
3.13.8.	Tolerancia de los alojamientos.....	172
3.13.9.	Tolerancia de los ejes	172
3.13.10.	Ajustes	173
3.13.11.	Lubricación y mantenimiento	173
3.13.11.1.	Lubricación con grasa	173
3.13.11.2.	Lubricación con aceite	173
3.14.	Rosca del cilindro.....	174
3.14.1.	Selección del tipo de rosca.....	174
3.14.2.	Ajustes para roscas	175
3.15.	Diseño de tornillos	175
3.15.1.	Tornillos de unión	176
3.15.2.	Resistencia de los pernos	177
3.15.3.	Tornillos para la brida y porta malla inferior.....	177
3.15.4.	Pernos para porta malla frontal.	183

3.15.5.	Pernos para la brida del eje motriz y la caja reductora	185
3.15.6.	Tornillo de potencia	190
3.16.	Cálculo de uniones soldadas	192
3.16.1.	Soldadura eléctrica	192
3.16.2.	Electrodo revestido.....	193
3.16.3.	Clasificación de los electrodos.....	193
3.16.3.1.	Electrodo 6011	194
3.16.3.2.	Electrodo 7018.....	194
3.16.4.	Uniones soldadas de elementos de la máquina	195
3.16.4.1.	Peso del cabezal (W_c)	195
3.16.4.1.1.	Masa porta malla inferior	196
3.16.4.1.2.	Masa porta malla frontal	196
3.16.4.1.3.	Masa de la malla.....	197
3.16.4.1.4.	Masa del dado	197
3.16.4.2.	Peso del cilindro y husillo (W_{ch}).....	198
3.16.4.3.	Peso de la funda (W_f)	198
3.16.4.4.	Cálculo de la unión soldada –apoyo 1 a la base	201
3.16.4.5.	Cálculo de la unión soldada- funda.....	205
3.16.4.5.1.	Cortante primario (τ').....	206
3.16.4.5.2.	Cortante secundario (τ'').....	207
3.16.4.6.	Cálculo de la unión atortillada del apoyo 2	209
3.17.	Diseño tolva de alimentación	212
3.18.	Diseño de la estructura	217
3.18.1.	Selección del tipo de tubo estructural	217
3.18.1.1.	Longitud efectiva	218
3.18.1.2.	Radio de giro.....	218
3.18.1.3.	Razón de esbeltez KL/r	219
3.19.	Calefacción y regulación de temperatura.....	222
3.19.4.	Potencia de los calefactores	223
3.19.4.2.	Balance energético en el estado transitorio.....	223
3.19.4.2.1.	Cálculo del coeficiente de transferencia de calor.....	228
3.19.4.2.1.1.	Determinación del coeficiente de convección.....	228
3.19.4.2.1.2.	Determinación del coeficiente de radiación	231

3.19.4.2.2.	Selección de la potencia de los calefactores	233
3.19.4.2.3.	Determinación de la intensidad de corriente eléctrica	235
3.19.4.2.3.1.	Determinación del coeficiente de convección zona de alimentación...	235
3.19.4.2.3.2.	Determinación coeficiente de radiación de la zona de alimentación ...	238
3.19.4.2.3.3.	Determinación del coeficiente de convección zona de transición	239
3.19.4.2.3.4.	Determinación del coeficiente de radiación de la zona de transición ..	241
3.19.4.2.3.5.	Determinación del coeficiente de convección zona de dosificado.....	242
3.19.4.2.3.6.	Determinación del coeficiente de radiación de la zona de dosificado .	245
3.19.4.2.4.	Potencia calorífica.....	246
3.19.4.2.4.1.	Potencia calórica zona de alimentación.....	246
3.19.4.2.4.2.	Potencia calórica zona de transición.....	248
3.19.4.2.4.3.	Potencia calórica zona de dosificación.....	249
3.19.4.3.	Balance energético en el estado estable.....	251
3.19.4.3.1.	Estimación de las pérdidas de calor	252
3.19.4.3.2.	Pérdidas por conducción	253
3.19.4.3.3.	Pérdidas por radiación.....	253
3.19.4.3.3.1.	Pérdidas por radiación zona de alimentación	253
3.19.4.3.3.2.	Pérdidas por radiación zona de transición	254
3.19.4.3.3.3.	Pérdidas por radiación zona de dosificación	254
3.19.4.3.4.	Pérdidas por convección	255
3.19.4.3.4.1.	Pérdidas por convección zona de alimentación.....	255
3.19.4.3.4.2.	Pérdidas por convección zona de transición.....	256
3.19.4.3.4.3.	Pérdidas por convección zona de dosificado.....	256
3.19.4.3.5.	Incremento de la energía interna del polímero.....	257
3.19.4.3.5.1.	Incremento de energía de la zona de alimentación.....	257
3.19.4.3.5.2.	Incremento de energía de la zona de transición.....	258
3.19.4.3.5.3.	Incremento de energía de la zona de dosificado.....	258
3.19.4.3.6.	Determinación de la intensidad de corriente eléctrica	259
3.19.4.3.6.1.	Intensidad de corriente eléctrica zona de alimentación	259
3.19.4.3.6.2.	Intensidad de corriente eléctrica zona de transición.....	261
3.19.4.3.6.3.	Intensidad de corriente eléctrica zona de dosificado.....	262
3.19.4.4.	Caja de control.....	264
3.19.4.4.1.	Sistemas eléctricos	264

3.19.4.4.2.	Resistencia tipo abrazadera	265
3.19.4.4.3.	Termo cupla tipo J.....	265
3.19.4.4.4.	Pirómetro análogo	266
3.19.4.4.5.	Amperímetro	267
	CAPITULO IV	268
4.	COSTOS DE FABRICACIÓN	268
4.1.	Estudio del mercado	268
4.2.	Estudio de la oferta y la demanda	268
4.2.1.	Oferta.....	268
4.2.2.	Demanda	269
4.2.2.1.	Demanda insatisfecha por producción nacional.....	269
4.2.3.	Estudio técnico de la máquina peletizadora	269
4.2.3.1.	Localización del proyecto	269
4.2.3.2.	Determinación del tamaño	270
4.2.3.3.	Ingeniería del proyecto.....	270
4.2.3.4.	Dotación de insumos	270
4.2.3.5.	Identificación del impacto ambiental	270
4.2.3.6.	Personal requerido.....	271
4.3.	Análisis de costos	271
4.3.1.	Costos por fabricación.....	271
4.3.1.1.	Costos directos	272
4.3.1.1.1.	Materia prima para la construcción.....	272
4.3.1.1.2.	Materiales directos (Comprados)	275
4.3.1.1.2.1.	Mano de obra directa.....	277
4.3.1.1.2.2.	Costos de la máquina herramienta	277
4.3.1.1.2.3.	Costos de hora máquina (H-M) y hora hombre (H-H).....	279
4.3.1.2.	Costo por carga fabril.....	281
4.3.2.	Costos por diseño	282
	CAPITULO V	283
5.	MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD DE LA MÁQUINA.....	283
5.1.	Plan de mantenimiento de la peletizadora.....	283
5.1.1.	Chequear el aceite	283
5.1.2.	Ruidos inusuales	284

5.1.3.	Monitoreo de Vibraciones.....	284
5.1.4.	Motores y Bandas.....	285
5.1.5.	Partes Sueltas	286
5.1.6.	Husillo y Cilindro.....	286
5.2.	Plan de Mantenimiento Integral de la peletizadora.....	287
5.2.1.	Check list Mensual.....	287
5.2.2.	Check list Cuatrimestral.....	289
5.2.3.	Check list Anual.....	290
5.3.	Sugerencias de seguridad en operación.....	292
5.3.1.	Calor.....	293
5.3.2.	Partes Móviles.....	293
5.3.3.	Electricidad	294
5.3.4.	Pesos.....	294
5.3.5.	Presión.....	294
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	295
	Conclusiones	295
	Recomendaciones.....	296
	GLOSARIO	297
	SIMBOLOGÍA.....	300
	BIBLIOGRAFIA	304

ANEXOS

ANEXO A: CRONOGRAMA

ANEXO B: PLANO GENERAL Y CIRCUITO ELÉCTRICO

ANEXO C: DESPIECE

ANEXO D: PROPIEDADES DEL LDPE

ANEXO E: ELEMENTOS DE LA MÁQUINA

ANEXOS F: TABLAS Y DIAGRAMAS

ANEXO G: CHECK LIST DE LA MÁQUINA

ANEXO H: PROTOCOLO DE PRUEBAS

ANEXO I: FOTOGRAFÍAS DE LA MÁQUINA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Variables dependiente e independientes	ix
Tabla 1. 2 Propiedades térmicas LDPE	9
Tabla 1. 3 Valores aproximados de viscosidad de cizalla para diversos materiales..	15
Tabla 2. 1 Cuadro comparativo de alternativas.....	35
Tabla 3. 1 Resumen de parámetros	66
Tabla 3. 2 Equivalencia aproximada entre los grados.....	177
Tabla 3. 3 Resumen de la selección de potencia de los calefactores	234
Tabla 3. 4 Resumen de los coeficientes de radiación.....	245
Tabla 3. 5 Resumen de la potencia calórica.....	251
Tabla 3. 6 Resumen de pérdidas por radiación	255
Tabla 3. 7 Resumen de pérdidas por convección.....	257
Tabla 3. 8 Resumen de incremento de energía	259
Tabla 3. 9 Resumen de intensidad de corriente eléctrica.....	263
Tabla 4. 1 Personal empleado para el proceso de peletizado.....	271
Tabla 4. 2 Costo de materia prima	274
Tabla 4. 3 Costo de materiales directos	276
Tabla 4. 4 Costo de mano de obra directa.....	277
Tabla 4. 5 Costo de máquinas herramientas	278
Tabla 4. 6 Costo de hora máquina (H-M) y hora hombre (H-H).....	280
Tabla 4. 7 Resumen de costos directos	281
Tabla 4. 8 Costos indirectos por carga fabril	281
Tabla 4. 9 Costos directos por carga fabril	282
Tabla 4. 10 Resumen del costo total del proyecto	282

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Ubicación de la empresa PLASTIVAS	x
Figura 1. 2 Representación de pellets	2
Figura 1. 3 Fórmula estructural de polietileno.	3
Figura 1. 4 Molécula de polietileno ramificado o LDPE	7
Figura 1. 5 Simbología del polietileno de baja densidad	8
Figura 1. 6 Obtención del polietileno de baja densidad	10
Figura 1. 7 Métodos comerciales en la producción del LDPE.....	12
Figura 1. 8 Importaciones de plástico en el Ecuador.	13
Figura 1. 9 Experimento de Newton.	14
Figura 1. 10 Tipo de fluido según su comportamiento Reológico.....	16
Figura 1. 11 Variación de viscosidad con la velocidad de deformación.....	17
Figura 1. 12 Variación de la viscosidad con el tiempo de aplicación de la cizalla. ...	18
Figura 1. 13 Dependencia de la viscosidad de distintos polímeros con la temperatura PMMA, PVC, LDPE, PP, PA.	19
Figura 1. 14 Curva de flujo típica de polímeros fundidos.	20
Figura 1. 15 Representación gráfica de una cadena en equilibrio.....	21
Figura 1. 16 Efecto peso molecular del polímero en la viscosidad a bajas cizallas..	22
Figura 1. 17 Inicio del proceso de fusión del polímero en el peletizado.	24
Figura 2. 1 Peletizadoras monohusillo.	28
Figura 2. 2 Peletizadoras doble husillo	30
Figura 2. 3 Peletizadora centrífuga	31
Figura 2. 4 Peletizadora bajo agua	33
Figura 2. 5 Esquema de camisa cilíndrica.....	36
Figura 2. 6 Sistema cilindro de calefacción	37
Figura 2. 7 Cilindro con zona de ventilado	37
Figura 2. 8 Sección transversal de las zonas de alimentación acanaladas	39
Figura 2. 9 Ejemplo de tornillos para diferentes fines.	40
Figura 2. 10 Zonas de trabajo de un husillo.	43
Figura 2. 11 Zonas de un husillo, evolución de la presión a lo largo de las mismas.	43
Figura 2. 12 Características del husillo tipo polietileno.....	45

Figura 2. 13 Corte transversal del husillo en la zona de transición.....	47
Figura 2. 14 Ancho del pozo de fundido a lo largo de la zona de transición.	48
Figura 2. 15 Perfil de velocidades originado por el flujo de arrastre.....	50
Figura 2. 16 Perfil de velocidades debido al flujo de presión.....	50
Figura 2. 17 Perfil de velocidad del flujo total.....	51
Figura 2. 18 Tolva de alimentación de sección circular.....	54
Figura 2. 19 Tolva de alimentacion de seccion rectangular.....	54
Figura 2. 20 Plato rompedor.....	56
Figura 2. 21 Esquema de un cabezal.....	56
Figura 2. 22 Esquema de un dado peletizador en funcionamiento	57
Figura 2. 23 Esquema de un motor eléctrico.....	58
Figura 2. 24 Esquema de una caja reductora.....	59
Figura 3. 1 Altura del filete en cada zona del husillo.....	61
Figura 3. 2 Ancho del canal	64
Figura 3. 3 Esquema de las tensiones en la polea del rotor	81
Figura 3. 4 Diagrama del husillo con la variación del diámetro	87
Figura 3. 5 Diferencia de longitud en cada zona del husillo.....	88
Figura 3. 6 Longitud del filete.....	88
Figura 3. 7 Sección del filete.....	89
Figura 3. 8 Sección transversal del cilindro.	96
Figura 3. 9 Vista superior de la garganta de alimentación.....	99
Figura 3. 10 Vista frontal de la malla.....	102
Figura 3. 11 Vista frontal del dado peletizador.....	106
Figura 3. 12 Caída de presión en el cabezal.....	109
Figura 3. 13 Diagrama del husillo.....	110
Figura 3. 14 Cargas y reacciones	111
Figura 3. 15 Diagrama de momento flector	116
Figura 3. 16 Barra circular maciza sometida a torsión pura	117
Figura 3. 17 Diagrama de un cuñero o chaveta.....	140
Figura 3. 18 Vistas de la chaveta diseñada	143
Figura 3. 19 Eje motriz.....	147
Figura 3. 20 Cargas en el eje motriz	148
Figura 3. 21 Brida del eje motriz	149

Figura 3. 22 Distribución de cargas	153
Figura 3. 23 Diagrama del eje flector.....	158
Figura 3. 24 Diagrama de una estría	162
Figura 3. 25 Rosca externa.....	174
Figura 3. 26 Tornillos y pernos de unión	176
Figura 3. 27 Pernos para bridas y porta malla inferior.....	178
Figura 3. 28 Circulo de Mohr.....	182
Figura 3. 29 Diagrama del cabezal.....	184
Figura 3. 30 Dimensiones de las placas separadoras	185
Figura 3. 31 Distancia de la fuerza tangencial	186
Figura 3. 32 Dimensiones del tornillo de potencia	190
Figura 3. 33 Esquema de soldadura eléctrica.....	193
Figura 3. 34 Vista frontal de la peletizadora	195
Figura 3. 35 Vistas de la funda	199
Figura 3. 36 Diagrama de cuerpo libre.....	200
Figura 3. 37 Apoyo 1 en forma de luneta	201
Figura 3. 38 Carga distribuida y corte transversal de la funda.....	206
Figura 3. 39 Apoyo 2 Atornillada	209
Figura 3. 40 Tolva de alimentación	212
Figura 3. 41 Sección lateral de la tolva	214
Figura 3. 42 Perfil estructural C.....	217
Figura 3. 43 Sistema de análisis para el balance energético estado transitorio	223
Figura 3. 44 Sistema de balance energético en estado estable.....	252
Figura 3. 45 Sistema análisis para el balance energético de intensidad de corriente.....	259
Figura 3. 46 Caja eléctrica	264
Figura 3. 47 Resistencia tipo abrazadera.....	265
Figura 3. 48 Termo cupla tipo J	265
Figura 3. 49 Pirómetro análogo.....	266
Figura 3. 50 Amperímetro.....	267

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico ha sido realizado en su totalidad por los señores: Bayron Rolando Cumbajin Arguero y Marco Antonio Vásquez Lema.

Los conceptos desarrollados, análisis, cálculos realizados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Atentamente:

ING. OLGHER PÉREZ
DIRECTOR DE TESIS

DECLARACIÓN

Nosotros, BAYRON ROLANDO CUMBAJIN ARGUERO y MARCO ANTONIO VÁSQUEZ LEMA, declaramos bajo nuestro juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

(f)

Bayron Rolando Cumbajin Arguero

(f)

Marco Antonio Vásquez Lema

DEDICATORIA

Al final de mis estudios universitarios dedicó el presente trabajo a todas las personas que a lo largo de toda mi carrera supieron apoyarme incondicionalmente sin dudar ni un segundo cuando necesité que me brinden su ayuda, pero especialmente a mi madre María Georgina quien con su esfuerzo, dedicación, paciencia y amor supo guiarme y alentarme a conseguir mis objetivos, levantarme cuando existieron reveses y dificultades en el largo camino de mi vida y enseñarme el valor de la constancia para ser una mejor persona cada día.

A mi padre Angel Eduardo, por todos sus consejos y enseñanzas, por inculcarme valores de humildad y sencillez.

A mis hermanos Patricio y Christian, por ser una parte importante en mi vida, su compañía y su aliento han sido fundamentales para culminar este sueño.

A mis familiares tanto Paternos y Maternos, que siempre confiaron en mi capacidad y brindaron palabras de aliento para culminar este proyecto.

Bayron Rolando

Quiero dedicar esta tesis a todos quienes hicieron posible el cumplimiento de mis ideales y metas; a Dios por guiarme en el camino de la sabiduría, a mis padres Beatriz Lema, Juan Vásquez y hermanos por haberme brindado su apoyo, fuerza y comprensión para alcanzar mis sueños. A mi esposa Jessica y a mí adorada hija Adabel, quienes me acompañaron para forjarme como un profesional.

Marco Antonio

AGRADECIMIENTO

Agradecemos primero a Dios por darnos la sabiduría y paciencia para conseguir nuestras metas y hacer que día a día crezcamos como personas íntegras.

A nuestras familias por ser la razón de alcanzar todos nuestros ideales.

A nuestra querida Universidad Politécnica Salesiana campus Kennedy, especialmente a la Facultad de Ingeniería Mecánica por acogernos en sus aulas y brindarnos una educación de excelencia.

A nuestros amigos y compañeros de carrera por brindarnos su apoyo para seguir con pasos firmes hacia los objetivos planteados.

A nuestro Director de tesis Ing. Olger Pérez, por todos los sus conocimientos impartidos y el estímulo para culminar de la mejor manera este proyecto.

Y un agradecimiento especial a la empresa “PLASTIVAS” por confiar en nuestros conocimientos y auspiciar el diseño y la construcción de la máquina peletizadora.

INTRODUCCIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

PLASTIVAS es una microempresa relacionada a la reutilización de plástico, con 10 años de vigencia en el mercado, con gran acogida de sus productos. Convirtiéndose en una marca de prestigio y calidad lo que le ha llevado a ser dueña de la concesión de desechos y residuos plásticos de la empresa Ferrero Ecuador, que cuenta con una cantidad mensual de 4.5 toneladas cúbicas de polietileno de baja densidad.

En la actualidad se subcontrata el proceso de peletizado a otra empresa ya que PLASTIVAS no cuenta con una máquina procesadora de LDPE. Por lo cual es necesaria la implementación de un sistema electromecánico que permita el procesamiento de esta materia prima, la misma que será utilizada en las diferentes líneas de producción que posee la empresa extrusión e inyección de plástico.

JUSTIFICACIÓN

El polietileno de baja densidad es un polímero de la familia de los polímeros olefínicos como el polipropileno y los polietilenos, posee unas características muy versátiles, una obtención de bajo costo y por tal motivo es fácil su reproceso y reutilización.

Una máquina peletizadora de pequeña capacidad de producción es una necesidad que presenta la empresa auspiciadora, ya que se necesita cantidades pequeñas de LDPE en forma de pellets para el consumo interno.

Con la construcción de la máquina peletizadora se cubrirá con la necesidad que tiene la misma ya que al momento se subcontrata el proceso, este tipo de pellet es solo rentable obtenerlo al por mayor, 50 o más toneladas mensuales para aminorar costos, lo cual no se aplica para micro empresas; cuya demanda es pequeña, de 5 a 20 toneladas mensuales, en relación a productores con un alto consumo de pellet.

Se propuso el diseño de una máquina pequeña de 4 toneladas cúbicas mensuales de LDPE para satisfacer la necesidad de la empresa PLASTIVAS, otorgándoles al mismo tiempo una total autonomía para realizar el proceso en cualquier momento, sin dependencia del producto por parte de terceros.

ALCANCE

- Diseñar una máquina peletizadora de LDPE, con una capacidad de 25 kg/hr, y una producción mensual de 4 toneladas cúbicas de pellets.
- Se recopilará toda la información necesaria del polietileno de baja densidad, sus propiedades físicas, mecánicas y térmicas, para generar las especificaciones técnicas.
- Se realizará el diseño y construcción de la máquina con las características y especificaciones establecidas por el cliente.
- Se elaborará planos de conjunto y despiece de la máquina, para su posterior construcción.
- Se realizará el análisis económico y la viabilidad de la construcción de la máquina.
- Construcción de la máquina peletizadora de LDPE.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir una máquina peletizadora de polietileno de baja densidad, con una capacidad de 25 Kg/hr, mediante un sistema electromecánico, para la empresa “PLASTIVAS”.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar las propiedades mecánicas y físicas del polietileno de baja densidad obteniendo las características y datos necesarios para el desarrollo del diseño.
- Realizar los cálculos de diseño para obtener una base en la construcción y fabricación de la máquina peletizadora.
- Elaborar los planos de construcción de la máquina con sus respectivas especificaciones.
- Realizar un estudio económico que permita establecer la viabilidad en la construcción de los elementos, mecanismos y sistemas diseñados.

HIPÓTESIS

Con el diseño y construcción de la máquina peletizadora, con un sistema electromecánico, se obtendrá 25 kg/h de polietileno de baja densidad, con un rango de tolerancia de 2 kg.

VARIABLE

“Objeto, proceso o característica que está presente, en el fenómeno que un científico o investigador quiere estudiar. Los objetos, procesos o características reciben el

nombre de variables en la medida en que su modificación provoca un cambio en otro objeto, proceso o característica”¹.

Variable independiente

Es aquella característica o propiedad que se supone ser la causa del fenómeno estudiado, en investigación experimental se llama así, a la variable que el investigador manipula.

Variable dependiente

“El objeto, proceso o característica a estudiar y que modifica su estado con la modificación de la variable independiente (es decir que depende de ella y que en esa medida es un efecto) se llama variable dependiente”². Ver tabla 1.1.

VARIABLES		
Variable Independiente	Variable Dependiente	Indicador
Diseño	Tamaño Forma Utilización Espacio físico	Funcionabilidad
Costo	Diseño Materia prima Mano de obra Depreciación Mantenimiento	Presupuesto
Seguridad	Salud contaminación	Reutilización de LDPE

Tabla 1. 1 Variables dependiente e independientes

Fuente: GARZA, Mercado Ario, Manual técnicas de investigación, (México,1979)

¹ GARZA, Mercado Ario, *Manual de técnicas de investigación*, México, DF. 1979, P. 12.

² GARZA, Mercado Ario, Op.Cit, P.12

LOCALIZACIÓN

La empresa “PLASTIVAS” auspiciadora del proyecto se encuentra ubicada en la zona industrial, panamericana sur Km 16 lote S63-57 Sector de Cutuglagua. Ver figura 1.1.



Figura 1. 1 Ubicación de la empresa PLASTIVAS

Fuente: <http://www.google.com>

METODOLOGÍA.

Método Científico

“Implica un conjunto de pasos fijados de antemano, con el fin de alcanzar conocimientos válidos mediante instrumentos confiables”³.

³CARVAJAL, Lizardo, *Metodología de la investigación*, Edit. Futuro, Cali, 1994, Cap. III, P. 122

Con la ejecución y aplicación del cronograma de actividades se podrá desarrollar cada uno de los capítulos en el tiempo estimado. La aplicación de este método se verá reflejada en los capítulos I, II, III, IV, V.

Método bibliográfico

“El método de investigación bibliográfica, es el sistema que se sigue para obtener información contenida en documentos”⁴. La estrategia será encontrar, identificar, y acceder aquellos documentos que contienen las normas, especificaciones, y propiedades pertinentes para la investigación.

Este método será aplicado en los capítulos I, II, III, V, el cuál la fuente bibliográfica es la base para el desarrollo de cada capítulo obteniendo información detallada de cada punto a tratar en el respectivo proyecto.

Método Analítico

“Es aquel método de investigación, que consiste en la desmembración de un todo, descomponiendo en sus partes o elementos para observar las causas, naturaleza, y efectos”⁵.

Conocer el funcionamiento de cada uno de los elementos, con el cual se puede explicar, hacer analogías, comprender de mejor forma su comportamiento, manejo; y así establecer nuevas teorías dando inicio a la investigación de posibles ventajas que pueden permitir una mejor ejecución del diseño.

El método mencionado se utilizará en el desarrollo del capítulo III para el desarrollo del diseño de cada uno de los componentes, con ello obtendremos resultados que serán decisivos en la selección de los materiales.

⁴ VAN-DALEN Y MEYER, *Manual de Técnicas de la Investigación Educativa*, Edit. Paidòs, Buenos Aires, 1981. Cap. IV, P. 220

⁵ VAN-DALEN Y MEYER, Op.Cit, P. 221

Método Teórico

Permite revelar las relaciones esenciales del objeto de investigación, son fundamentales para la comprensión de los hechos.

Con la elaboración de planos, se determinará las dimensiones y características que comprenden una máquina peletizadora.

La aplicación de este método se ve reflejada en los capítulos II y III conociendo los conceptos fundamentales para aplicarlos en el diseño en general del proyecto.

Método Matemático

"Los resultados científicos más importantes han sido alcanzados por hombres que no estaban interesados en problemas metodológicos"⁶.

Con el método matemático se podrá obtener resultados e interpretarlos para la selección de la geometría, material a utilizar y su comportamiento en la aplicación de cada uno de ellos.

El desarrollo del método se lo tomará en el capítulo III ya que con ello se podrá determinar los valores de parámetros técnicos que requiere el proyecto para su posterior construcción.

⁶ ASTIVERA, Armando, *Metodología de la Investigación*, Edit. Kapelusk, Cap. III, Buenos Aires, 1073, P156

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Generalidades

1.1.1. Peletizadora del plástico

“Es transformar materia en esferas o cilindros pequeños de modo de conseguir un menor volumen, forzando el paso de un plástico o material fundido, por medio de presión, a través de una malla”⁷.

En el procedimiento original para someter los polímeros a peletización, se utilizan máquinas similares impulsadas por un ariete o empujadores mecánicos.

1.1.2. Peletización

La peletización es el término usado para el proceso de cortado del plástico en pequeñas piezas de flujo libre. Los métodos incluyen dos variaciones, llamadas peletización en caliente y peletización en frío.

1.1.2.1. Peletización en frío

“En la peletización en frío, el plástico ya plastificado primero es enfriado y luego de que este ya está frío, es cortado en pequeñas piezas (pellets)”⁸.

La desventaja de este método de peletización en frío es que en la operación de corte, este deja crestas en las piezas resultantes, lo que causa que las piezas se atasquen

⁷ <http://es.scribd.com/doc/59470391/32/maquina-peletizadora>.

⁸ <http://www.bliss-industries.com/system/resources/0000/0047/speltml.pdf>

fácilmente, lo que a su vez les impide fluir tan libremente como las que son resultantes de una peletización en caliente.

1.1.2.2. Peletización en caliente

En la peletización en caliente, el plástico es plastificado, el material es forzado a salir a través de un plato perforado, que sirve como el dado de la peletizadora. Las hebras de plástico que van emergiendo, son cortadas por una cuchilla, y las piezas resultantes son enfriadas por aire o por agua.

Una ventaja de este método de peletización es que las piezas, al ser cortadas mientras que todavía están calientes, desarrollan una forma libre de crestas y aristas, que les permite fluir con más libertad.

1.1.2.3. Pellets

Pellet como se muestra en la figura 1.2 es una denominación genérica, utilizada para referirse a pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido.



Figura 1. 2 Representación de pellets

Fuente: http://www.alibaba.com/produtfree/11066448/Recycled_HDPE_Pellets.html

El término es utilizado para referirse a diferentes materiales. En español suele utilizarse con los siguientes significados:

- Pellet maderero: pequeñas porciones de aserrín comprimido utilizadas como combustible.
- Pellet alimenticio: las porciones en las que suele presentarse el alimento balanceado para animales.
- Pellet plástico: pequeñas concentraciones de resina.
- En los procesos de centrifugado, se denomina "pellet" al material sedimentado.

1.2. Material a procesar

1.2.1. Polietileno

“El polietileno es químicamente el polímero más simple. Se representa con su unidad repetitiva (PE) es uno de los plásticos más comunes, es químicamente inerte. Por la polimerización de etileno pueden obtenerse productos con propiedades físicas muy variadas”⁹. Estos productos tienen en común la estructura química fundamental (-CH₂-CH₂-)_n, como se muestra en la figura 1.3, y en general tienen propiedades químicas de un alcano de peso molecular elevado.

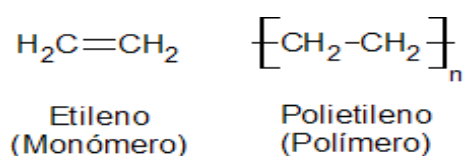


Figura 1. 3 Fórmula estructural de polietileno¹⁰.

Fuente: <http://www.textoscientificos.com/polimeros/polietileno>

⁹ YUFERA. Eduardo, *Química orgánica básica y aplicada de la molécula a la industria*. Volumen 1, Editorial Reverte, Valencia, 1996, P. 174

¹⁰ <http://www.textoscientificos.com/polimeros/polietileno/estructura>

1.2.1.1. Estructura química del polietileno

El análisis del polietileno (C, 85.7%; H, 14.3%) corresponde a la fórmula empírica $(CH_2)_n$, resultante de la polimerización por adición del etileno.

La estructura de un polietileno típico difiere de la de un alcano de cadena recta en que es de cadena ramificada y contiene grupos olefínicos de tres tipos (por lo menos).

1.2.1.2. Propiedades del polietileno

“El polietileno de alto peso molecular es un sólido blanco y translúcido. En secciones delgadas es casi del todo transparente. A las temperaturas ordinarias es tenaz y flexible y tiene una superficie relativamente blanda que puede rayarse con la uña”¹¹.

1.2.1.2.1. Propiedades mecánicas - Cristalinidad

Varias propiedades son directamente afectadas por la cristalinidad y en consecuencia por el grado de ramificación. Son ejemplo la dureza, el punto de reblandecimiento y el punto de cedencia por la tracción.

En (Anexo D; Tabla D-1); se deduce que “al aumentar la ramificación de la cadena, disminuye la densidad del polietileno y su grado de cristalinidad”¹².

1.2.1.2.2. Propiedades térmicas

- Puede soportar temperaturas de hasta 80 °C, sin someterlo a grandes exigencias mecánicas.
- Soporta temperaturas de hasta -20 °C sin romperse.
- Conductividad térmica muy baja.

¹¹ YUFERA. Eduardo, Op. Cit. P. 175

¹² PRIBBLE. Dubois, *Enciclopedia de la química industrial*, Tomo 5, Editorial Bilbao, 1972, P. 555

1.2.1.2.3. Propiedad de desplazamiento.

“Tiene propiedades auto lubricantes, especialmente en la fricción seca deslizando con metales, tales como: acero, latón, cobre. Valor medio del coeficiente de fricción: 0.25”¹³.

1.2.1.3. Características del polietileno

“Las características técnicas del polietileno son, elasticidad, alargamiento a la rotura, densidades, fricción, resistencia a la rotura al impacto, a la tracción, y temperatura máxima y mínima de trabajo”¹⁴.

1.2.1.3.1. Viscosidad – Característica reológica

“La viscosidad junto con la dispersión de peso molecular una de las características más importantes a la hora de la caracterización. La viscosidad del polietileno fundido disminuye a medida que aumenta la temperatura; se reduce aproximadamente a la mitad por un aumento, en la temperatura”¹⁵.

1.2.1.4. Clasificación del polietileno con base a su densidad

Antiguamente llamado "Polimetileno", el polietileno pertenece al grupo de los polímeros de las poliolefinas, que provienen de alquenos (hidrocarburos con dobles enlaces). Son polímeros de alto peso molecular y poco reactivo debido a que están formados por hidrocarburos saturados.

Los polietilenos se clasifican principalmente en base a su densidad (de acuerdo al código ASTM) como¹⁶:

¹³ YUFERA. Eduardo, Op. Cit. P. 180

¹⁴ <http://www.quiminet.com/articulos/clasificacion-del-polietileno-con-base-a-su-densidad-42682.htm>

¹⁵ PRIBBLE. Dubois. Op. Cit. P. 560

¹⁶ <http://www.plasticbages.com/caracteristicaspoliopileno.html>

- Polietileno de Baja Densidad (PEBD o LDPE)
- Polietileno Lineal de Baja Densidad (PELBD o LLDPE)
- Polietileno de Alta Densidad (PEAD o HDPE)
- Polietileno de Alta Densidad Alto Peso Molecular (HMW-HDPE)
- Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (UHMWPE)

Si la densidad del polietileno aumenta, aumentan también propiedades como la rigidez, dureza, resistencia a la tensión, resistencia a la abrasión, resistencia química, punto de reblandecimiento e impacto a bajas temperaturas. Sin embargo, este aumento significa una disminución en otras propiedades como el brillo, resistencia al rasgado y elongación.

1.2.1.4.1. Polietileno de Baja Densidad (PEBD o LDPE)

Es un material traslúcido, inodoro, con un punto de fusión promedio de 150-190°C. Tiene conductividad térmica baja. Sus principales aplicaciones son dentro del sector del envase y empaque (bolsas, botellas, películas, sacos, tapas para botellas, etc.) y como aislante (baja y alta tensión).

1.2.1.4.2. Polietileno Lineal de Baja Densidad (PELBD o LLDPE)

Presenta una buena resistencia a la tracción, al rasgado y a la perforación, buena resistencia al impacto a temperaturas muy bajas (hasta -95°C) y en películas posee excelente elongación. Sus principales aplicaciones son como película incogible, película estirable, bolsas grandes para uso pesado, acolchado agrícola, etc.

1.2.1.4.3. Polietileno de Alta Densidad (PEAD o HDPE)

Presenta mejores propiedades mecánicas (rigidez, dureza y resistencia a la tensión) que el PEBD y el PELBD, debido a su mayor densidad. Presenta fácil procesamiento y buena resistencia al impacto y a la abrasión.

1.2.1.4.4. Polietileno de Alta Densidad Alto Peso Molecular (HMW-HDPE)

Presenta propiedades como buena resistencia al rasgado, amplio rango de temperaturas de trabajo (de -40 a 220°C), impermeabilidad al agua y no guarda olores. Sus principales aplicaciones son en película, bolsas, empaque para alimentos, tubería a presión, etc.

1.2.1.4.5. Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (UHMWPE)

Es un material altamente cristalino con una excelente resistencia al impacto, aún en temperaturas bajas de -20°C. Tiene muy bajo coeficiente de fricción, no absorbe agua, reduce los niveles de ruido ocasionados por impactos.

1.2.1.5. Estructura química del polietileno de baja densidad

“Por ser un material tan versátil, tiene una estructura muy simple, la más simple de todos los polímeros comerciales”¹⁷. En ocasiones es un poco más complicado. A veces algunos de los carbonos, en lugar de tener hidrógenos unidos a ellos, tienen asociadas largas cadenas de polietileno.

Esto se llama polietileno ramificado, o de baja densidad, LDPE como se muestra en la figura 1.4. Cuando no hay ramificación, se llama polietileno lineal, o HDPE. El polietileno lineal es mucho más fuerte que el polietileno ramificado, pero el polietileno ramificado es más barato y más fácil de hacer.



Figura 1. 4 Molécula de polietileno ramificado o LDPE

¹⁷ PRIBBLE. Dubois. Op. Cit. P. 561

1.2.1.6. Simbología del LDPE

“Es un sólido más o menos flexible, según el grosor, ligero y buen aislante eléctrico. Se trata de un material plástico que por sus características y bajo coste se utiliza mucho en envasado, revestimiento de cables y en la fabricación de tuberías”¹⁸.

Los objetos fabricados con LDPE se identifican, en el sistema americano como SPI (*Society of the Plastics Industry*), con el siguiente símbolo de la figura 1.5.



Figura 1. 5 Simbología del polietileno de baja densidad¹⁹

1.2.1.7. Propiedades del LDPE

“Los polímeros de polietileno de baja densidad (LDPE) utilizados en la industria presentan buenas propiedades mecánicas. Se trata de polímeros con buena procesabilidad y resistencia al impacto, al rasgado y al punzonado”²⁰:

1.2.1.7.1. Propiedades Físicas

Dentro de estas propiedades es muy importante conocer la densidad del LDPE ya que al ser una estructura ramificada, cambia considerablemente en comparación a la clasificación de los polietilenos, y esto lo podemos apreciar en la siguiente (Anexo D; Tabla D-2)

1.2.1.7.2. Propiedades Mecánicas

“El polietileno de baja densidad, si se someten a esfuerzos suficientemente grandes, se deforma de manera similar a los metales dúctiles, cuando se ejerce sobre ellos

¹⁸ <http://www.amarilloverdeyazul.com/desentranando-los-simbolos-de-reciclaje-del-plastico/>

¹⁹ <http://www.kurafwerken.cl/biblioteca-virtual/simbologia-del-reciclaje/>

²⁰ YUFERA. Eduardo. Op. Cit. P. 182

esfuerzos superiores al límite de fluencia, por ser frágiles se deforman muy poco bajo la aplicación de cargas, tienen capacidad de amortiguar el ruido y las vibraciones”²¹. (Anexo D; Tabla D-3).

1.2.1.7.3. Propiedades Térmicas

“El polietileno (LDPE) generalmente es un mal conductor de calor”²², pero puede agregársela aditivos para mejorar la conductividad térmica. En la tabla 1.2 se muestra estas propiedades.

Calor Específico (J K ⁻¹ kg ⁻¹)	1900
Coefficiente de Expansión Térmica (x10 ⁻⁶ K ⁻¹)	100 - 200
Conductividad Térmica a 23C (W m ⁻¹ K ⁻¹)	0,33
Temperatura Máxima de Utilización (°C)	150-190
Temperatura Mínima de Utilización (°C)	-60
Temperatura de Deflexión en Caliente - 0.45MPa (°C)	50
Temperatura de Deflexión en Caliente - 1.8MPa (°C)	35

Tabla 1. 2 Propiedades térmicas LDPE

Fuente: www.ehu.es/reviberpol/pdf/publicados/fidel.pdf

1.2.1.8. Resistencia Química

“Desde el punto de vista químico, el polietileno (LDPE), a bajas temperaturas, es generalmente más resistente a los ambientes que atacan a los metales, al concreto y a la madera. En general resistente los ataques del agua, pero muy sensible a la luz solar (rayos ultravioletas) y soporta bien los ataques atmosféricos”²³ (Anexo D; Tabla D-4).

²¹ <http://www.goodfellow.com/S/Polietileno-Baja-Densidad.html>

²² <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polietileno-de-baja-densidad.html>

²³ PRIBBLE. Dubois, Op. Cit. P. 560

1.2.1.9. Características del polietileno de baja densidad

El polietileno de baja densidad es una resina sintética de alto peso molecular, obtenido mediante la polimerización de etileno gaseoso a altas presiones, dentro de sus principales características encontramos las siguientes²⁴.

1. Buena resistencia térmica y química.
2. Buena resistencia al impacto.
3. Es más flexible que el polietileno de alta densidad.
4. Presenta dificultades para imprimir, pintar o pegar sobre él.

1.2.1.10. Proceso de Obtención

El LDPE se produce por polimerización del etileno a través de radicales libres, y a presiones y temperaturas elevadas. Las temperaturas varían de 150 a 300°C. Ver figura 1.6.

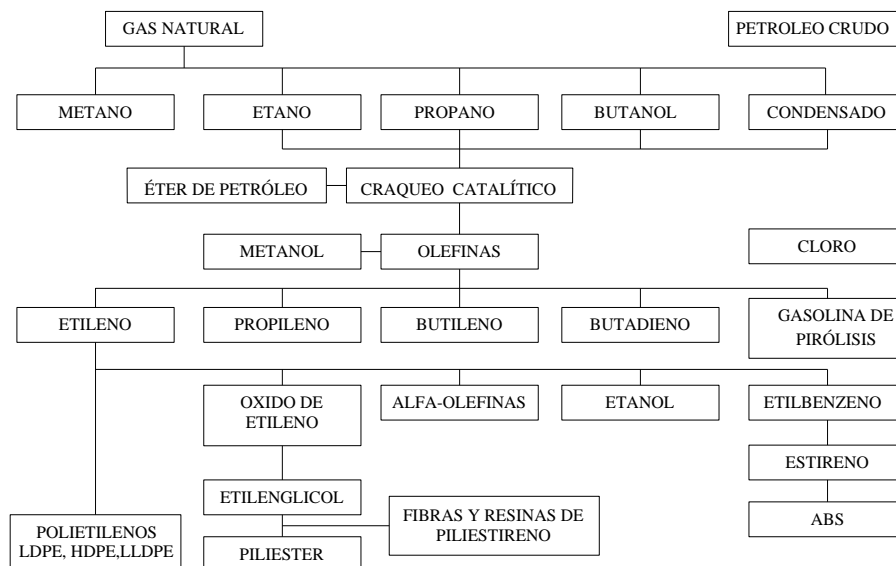


Figura 1. 6 Obtención del polietileno de baja densidad²⁵

²⁴ <http://www.goodfellow.com/S/Polietileno-Baja-Densidad.html>

²⁵ <http://es.scribd.com/doc/8728601/Produccion-Del-Polietileno>

Las presiones abarcan desde 103 a 345 MPa, el proceso de polimerización conlleva tres pasos básicos.

- Iniciación
- Propagación
- Terminación.

1.2.1.10.1. Iniciación

Requiere de un iniciador, usualmente un peróxido, que se descompone térmicamente en radical libre, los cuales reaccionan con el etileno.

1.2.1.10.2. Propagación

Ocurre a medida que prosigue la reacción.

1.2.1.10.3. Terminación

“Una cadena en crecimiento ocurre cuando se combinan dos grupos de radicales libres o cuando un radical hidrógeno se transfiere de una cadena a otra”²⁶.

Se usan dos métodos comerciales en la producción del LDPE se muestra en la figura 1.7; en autoclave y en tubo. El proceso en autoclave emplea un reactor con agitación y flujo continuo con una relación L/D que va de 2:1 a 20:1. El reactor puede estar dividido por bastidores a fin de formar una serie de zonas de reacción bien agitadas. El proceso en autoclave puede producir resinas de LDPE con un amplio intervalo de distribuciones de pesos moleculares, DPM.

En el proceso tubular, el reactor consiste en un tubo largo con relaciones L/D mayores que 12000:1. Debido a que no hay agitación mecánica, la operación continua puede producir un flujo tapón. Aquí, la distribución de pesos moleculares

²⁶ <http://www.textoscientificos.com/polimeros/polietileno-verde>

generalmente está entre los extremos conseguibles mediante el autoclave como se muestra en la figura 1.7.

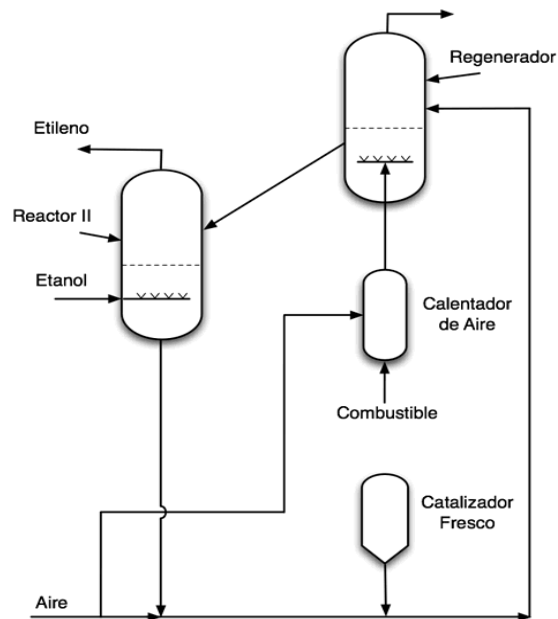


Figura 1. 7 Métodos comerciales en la producción del LDPE

Fuente: <http://www.textoscientificos.com/polimeros/polietileno-verde>

1.2.1.11. Aplicaciones del LDPE

“El polietileno de baja densidad ha encontrado amplia aceptación en virtud de su buena resistencia química, falta de olor, no toxicidad, poca permeabilidad para el vapor de agua, excelentes propiedades eléctricas y ligereza de peso.

El mayor uso se encuentra en las siguientes aplicaciones”²⁷:

- ✓ Sacos y bolsas plásticas.
- ✓ Juguetes.
- ✓ Objetos de menaje, como vasos, platos, cubiertos, etc.
- ✓ Botellas.
- ✓ Recubrimiento de cables.

²⁷ <http://villalbacinc.wordpress.com/polipropileno/>

1.2.1.12. Importación de polietileno en el Ecuador

“De acuerdo con la Asociación de Plásticos del Ecuador (Aseplas), el país cuenta con 500 empresas relacionadas al procesamiento de plástico y a unas 100 pequeñas y medianas empresas que reutilizan el producto”²⁸. Ver figura 1.8.

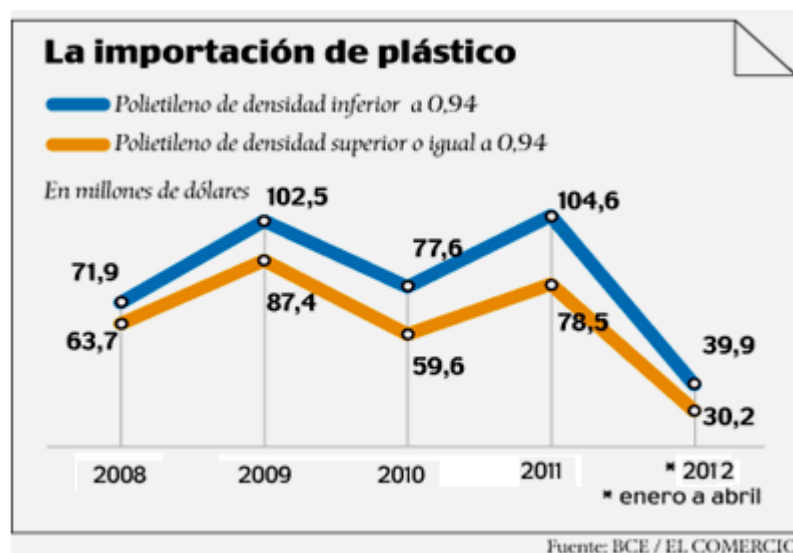


Figura 1. 8 Importaciones de plástico en el Ecuador.

Fuente: http://www.elcomercio.com/negocios/empresas-industria-plastico-vilo-tributo_0_495550594.html

El problema es que el sector plástico tuvo que afrontar un incremento de materias primas en los últimos tres años. Entre 2010 y 2012 el costo subió en un 30% y 60%, debido a la variabilidad en el precio del petróleo.

Este año, la carestía para esta resina apunta a un 30%. Teniendo en cuenta que Ecuador recicla entre 30 y 40 000 toneladas de polietileno al año, de 70 000 toneladas con otros materiales de plástico. Y por tal virtud a esta explicación que la importación del LDPE ha variado considerablemente.

²⁸ <http://trade.nosis.com/es/Comex/Importacion-Exportacion/Ecuador/Plasticos-manufacturas/EC/39>

1.3. Comportamiento reológico de polímeros fundidos y en disolución

1.3.1. Viscosidad en cizalla

“Newton situó entre 2 láminas paralelas, una permanencia inmóvil mientras aplicaba una fuerza tangencial a la otra, conforme se muestra en la figura 1.9, se observó que cada fluido oponía una resistencia característica al deslizamiento de las láminas”²⁹.

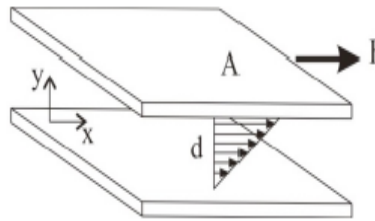


Figura 1. 9 Experimento de Newton.

Newton estableció que la fuerza por unidad de área (F/A) necesaria para mover la lámina era proporcional al gradiente de velocidades creado en el fluido, siendo la constante de proporcionalidad función de la capacidad de deslizamiento del fluido. “Esta constante de proporcionalidad fue llamada viscosidad”³⁰.

La ecuación de Newton puede escribirse:

$$\sigma = \mu \frac{dy}{dt} \quad Ec(1.1)$$

Dónde

σ = Es la fuerza de cizalla y se determina como el cociente entre la fuerza aplicada y el área de la lámina (F/A) (Pa).

²⁹ McDonald, Fox, *Mecánica de los fluidos*, Segunda edición, Editorial McGraw Hill, México, 1970, P. 342

³⁰ WYLIE. Benjamín. *Mecánica de los fluidos*, Octava edición, Editorial, McGraw Hill, México, 1988, P. 8

$\gamma = \frac{dx}{dy}$; Es la deformación que sufre el material (dx/dy). (ad)

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dy} \right) = \frac{dv_x}{dy} \quad Ec(1.2)$$

En el fluido a lo largo el espesor es el mismo y es debido al movimiento de la lámina. Se denomina velocidad de deformación o velocidad de cizalla(s⁻¹).

$$\mu = \text{Es la viscosidad (Pa.s)}. \quad Ec(1.3)$$

En la tabla 1.3 se muestra el orden de magnitud típica de la viscosidad de cizalla para polímeros fundidos y se ha incluido la de otros materiales a efectos comparativos.

Material	M (Pa.s)
Polímeros fundidos	10 ³
Glicerol	10 ⁻¹
Agua	10 ⁻³
Aire	10 ⁻⁵

Tabla 1. 3 Valores aproximados de viscosidad de cizalla para diversos materiales.

Fuente: <http://www.textoscientificos.com/polimeros/polietileno-verde>

1.3.1.1. Viscosidad extensional

“Como se verá, en la mayoría de las técnicas de transformación, el movimiento del plástico en el interior de la máquina es debido a una diferencia de presión que se establece entre 2 puntos, o en ocasiones es debido en movimiento de una parte de la máquina que arrastra el material consigo”³¹.

³¹ WYLIE. Benjamin. Op. Cit. P. 10

“La viscosidad de cizalla es, por tanto, representativa del comportamiento del material en la mayoría de los procesos de transformación”³².

1.3.1.2. Flujos Newtonianos y no newtonianos

“Por fluido Newtoniano se entiende aquel fluido cuyo valor de viscosidad, a una presión y temperatura dada, es único independientemente de la velocidad de cizalla y del tiempo de aplicación”³³.

Los polímeros presentan un comportamiento newtoniano solo en un intervalo relativamente estrecho de velocidad de cizalla, y en general, el tiempo de aplicación de la cizalla es elevado, también sufren desviaciones del comportamiento Newtoniano. Estos son factores importantes a tener en cuenta durante el procesado de polímeros.

En el caso de fluidos no Newtonianos la viscosidad no es constante y suelen denominarse coeficiente de viscosidad y se representan con la letra η en lugar de μ como se ve en la figura 1.10.

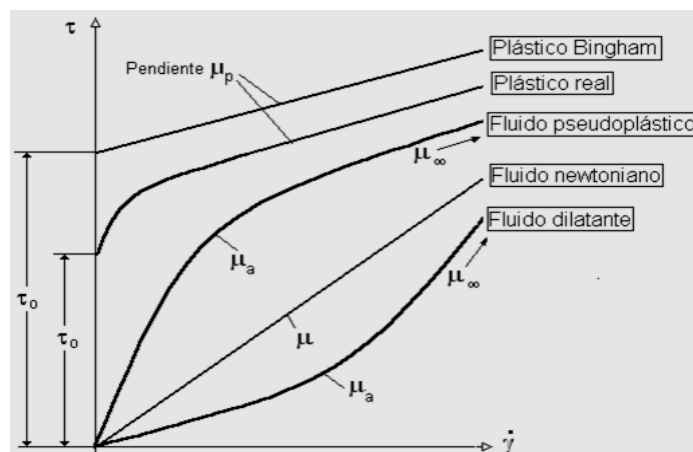


Figura 1. 10 Tipo de fluido según su comportamiento Reológico

³² WYLIE. Benjamin. Op. Cit. P. 11

³³ McDonald, Fox. Op. Cit. P. 336

1.3.1.3. Variación de la viscosidad con la velocidad de deformación

(Anexo D; Tabla D-5), se muestra el rango de velocidad de cizalla utilizada en diversos procesos de transformación de plástico.

En vista del amplio rango de velocidades de deformación que se aplica en el procesado de polímero, es muy importante tener en cuenta la variación que pueda sufrir la viscosidad de un fluido que no sigue la ley de Newton con la velocidad de deformación en la figura 1.11, se muestran los diversos comportamientos posibles con la velocidad de deformación.

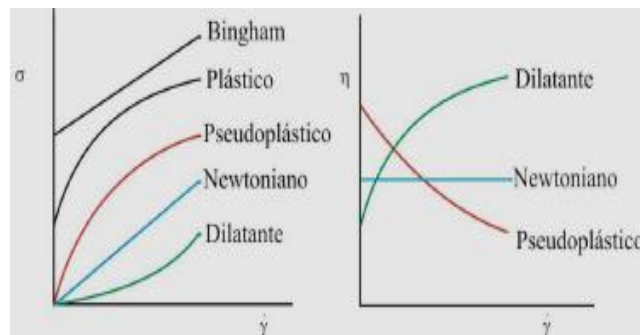


Figura 1. 11 Variación de viscosidad con la velocidad de deformación.

Fuente: http://practica-uno.blogspot.com/2009_04_01_archive.html

El comportamiento dilatante es relativamente raro y lo presentan fluidos que ven aumentada su viscosidad al incrementar la velocidad de cizalla aplicada. Este aumento está provocado por la reorganización de la micro-estructura del material.

Los materiales pseudoplásticos son aquellos que ven reducida su viscosidad al aumentar la velocidad de deformación. Es el comportamiento más común y ha sido ampliamente estudiado.

Muchas disoluciones de polímeros fundidos muestran este tipo de comportamiento durante un amplio rango de velocidades de cizalla, siendo la pseudoplasticidad más o

menos marcada dependiendo de la distribución de pesos moleculares y de la estructura del polímero en cuestión.

La pseudoplasticidad de los polímeros fundidos o disueltos se puede explicar en base a la formación y ruptura de interacciones entre las moléculas del polímero.

La plasticidad es un fenómeno que muestra ciertos materiales que se comportan como sólidos elásticos, almacenando una cierta cantidad de energía cuando son sometidos a esfuerzos menores que cierto valor umbral. Mientras que con un esfuerzo superior al umbral se deforman continuamente como un fluido, siendo el esfuerzo una función, lineal o no, de la velocidad de deformación.

1.3.1.4. Variación de la viscosidad con el tiempo de aplicación de la cizalla.

A menudo los valores de la viscosidad encontrados para unos determinados valores de velocidad de cizalla no se mantienen constantes conforme aumenta el tiempo de aplicación de la deformación.

Los comportamientos posibles se muestran en la figura 1.12.

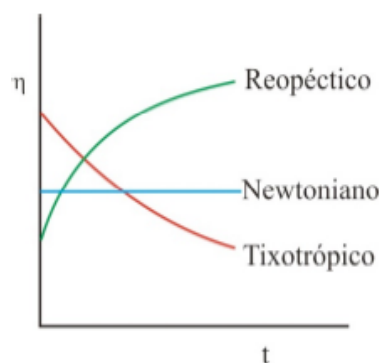


Figura 1. 12 Variación de la viscosidad con el tiempo de aplicación de la cizalla.

El comportamiento tixotrópico se da cuando la viscosidad disminuye con el tiempo de aplicación de la cizalla. Por el contrario los fluidos reopécticos son aquellos en los que la viscosidad aumenta con el tiempo de aplicación del esfuerzo, fenómeno poco frecuente.

1.3.1.5. Variación de la viscosidad con la temperatura.

“La viscosidad es fuertemente dependiente de la temperatura. La mayoría de los materiales disminuyen su viscosidad con la temperatura; la dependencia es exponencial y puede haber variaciones de hasta un 10% por grado”³⁴. Ver figura 1.13

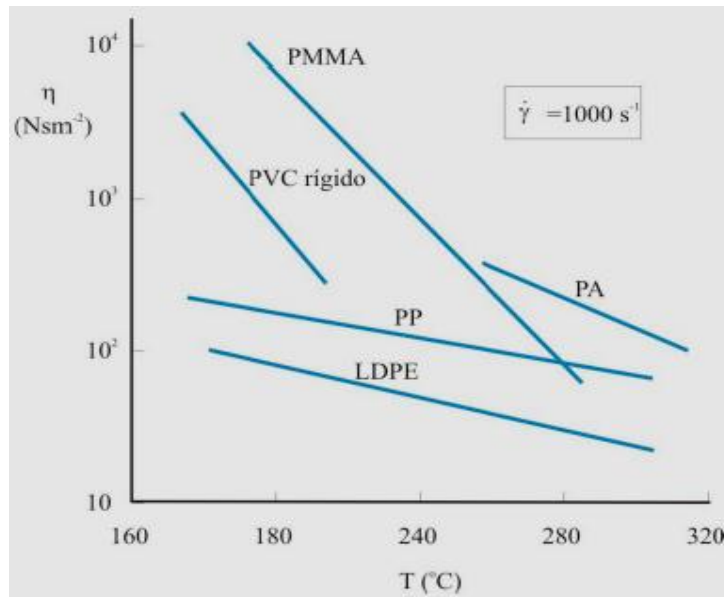


Figura 1. 13 Dependencia de la viscosidad de distintos polímeros con la temperatura PMMA, PVC, LDPE, PP, PA.

Para líquidos más viscosos esta dependencia es mayor, y han de tomarse mayores precauciones en el control de temperatura. Respecto a los polímeros, la dependencia con la temperatura que estos presentan es lógicamente una función de la estructura y el tipo de polímero.

Para polímeros que presentan una alta dependencia de la viscosidad con la temperatura (PMMA, PVC) un ligero aumento podría solucionar un problema de proceso, a diferencia de otros polímeros (PP, LDPE, PA), que probablemente necesitarías además un aumento de la presión de alimentación.

³⁴ WAGANOFF. N, Transformación de los termoplásticos, Segunda edición, Editorial Mitre, Buenos Aires, 1969, P. 58

La relación entre la viscosidad y la temperatura puede representar generalmente por una expresión de tipo Arrhenius:

$$\eta = Ae^{\frac{B}{T}} \quad Ec(1.4)$$

Dónde T es la temperatura absoluta y $A - B$ son constantes de polímeros.

1.3.1.6. Variación de la viscosidad con la presión

La viscosidad de los líquidos aumenta exponencialmente con el incremento de la presión. El agua por debajo de 30°C es la única excepción, en la que disminuye en un primer momento a continuación del cuál el comportamiento es normal.

1.3.1.7. Curvas de flujo en polímeros

La figura 1.14 muestra una curva de flujo típica (viscosidad frente a la velocidad de cizalla en escala doble logarítmica) por un polímero.

En general, se suele observar una zona Newtoniana a bajas velocidades de cizalla (con una viscosidad η_0), hasta una velocidad de cizalla crítica, $\dot{\gamma}_c$, a partir de la cuál se observa un descenso paulatino. En ocasiones a velocidades de cizalla muy elevada se puede observar una nueva zona newtoniana, con una viscosidad η_{∞} .

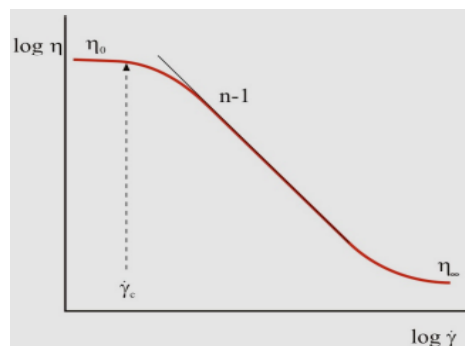


Figura 1. 14 Curva de flujo típica de polímeros fundidos.

En estado de cizalla un polímero fundido se encuentra en un estado aleatorio de “equilibrio”, como se muestran en la figura 1.15, en la cual la movilidad de las cadenas del polímero, propiciada por la temperatura produce simultáneamente la desaparición y formación de interacciones entre las distintas cadena, siendo el resultado, neto nulo.

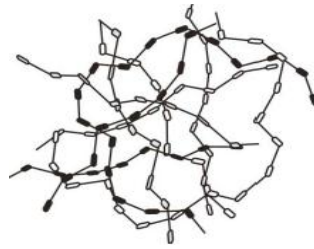


Figura 1. 15 Representación gráfica de una cadena en equilibrio.

1.3.1.8.Relación entre estructuras y comportamiento durante el flujo

“La forma de adaptar las curvas de flujo tiene gran importancia sobre el comportamiento de los polímeros durante el proceso. El valor de los parámetros de γ_0 , γ_c , γ_∞ y n . depende en gran medida de la estructura de los polímeros, especialmente de su peso molecular, polidispersidad, contenida en ramificaciones, etc.”³⁵.

1.3.1.9.Efecto del peso molecular

En los polímeros con distinto peso molecular, se puede observar que aumenta el peso, la velocidad de cizalla crítica, γ_c , disminuye al ser más marcada la zona pseudoplastica como se muestra en la figura 1.16.

³⁵ WAGANOFF. N, Op. Cit. P. 62

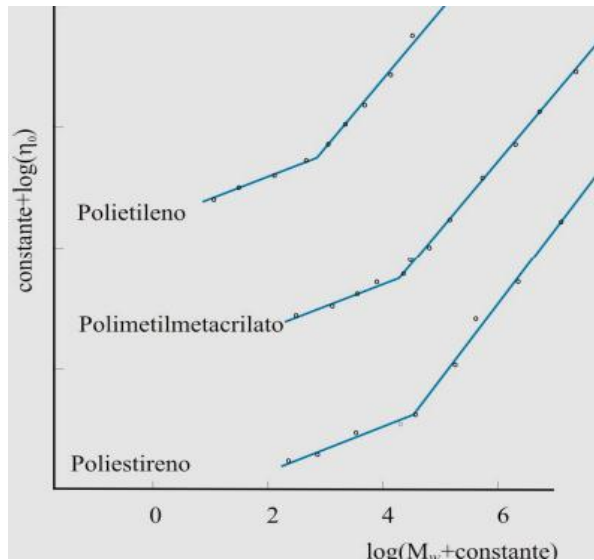


Figura 1. 16 Efecto del peso molecular del polímero en la viscosidad a bajas cizallas

1.3.1.10. Efecto de la distribución de pesos moleculares

“La anchura de la distribución de pesos moleculares (polidispersidad), también influye notablemente sobre las propiedades de flujo de un determinado polímero”³⁶.

El comportamiento de dos polímeros de similar peso molecular, pero con distribuciones de pesos moleculares de diferente amplitud. Como se puede observar el efecto más notable al aumentar la heterogeneidad del polímero es el desplazamiento de la zona newtoniana hacia menores cizallas.

1.3.1.11. Defectos generados en el proceso de peletizado

La propiedad asociada a la mayoría de defectos que se presentan en los procesos de peletizado es la viscosidad ya que es un factor importante en el procesamiento de plásticos, puesto que la gran parte de los métodos de reutilización involucran el flujo de plásticos fundidos a través de los dados, pequeños canales, entre otros.

³⁶ WYLIE. Benjamin, Op. Cit. P. 10

“Esto hace referencia a la viscosidad Newtoniana, en cual caso la viscosidad es constante. En un comportamiento no Newtoniano (fusión del plástico), la viscosidad varía. Tal viscosidad es a menudo llamada viscosidad aparente a las correspondientes velocidades de corte”³⁷.

1.3.1.12. Problemas de plastificación

Estos defectos son fácilmente identificables, y solo existe dos oportunidades para que suceda: Cuando el material no se ha fundido eficientemente, y por la degradación del material. Tales defectos tienen lugar en la zona de plastificación, que depende de la velocidad de peletizado más que del perfil de temperaturas, aunque también influye.

1.3.1.13. Problemas de desgaste

Se presenta debido al constante uso de la maquinaria o parte de ésta, por lo general el husillo/cilindro se desgasta por excesos de cargas abrasivas y malas condiciones de operación. Si existe empujarán el material con la misma fuerza y en ese punto no se desarrollará una presión constante, por lo que partes del producto presentará diferente viscosidad, lo que significa que su velocidad de flujo no será uniforme y constante.

1.3.1.14. Problemas generados por temperatura

La transición de temperatura ambiente a una alta temperatura de procesamiento puede reducir la densidad del plástico hasta en un 25%. Por otro lado el enfriamiento provoca contracción del material, de más del 3%; y puede causar distorsiones superficiales o vaciamiento con tensiones internas debido al frío.

³⁷ WAGANOFF. N, Op. Cit. P. 62

1.3.1.15. Comportamiento durante la fusión

“Si se descomponen los plásticos por fusión, se genera vapores que pueden ser ácidos o alcalinos. Mediante pruebas de fusión de los plásticos se puede tener un acercamiento a su clasificación como sigue”³⁸:

- Fusión sin descomposición: no hay cambios de color.
- Fusión con descomposición: la misma fundida toma coloración negra o marrón.
- Descomposición sin fusión: la muestra cambia de color, sin perder la forma.

1.3.1.16. Fusión del polímero

El polímero funde por acción mecánica en combinación con la elevación de su temperatura por medio de calentamiento del cilindro. La acción mecánica incluye los esfuerzos de corte y el arrastre, que empuja el polímero hacia la malla e implica un incremento en la presión, como se presenta en la figura 1.17.

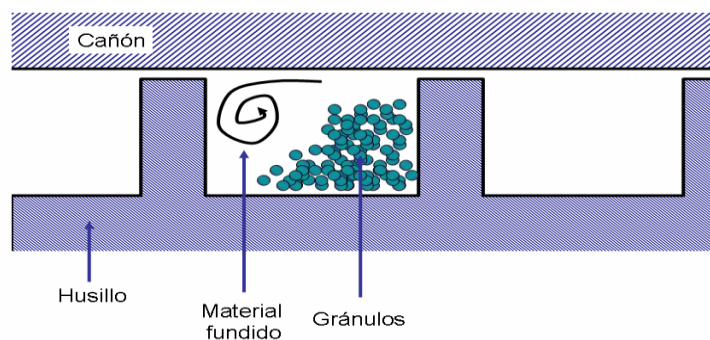


Figura 1. 17 Inicio del proceso de fusión del polímero en el peletizado.

Fuente:http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Fusion_en_el_canion_del_extrusor.png

³⁸ McDonald, Fox, Op. Cit. P. 338

La primera fusión que se presenta en el sistema ocurre en la pared interna del cilindro en forma de un adelgada película, resultado del incremento en la temperatura del material posteriormente a la fricción³⁹.

Cuando esta película crece, es desprendida de la pared del cilindro por el giro del husillo, en un movimiento de ida y vuelta seguido en un barrido, formando un patrón semejante a un remolino o rotatorio sin perder el arrastre final. Esto continúa hasta que se funde todo el polímero.

1.3.1.17. Fusión y arrastre

Si el material se adhiere al husillo y resbala sobre la pared del cilindro, entonces el arrastre es cero, y el material gira con el husillo. Si en cambio, el material no resbala con la pared del cilindro y resbala con el husillo, el arrastre es máximo y el transporte de material ocurre.

En la realidad el polímero experimenta fricción tanto en la pared del cilindro como en el husillo, las fuerzas de fricción determinan el arrastre que sufrirá el polímero

1.3.1.18. Hinchamiento del fluido a la salida de la malla

En el interior de la malla el polímero fundido está sometido a un esfuerzo y presión por lo cual sufren cierta deformación. El hinchamiento del fabricado ocurre bajo la acción de las tensiones normales, perpendiculares al curso del fluido.

Estas tensiones se originan a consecuencia de la intensión de las moléculas orientadas al pasar del estado sin tensión, los defectos y la desfiguración de la forma del peletizado son debido al relajamiento de las tensiones de su componente elástico.

Se puede definir una “relación de hinchamiento” como la relación entre una dimensión transversal de la malla de pellets y la análoga dimensión en el plano de salida del dado peletizador.

³⁹ WYLIE. Benjamin, Op. Cit. P. 15

CAPITULO II

2. PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

2.1. Parámetros de selección

2.1.1. Construcción

Se refiere a la dificultad en la construcción del cilindro, husillo y del sistema de transmisión de movimiento.

2.1.2. Costo

Es uno de los factores más importantes en el diseño de una máquina, lo que se debe lograr es que dicho costo sea lo más bajo posible sin disminuir la calidad de la máquina.

2.1.3. Durabilidad

Se refiere la vida útil del husillo, el cual es el órgano más activo de la máquina, ya que al aumentar la presión interna se rompe sin importar el diámetro que tenga.

2.1.4. Eficiencia

Es la calidad de transmisión con una buena mezcla y técnica de la materia, considerando el tipo de husillo que se va a utilizar.

2.1.5. Estabilidad

La operación del equipo a diseñar no debe presentar mayor complejidad, pero las condiciones y seguridad que demanda este tipo de trabajo, exige un constante movimiento de la máquina; el proceso de pelletizado es necesario realizarlo en los

sitios de almacenamiento de la materia prima, por lo cual se precisa que el equipo sea del tipo estacionario.

2.1.6. Maniobrabilidad

Se refiere a la dificultad que presenta la máquina para su manejo.

2.1.7. Mantenimiento y montaje

Se califica a la facilidad con que se cambian los husillos para el trabajo con diferentes polímeros.

2.1.8. Precisión

Se refiere a la capacidad de ajustar la velocidad del husillo, y la temperatura de los elementos calefactores, esto es importante cuando se cambia los husillos para otro tipo de polímero.

2.2. Formulación de alternativas

A continuación se realiza una descripción de los principales equipos que cumplen a cabalidad con las operaciones requeridas.

2.2.1. Maquinaria para la peletización

Las consideraciones más importantes que debe cumplir una máquina, en esta operación son peletizar el polímero, por lo cual los equipos que cumplen mejor estos requerimientos son:

2.2.2. Peletizadoras de filamento o hebras mono husillo

“En procesos modernos se utilizan tornillos para hacer fluir el polímero en el estado fundido o gomoso a lo largo del cilindro de la máquina”⁴⁰. El tipo de dispositivo más utilizado es el de tornillo simple como se muestra en la figura 2.1.

La máquina esta constituido principalmente por un tornillo de Arquímedes que se ajusta con precisión dentro del cilindro, a penas con el espacio suficiente para rotar.

El polímero sólido se alimenta (tolva) y en el otro sale el material sometido a presión, dentro de la máquina el material se funde y homogeniza.

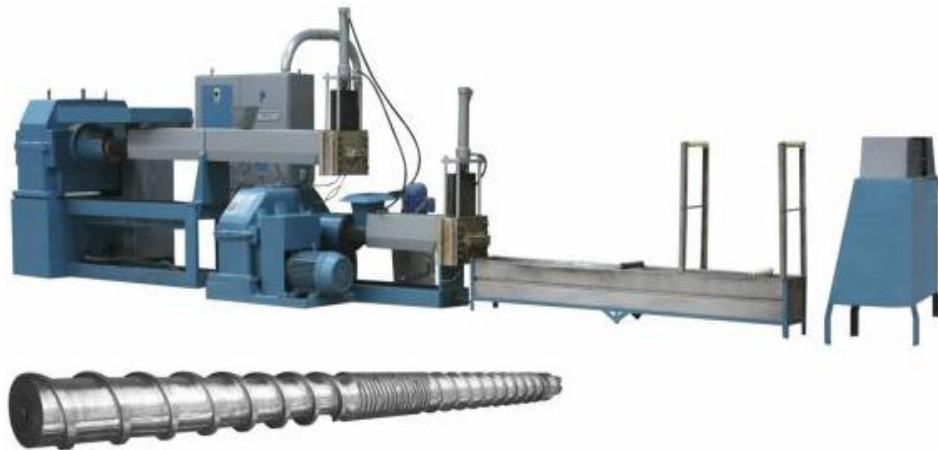


Figura 2. 1 Peletizadoras monohusillo.

Fuente: <http://twin-screw-extruder.com/sp/tornillo-y-barril.htm>

Las hebras o filamentos peletizados pueden enfriarse a través de un baño de agua, secarlos y ser granulados por una peletizadora de hebras. Estas hebras pueden ser ovaladas, redondas o cuadradas en su sección transversal.

El tamaño de los pellets generalmente se mantienen entre 1/32 x 1/32 y 1/8 x 1/8 pulgadas. Los rodillos de alimentación guían las hebras por la banda hasta la cuchilla para asegurar una longitud uniforme de los pellets.

⁴⁰ <http://guadalajara.olx.com.mx/molinos-para-pet-iiid-250051750>

“Tanto la parte superior e inferior de los rodillos de alimentación son impulsados desde el rotor a través de una caja de engranes de reducción y una junta universal se conecta a la caja de engranajes y a los rodillos”⁴¹.

Las peletizadoras son útiles cuando un gran número de hebras refrigeradas por agua se cortan en pellets de un tamaño uniforme y el corte en cubos no es un prerrequisito.

2.2.2.1. Ventajas

- Capacidad de producción continua para enfrentar los desafíos del mercado.
- Producción a corto plazo.
- Alta productividad y homogeneidad.
- Bajo costo de maquinaria y de partes en relación a otros procesos.

2.2.2.2. Desventajas

- Ruido excesivo en el proceso.
- Emisión de gases producto del proceso.
- Secciones transversales complejas.

2.2.3. Peletizadoras de filamento o hebras de dos husillos

“Las peletizadoras de doble husillo como se muestra en la figura 2.2, proporcionan un empuje mucho mayor que el de un sólo husillo, aceleraciones de material mucho mayores, esfuerzos cortantes relativamente altos y mezclado intensivo”⁴².

⁴¹<http://www.engormix.com/MA-balanceados/fabricacion/foros/sistema-fatrack-adicion-aceite-t15148/801-p0.htm>

⁴² <http://es.scribd.com/doc/59470391/32/maquina-peletizadora>.



Figura 2. 2 Peletizadoras doble husillo

Fuente: <http://twin-screw-extruder.com/sp/tornillo-y-barril.htm>

Para algunos materiales este proceso es demasiado agresivo, por lo cual resulta inadecuado, existe la creencia de que los concentrados de color se realizan en su mayoría en este tipo de peletizadoras, sin embargo, la mayoría de los pigmentos sufren degradación debida a las condiciones tan agresivas del proceso, por ello, la mayoría de los fabricantes de concentrados utilizan un cilindro largo de un solo husillo.

Las peletizadoras de dos husillos presentan posibilidades que a menudo superan en gran medida a las de un solo husillo.

2.2.3.1. Ventajas

- Una buena capacidad de mezclado.
- Buen control del tiempo de residencia.
- Buen control de su distribución.

2.2.3.2. Desventajas

- Su precio, que es superior al de las de husillo único.
- Sus prestaciones son difíciles de predecir a corto plazo.
- Su mantenimiento es costoso.

2.2.4. Peletizadora centrífuga

Un novedoso sistema de peletización del plástico fundido a altas velocidades de producción, es la peletizadora de fuerza- G como se muestra en la figura 2.3. Este dispositivo consiste en un dado (rotor) cilíndrico giratorio con agujeros en su periferia.



Figura 2. 3 Peletizadora centrífuga

Fuente: <http://ecologiatijuana.blogia.com/temas/maquinaria-basica-para-reciclaje-pet.php>

El extremo del dado (rotor) está abierto para recibir el plástico fundido a través de una tubería de impulsión corta. El otro extremo está apoyado entre los cojinetes y el cinturón que son impulsados por un motor eléctrico convencional.

Las velocidades del eje son de hasta 4200 rpm y genera presiones de hasta 750 PSI para la peletización del compuesto a través del borde es suficiente para sacar el plástico fundido a través de los orificios del dado en hebras, donde se cortan y son esparcidas en un rocío de agua para enfriarlas.

Los pellets, cortados en hebras, pasan una banda fuerte de acero fino. Esta banda de corte es un aro que se mueve lentamente sobre dos ruedas para distribuir el desgaste y permitir una refrigeración del filo de corte.

La unidad de fuerza-G de la peletizadora centrífuga, consiste en una base resistente que contiene el motor. Un husillo de precisión y un ensamble de dado rotatorio, están montados en la parte superior de la base. La caja del rotor apoya un dado calefactor y dos conjuntos de corte.

2.2.4.1. Ventajas

- Los pellets producidos son de forma extremadamente uniforme.
- El tamaño y forma de los pellets son controlados mediante ajustes en la velocidad del dado.
- Esta unidad es un espacio más eficaz en comparación con el otro sistema peletizador.

2.2.4.2. Desventajas

- El costo de operación es elevado en comparación de los otros sistemas.
- El mantenimiento y la adquisición de piezas dañadas son costosos.
- Solo se justifica su adquisición para producciones elevadas >300kg/hr.

2.2.5. Peletizadora bajo agua

“Este modo de la peletización como se muestra en la figura 2.4; es el más adecuado para las operaciones de composición de la peletizadora, como el color de los lotes-patrón de poliolefinas, cuando el material trabajado por el husillo es forzado a salir a través de una pantalla de coladura (agujereada) y luego paletizado mediante calor”⁴³.

El agua, que circula a través de la carcasa del cabezal separa los pellets y los lleva a la unidad de refrigeración. Una unidad independiente en la variable de velocidad para las cuchillas de corte, regula el tamaño de los pellets.

⁴³<http://www.directindustry.es/prod/useon-nanjing-extrusion-machinery-co-ltd/peletizadoras-de-corte-caliente-de-anillo-de-agua-69838-750069.html>

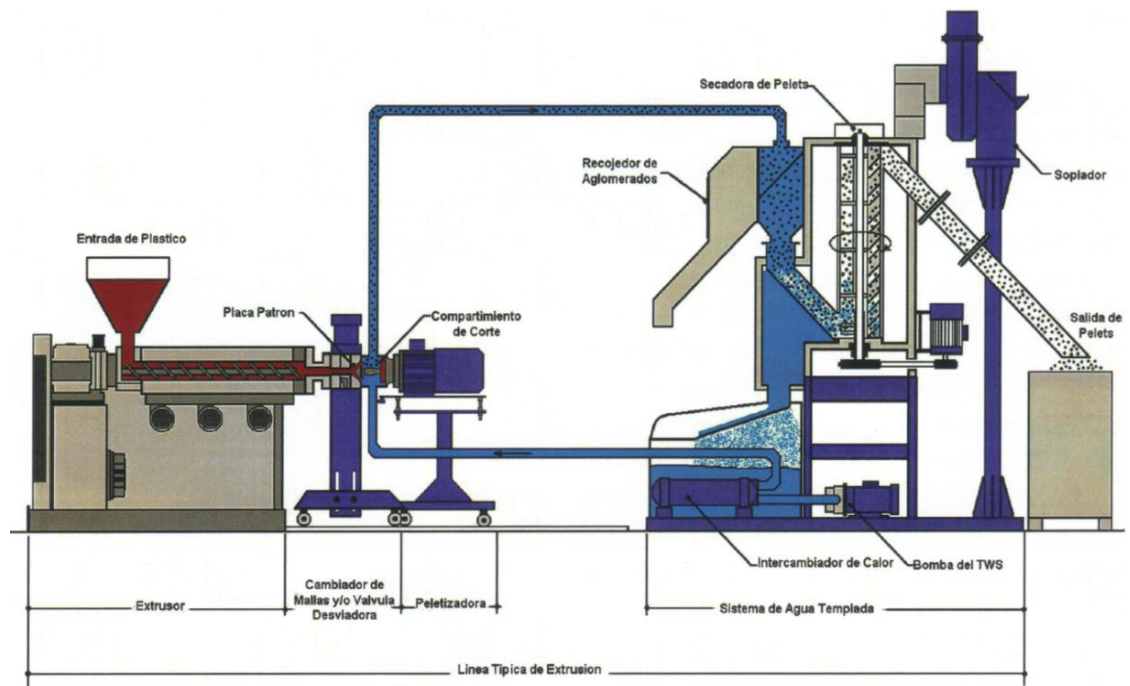


Figura 2. 4 Pelletizadora bajo agua

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/coperion/pelletizadoras-de-corte-caliente-bajo-agua-13881-502788.html>

2.2.5.1. Ventajas

- Pellets de tamaño y geometría uniforme
- El sistema es capaz de pelletizar productos cargados (aditivos).
- Más rápido, tiempo de arranque que un sistema de hebra con menos desperdicio y menos atención del operador.

2.2.5.2. Desventajas

- Elevado costo de adquisición.
- Mayor complejidad de calibración del plato cortador.
- Mayor espacio requerido para su montaje.

2.3. Selección de alternativas

De acuerdo a la ponderación de los parámetros más relevantes que cumplan la mayoría de las especificaciones técnicas para este proceso, se realizará la selección más conveniente para el diseño planteado.

Para la valoración de las alternativas de solución se evalúa cada una de sus ventajas y desventajas y sobre todo el aspecto de tipo técnico y económico.

Alternativas:

- ALTERNATIVA A: Peletizadoras de filamento o hebras mono husillo.
- ALTERNATIVA B: Peletizadoras de filamento o hebras de dos husillo.
- ALTERNATIVA C: Peletizadoras centrifuga.
- ALTERNATIVA D: Peletizadoras bajo agua.

2.3.1. Evaluación de los criterios para la selección

Se va a considerar una escala de calificaciones para poder visualizar la alternativa que mejor se presente para su construcción.

- Excelente= 4
- Buena= 3
- Regular=2
- Mala=1

Las calificaciones de 4 – 3, son las alternativas con mejores características presentes en cada una de los parámetros de selección descritos anteriormente. Mientras que una calificación 2 - 1 son aquellas que presentan inconvenientes y desventajas para su diseño. Estos parámetros se visualizan en la tabla 2.1.

Parámetros de selección	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Construcción	4	3	3	2
Costo	4	2	2	2
Durabilidad	3	3	3	3
Eficiencia	2	3	4	4
Estabilidad	4	4	4	4
Maniobrabilidad	4	3	2	2
Mantenimiento y montaje	4	2	2	2
Precisión	3	2	2	2
Total	28	22	22	21

Tabla 2. 1 Cuadro comparativo de alternativas

Fuente: Los autores

Según la evaluación de los parámetros de selección existe una diferencia entre las alternativas analizadas, siendo la alternativa A (Peletizadoras de filamento o hebras mono husillo); la mejor solución para efectuar la operación peletizado de LDPE, ya que su sistema de plastificación y homogenización y sobre todo su mantenimiento, presenta mejores resultados, y es una alternativa económicamente buena en comparación a los otros sistemas.

2.4. Análisis de los elementos y sistemas principales de la máquina seleccionada

Una vez efectuado el análisis de alternativas, y obteniendo una prioridad notoria, con la máquina peletizadora de filamento o hebras mono husillo, se podrá realizar un estudio de las partes más relevantes de este tipo de máquina, esto nos ayudará a tener mayor visión al momento de realizar los cálculos de diseño.

2.4.1. Análisis de tipos de cilindros de una peletizadora de filamento

2.4.1.1. Sistema de camisa cilíndrica

Las peletizadoras de filamento mono husillo, normalmente son de camisas cilíndricas con tornillo cilíndrico como se muestra en la figura 2.5, en este sistema el aumento de presión se logra con el tornillo, al ir reduciendo el diámetro del alma del husillo (cono) en dirección del plato rompedor.

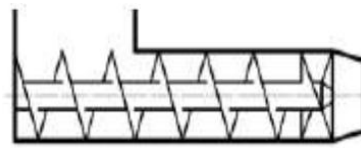


Figura 2. 5 Esquema de camisa cilíndrica

Fuente: http://www.extrubarriles.com/productos_servicios.htm

“Para evitar la corrosión y el desgaste mecánico, el cilindro suele construirse de aceros muy resistentes y en algunos casos viene equipado con un revestimiento bimetálico que le confiere una elevada resistencia, en la mayoría de los casos superior a la del husillo, ya que este es mucho más fácil de reemplazar”⁴⁴.

El cilindro por lo general posee sistemas de transferencia de calor. El calentamiento se puede realizar mediante resistencias eléctricas circulares localizadas en toda su longitud

Como se muestra en la figura 2.6, y también aunque menos usual, mediante radiación o encamisado con fluidos refrigerantes o calefactores.

⁴⁴FRANK, Handle. *Extrusion ceramics*, Segunda edición, Editorial Springer, New York, 2007, P 85

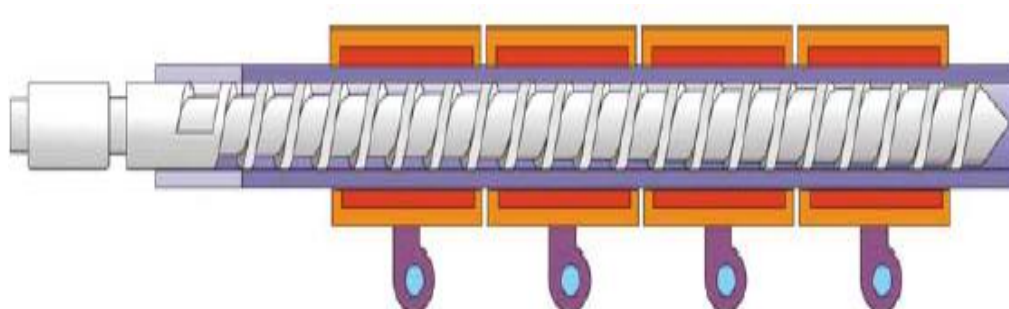


Figura 2. 6 Sistema cilindro de calefacción

El cilindro suele dividirse en varias zonas de calefacción, al menos tres, con control independiente en cada una de ellas, lo que permite conseguir un gradiente de temperatura razonable desde la tolva hasta el plato rompedor.

Para la mejor conservación de la temperatura a lo largo del cilindro y prevenir cambios en la calidad de la producción por variaciones en la temperatura ambiente, se acostumbra aislar el cuerpo del cilindro con algún material de baja conductividad térmica como la fibra de vidrio o el filtro.

En algunos casos se le agrega una ranura de ventilación como se muestra en al figura 2.7, la cual permite el escape de vapores que se generan cuando se procesan plástico hidróscopico, es decir, contienen agua, aunque en la actualidad es más utilizado un sistema externo de secado, lo cual resulta más factible. En el caso del polietileno de baja densidad (LDPE) no se necesita de esta ranura, ya que este no conserva humedad y por lo tanto no genera vapores al momento de ser procesado.

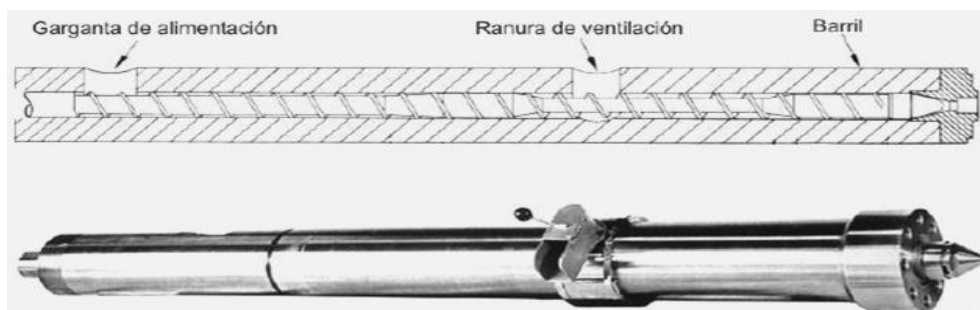


Figura 2. 7 Cilindro con zona de ventilado

El cilindro debe enfriarse si como consecuencia de la generación interna de calor originada por la cizalla a la que se somete al plástico, se rebasa la temperatura nominal del proceso (lo que ocurre normalmente).

Hay que tener en cuenta que los sensores de control de temperatura quedan en el cilindro, por lo que la temperatura del material será siempre superior a la que indican los controles.

2.4.2. Análisis de los tipos de superficies internas del cilindro/camisa

2.4.2.1. Cilindros/camisa con zonas lisas

“En los cilindros con zonas de alimentación lisas (convencionales) las etapas de dispersión y mezclado del tornillo se encuentran localizadas en la zona de dosificación (última sección del tornillo); lo cual frecuentemente genera merma en la producción”⁴⁵.

Esto no hace que sea de una gran producción, debido a un diseño sencillo, es por tal motivo más económico en su adquisición.

2.4.2.2. Cilindros con zonas acanaladas

“Son cilindros que poseen una superficie interna con canales de formas específicas, zonas acanaladas como se muestra en la figura 2.8 ubicadas en la etapa de alimentación de los cilindros, suelen ser utilizadas para favorecer el procesamiento de resinas de bajo coeficiente de fricción (HMW ADPE y PP). Para ser transportado hacia adelante, el material no debe girar junto con el tornillo, o al menos debe girar a una menor velocidad que el tornillo”⁴⁶.

⁴⁵ FRANK, Handle, Op. Cit. P. 96

⁴⁶ FRANK, Handle, Op. Cit. P. 96

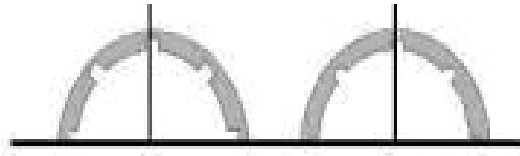


Figura 2. 8 Sección transversal de las zonas de alimentación acanaladas

2.4.2.3. Selección de los tipos de superficies

Las fuerzas de cizalla que se generan en las superficies acanalada son mayores que las que se generan en las superficies lisas.

De modo que por una parte el consumo del motor será mayor, y por otra, se puede producir una fusión prematura del material, que al fundir se puede introducir en los filetes, obstruyéndolas y disminuyendo así la eficiencia del proceso. Además el material que queda atrapado en los filetes podría llegar a descomponerse.

Los materiales empleados para la fabricación de estas superficies acanaladas deben ser muy resistentes y en consecuencia, caras, pues deben estar diseñados para soportar las altas cizallas generadas.

2.4.3. Análisis y selección de los tipos de husillos o tornillo de Arquímedes

“Tomado en cuenta el cilindro ya analizado, y con ayuda de los catálogos que existen en el mercado de los proveedores de tipos de husillos”⁴⁷.

Como se muestran en la figura 2.9. Se realizó la selección de un husillo que sea acorde al tipo de proceso y del material que se va a utilizar.

Para poder realizar una selección correcta, se analizará parámetros y características que conlleva el diseño de este tipo de husillo.

⁴⁷ <http://elblogdelplastico.blogs.upv.es/2011/10/09/tecnologias-de-procesado-de-polimeros-2/>

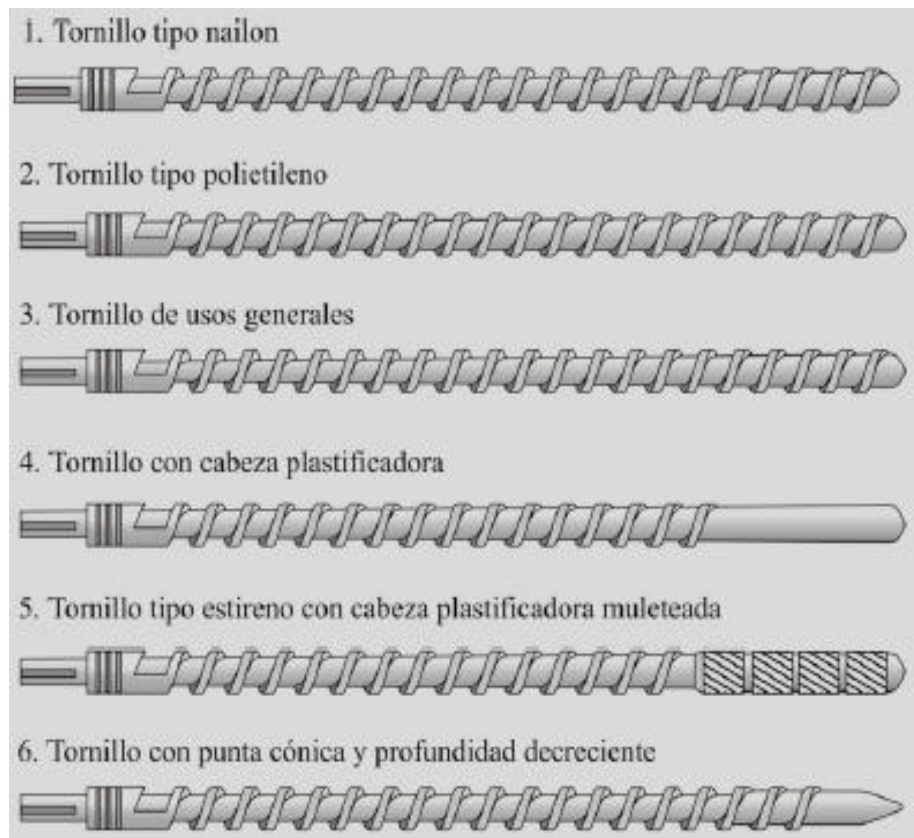


Figura 2. 9 Ejemplo de tornillos para diferentes fines.

Fuente: http://es.scribd.com/marco_coyol/d/63471438-curso-inyeccion

2.4.3.1. Parámetros para una correcta selección de un husillo/tornillo.

2.4.3.1.1. Característica en el diseño del husillo/tornillo

En cuanto al diseño y selección del husillo hay que considerar los siguientes parámetros.

- El filete del husillo debe ser simple, no doble. El filete doble produce una mayor fricción.
- El ángulo de los filetes ha de ser grandes, para procesos de polímero reutilizados estos ángulos oscilan entre (15°-25°).
- El radio del filete ha de ser lo más grande posible.

(Anexo E; E-1); se muestra dos husillos, el de la izquierda es de diseño adecuado desde el punto de vista del flujo del material sólido, de acuerdo con lo que se acaba de mencionar.

2.4.3.1.2. Relación de longitud /diámetro (L/D)

“Para un diámetro de tornillo dado (D), la capacidad para fundir, mezclar y homogeneizar a una velocidad de giro del husillo determinada aumenta al incrementar la longitud del husillo (L), y por tanto la relación L/D”⁴⁸.

De acuerdo con la descripción y características de los husillos que se mencionaron anteriormente, para la selección del tornillo se tomará en cuenta la relación de L/D. esta relación define el diámetro y la longitud que el husillo y el barril tendrán.

Para seleccionar el tamaño del husillo se tomarán en cuenta las siguientes consideraciones:

2.4.3.1.3. Ventajas de una relación L/D corta

- Menor tiempo de permanencia en el cilindro, manteniendo los materiales sensibles al calor a una temperatura de fusión por menor tiempo, lo que reduce las posibilidades de degradación.
- Ocupa menor espacio.
- Requiere menor torque por la resistencia del husillo y la capacidad de HP no es tan importante.
- Menor costo de inversión inicial y para el reemplazo de las partes.

2.4.3.1.4. Ventajas de una relación L/D larga:

- Permite realizar un diseño de husillo para mejor salida o recuperación, siempre y cuando se aplique el torque suficiente.

⁴⁸ FRANK, Handle, Op.Cit. P. 102

- El husillo puede ser diseñado para un flujo más uniforme.
- El husillo puede ser diseñado para bombear a elevadas presiones.
- El husillo puede ser diseñado para una mejor fusión como menor esfuerzo cortante y una mayor cantidad de temperatura conducida por el cilindro.

2.4.3.1.5. Relación de compresión

Una de las diferencias exactas de este parámetro es la relación volumétrica de las vueltas del filete en las zonas de alimentación y de dosificado.

“Se suele expresar, sin embargo, en términos de la relación de profundidades del canal en ambas zonas, una aproximación que es únicamente válida si el ángulo de los filetes y la anchura del canal se mantienen constantes. Las relaciones de compresión típicas oscilan entre 2.0 y 4.0 para polietileno reutilizado”⁴⁹.

Una zona de dosificado de pequeña profundidad (alta relación de compresión) impone mayor velocidad de cizalla sobre el fundido, para una velocidad de tornillo dada, y se asocian también con un gradiente de presión mayor.

2.4.3.1.6. Descripción del funcionamiento de un husillo/tornillo.

Al husillo se lo puede describir por su funcionamiento interno, conocido como zonas de transporte de sólidos como se muestra en la figura 2.10, estas zonas son:

- Zona de alimentación o transporte.
- Zona de transición o compresión.
- Zona de dosificado o bombeo.

⁴⁹ GROOVER, Mikell, *Funcionamiento de manufactura moderna: Material, proceso, y sistema*, Primera edición, Editorial Pearson Prentice hall, México, 2005, P. 313

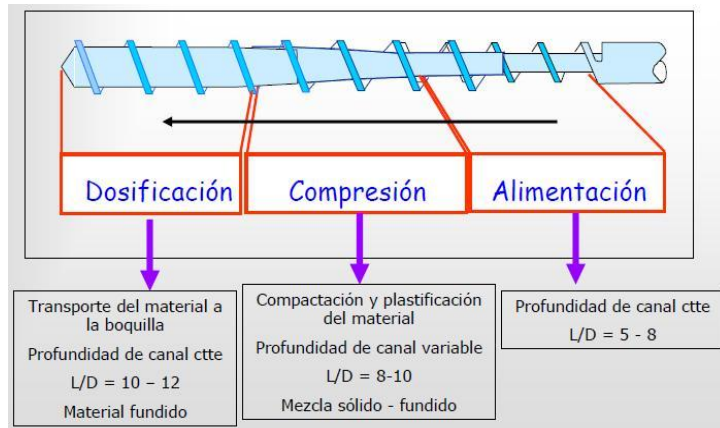


Figura 2. 10 Zonas de trabajo de un husillo.

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>

Hay que tener presente que esta asignación de funciones a cada una de las zonas del husillo no es estricta, lo que si se produce y es evidente en cada una de estas es el incremento de la presión en cada zona, por ejemplo el transporte presurización y homogenización se producen a lo largo de todo husillo.

Las pelletizadoras actuales pueden operar entre 10 y 500 rpm y según su tamaño pueden proporcionar caudales de 2000 kg/h de material procesado. Ver figura 2.11.

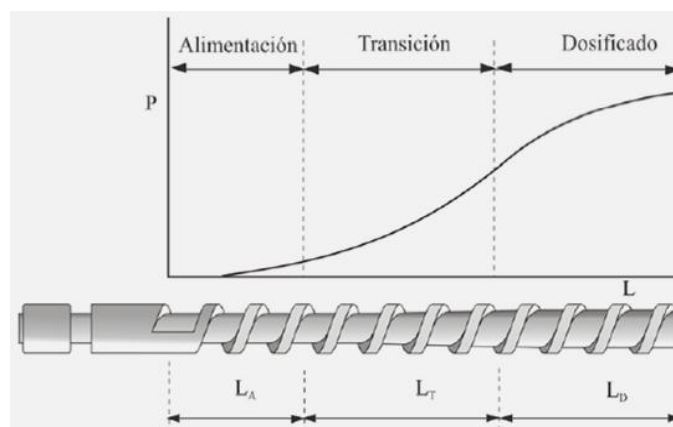


Figura 2. 11 Zonas de un husillo y evolución de la presión a lo largo de las mismas.

2.4.3.2. Tipos de husillos/tornillo de una peletizadora.

El análisis que se realizará, está basado en los husillos que mejor resultados dan con este proceso de peletizado y tomando en cuenta el tipo de material que se va a utilizar, mediante los tipos de husillos mostrados anteriormente y con ayuda de catálogos de proveedores y diseñadores de maquinaria, se procederá a estudiar las características de los husillos que cumplen con el propósito de peletizar.

- Husillo de uso general.
- Husillo de tipo polietileno.

2.4.3.2.1. Husillo/tornillo de uso general

La geometría del husillo/tornillo, empleados para el proceso de polímeros corresponde en general a la de los husillos sin compresión, empleado también en la elaboración de termoplásticos con la única finalidad de transporte.

Tales husillos pueden emplearse casi universalmente para la elaboración de mezclas de resina más corrientes siendo mucho más frecuentes que las construcciones especiales con compresión, que se aplican para el proceso de durómetros muy viscosos debido al alto calor de fricción con pérdidas mínimas de reflujo.

“El husillo de uso general tiene características de transporte con una relación de compresión de 1:1; el flujo produce pocas pérdidas y la influencia del calor de fricción puede controlarse también sin dificultades sin tener que atemperar el husillo.

El diámetro uniforme del núcleo de estos husillos ofrece seguridad frente a la deformación, especialmente en la zona de dosificado, un hecho conocido por los fabricantes es que produce un mayor desgaste del husillo y el cilindro”⁵⁰.

⁵⁰ MINK. W, *El plástico en la industria*, Volumen 2 Inyección de plástico, Editorial G Gili S.A, México 1990, P. 284

Los ángulos de inclinación de los filetes deben ser de 15°- 20°, ya que proporcionan un favorable efecto de limpieza del canal y con una relación de L/D de 25:1 hasta 35:1, comúnmente.

2.4.3.2.2. Husillo/tornillo tipo polietileno

“Esta decisión depende no solo del diseño del dado pelletizador y de las velocidades de flujo esperadas, sino también de las velocidades del husillo”⁵¹.

Un husillo tipo polietileno, de tres zonas, se define usualmente según el número de vueltas de hélice en las zonas de alimentación transición y dosificado, en la siguiente figura 2.12, se muestra las partes de un tornillo tipo polietileno.

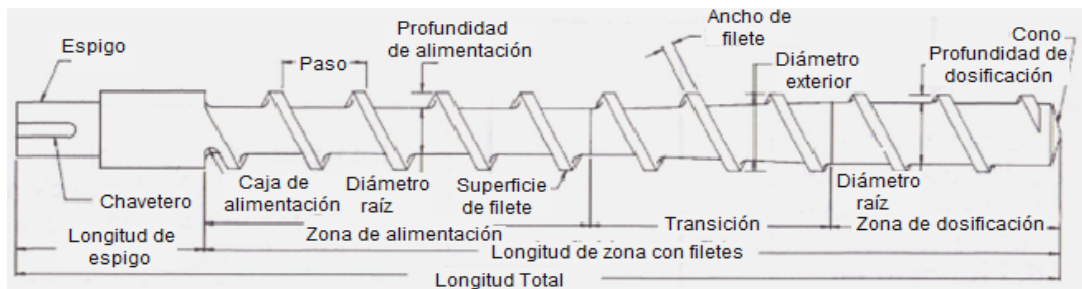


Figura 2. 12 Características del husillo tipo polietileno

Los husillos pueden tener también dentro de algunas de sus zonas principales alimentación, transición, dosificado, elementos dispersivos y elementos distributivos.

Dispersión: Logra que los componentes no se aglomeren sino que formen partículas del menor tamaño posible.

Distribución: Logra que todos los materiales se encuentren en igual proporción en la muestra.

⁵¹ NURIA, María, *Tecnología de procesos y transformación de materiales*. Primera edición, Editorial Virtuals, España, 2005, P. 136

“Como característica estándar un tornillo tipo polietileno, según datos obtenidos del “*Blow Molding Handbook*” debe de tener las siguientes características”⁵²:

- Un largo de 20 a 30 veces el diámetro del tornillo (L/D 20-30:1)
- La relación de compresión debe ser de 2 a 4:1
- Una distancia constante entre los filetes e igual diámetro

2.4.3.2.2.1. Zona de alimentación o transporte

“El transporte del polietileno tiene lugar en la primera zona del husillo plastificador. Debajo de la tolva de alimentación el husillo actúa como un elemento transportador en donde las partículas sólidas del polímero, por acción de la pared conductora del roscado se trasladan a cierta distancia conservando su forma en el sector dado, las partículas individuales, idealmente siguen trayectorias rectas y paralelas al eje del tornillo”⁵³.

2.4.3.2.2.2. Zona de transición o compresión.

La zona transporte de sólidos finaliza cuando empieza a formarse una fina película de polímero fundido.

La fusión se iniciará como consecuencia del calor conducido desde la superficie del cilindro y del generado por fricción a lo largo de las superficies del cilindro y del husillo.

Por lo general se produce gran cantidad de calor por fricción, de modo que, en ocasiones, es incluso posible iniciar la fusión sin necesidad de aplicar calor.

En primer lugar aparecen una fina capa de material fundido junto al cilindro, que irá creciendo hasta que su espesor se iguale con la tolerancia radial entre el cilindro y el

⁵² GROOVER, Mikell, Op. Cit. P. 320

⁵³ NURIA, María, Op. Cit. P. 140

filete del husillo, mientras que el resto del material se encontrará formando un lecho sólido, como consecuencia del movimiento del husillo se creará un gradiente de velocidad en la película fundida situada entre la capa sólida y la superficie del cilindro.

El polímero fundido en la película será barrido por el filete que avanza, separándose así del cilindro.

El polímero fundido se reunirá en una zona o pozo situado delante del filete que avanza en la parte posterior del canal. La figura 2.13, muestra un corte transversal de la zona de transición.

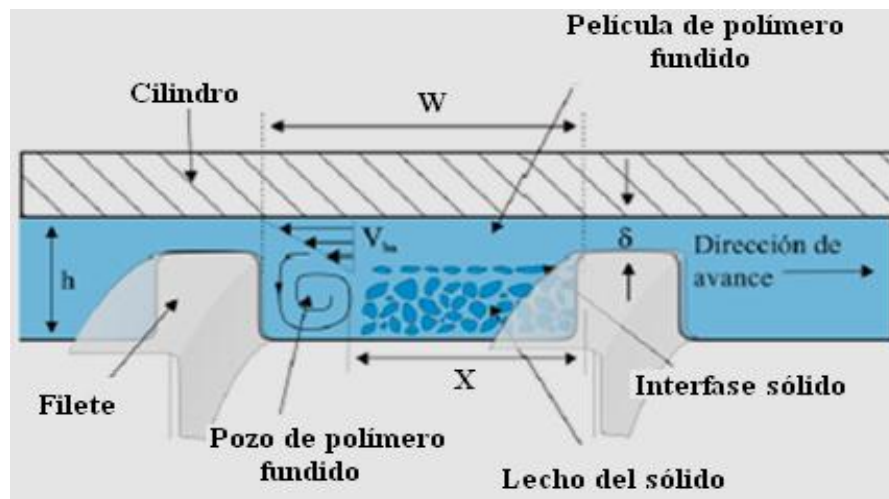


Figura 2. 13 Corte transversal del husillo en la zona de transición.

A medida que aumenta el fundido en el pozo de polímero, el tamaño del pozo se incrementa mientras que el ancho de la capa sólida irá disminuyendo⁵⁴.

De esta forma se desarrolla una presión que empuja a la capa sólida y la sitúa en la parte anterior del canal. Por eso, a pesar de que casi toda la fusión ocurre en la superficie del cilindro, la altura de la capa sólida no disminuye su anchura, como se puede apreciar en la figura 2.14, en esta también se indica la longitud de fusión que es la longitud de husillo desde que comienza la fusión hasta que esta termina.

⁵⁴ NURIA, María, Op. Cit. P. 150

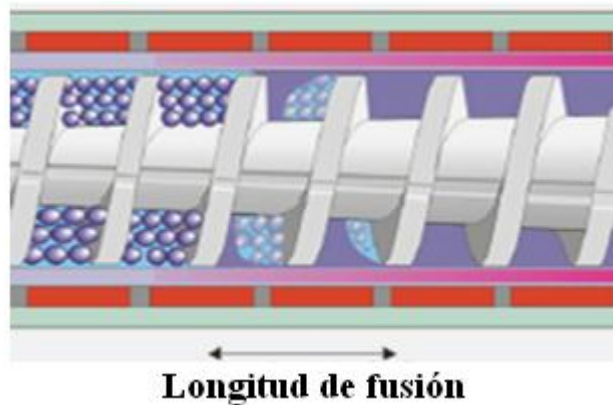


Figura 2. 14 Ancho del pozo de fundido a lo largo de la zona de transición.

Como se ha visto el calor necesario puede ser suministrado bien por conducción desde la superficie caliente del cilindro, a través de la película fundida o bien por disipación viscosa (cizalla) debido a las fuertes cizallas a que está sometida la delgada película de fundido.

El flujo de calor por disipación viscosa esta favorecido al aumentar la velocidad del tornillo. Sin embargo, en este caso la contribución de la transmisión de calor por conducción a la fusión se verá reducida puesto que aumentará el caudal, y por tanto disminuirá el tiempo de residencia del material en la peletizadora.

2.4.3.2.2.3. Zona de dosificado

“La zona de dosificado se inicia en el punto en que finaliza la fusión, es decir, en el punto en que todas las partículas de polímero se han fundido. De hecho, la profundidad del canal es uniforme en la zona de dosificado, por lo que todo el lecho sólido debe haber desaparecido o en caso contrario el aire se eliminaría con mucha dificultad y podría quedar atrapado en el fundido”⁵⁵.

La zona de dosificado del fundido actúa como una simple bomba en la que el movimiento del material fundido hacia la salida de la peletizadora se produce como resultado del giro del husillo y de la configuración helicoidal del mismo.

⁵⁵ NURIA, María, Op. Cit. P. 155

El estudio del movimiento de un material viscoso en el husillo de una máquina de peletizado se simplifica considerando tres tipos distintos de flujo:

2.4.3.2.2.3.1. Flujo de arrastre o de fricción (QD)

Es debido a la fricción del material con el tornillo y con las paredes del cilindro, es el principal responsable del movimiento del material desde la tolva de alimentación hasta el dado peletizador.

2.4.3.2.2.3.2. Flujo de presión o de retroceso (QP)

Opuesto al anterior y debido a la diferencia de presión entre la tolva y el cabezal de la máquina, esta última que es originada por la restricción que impone el dado o el plato rompedor.

2.4.3.2.2.3.3. Flujo de pérdida o de fugas (Qper)

Que tiene lugar entre el cilindro y el filete del husillo y es también opuesto al flujo de arrastre y originado por el gradiente de presión a lo largo del husillo.

La tolerancia radial de ajuste entre el husillo y las paredes internas del cilindro es generalmente muy pequeña (del orden de 0,1 milímetros) y, por tanto, el flujo de pérdidas es mucho más pequeño que los dos mencionados anteriormente.

El flujo total a lo largo del tornillo viene dado por la suma de los tres flujos anteriores:

$$QT = QD + QP + Qper \left(\frac{kg}{h} \right) \quad Ec (2.1)$$

Una representación esquemática de la distribución de velocidades para cada tipo de flujo viene dada por las figuras 2.15.

El flujo de arrastre tiene lugar debido a que el material fundido en el canal del tornillo se adhiere a las paredes internas del cilindro, que se mueven respecto al tornillo.

Si solamente existiera el flujo de arrastre, el perfil de velocidades sería aproximadamente lineal, y si la superficie en movimiento tuviera una velocidad V , la velocidad media de avance el material en el canal sería $V/2$.

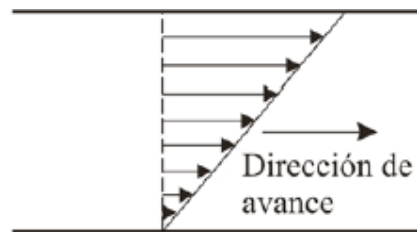


Figura 2. 15 Perfil de velocidades originado por el flujo de arrastre.

El flujo de presión se debe, como ya se ha indicado, al gradiente de presión a lo largo del cilindro.

La presión es mayor en el lado del dado, y este gradiente de presión tiende a hacer que el material fluya hacia atrás a lo largo del canal del tornillo oponiéndose pues al flujo de arrastre y suponiendo un retroceso del material en el canal del tornillo. El perfil de velocidades debido a la existencia de un gradiente de presión es parabólico y se representa en la siguiente figura 2.16.

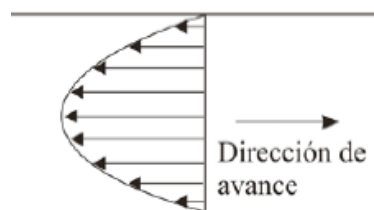


Figura 2. 16 Perfil de velocidades debido al flujo de presión.

El flujo de pérdidas es mucho menor que los dos anteriores y no es preciso considerarlo.

El flujo total a lo largo del canal del tornillo es el resultado del flujo de avance y de presión y su perfil de velocidades puede determinarse sumando algebraicamente los dos y se ve representada en la figura 2.17.



Figura 2. 17 Perfil de velocidad del flujo total.

Para facilitar la visualización del movimiento del fluido dentro de la peletizadora, se supone que se tiene un canal desenrollado (husillo) sobre el que se encuentra un plano (cilindro).

El canal permanece quieto, mientras el plano se mueve con una velocidad tangencial V_b , cuyo vector no es paralelo a las paredes, sino que se encuentra girado y que coincide con el ángulo de los filetes del tornillo.

En consecuencia, una peletizadora trabajando en condiciones normales (esto es con un dado que provoca una caída de presión a lo largo de la máquina) existirá un perfil de velocidades tal como lo mostrado en la figura anterior 2.17, tanto en la dirección axial del tornillo como en la transversal.

Esto es, en ambas direcciones existirá flujo de arrastre y flujo de presión, éste último originado por el dado en el caso del flujo en la dirección axial del canal, Z, y por las paredes del filete en el caso del movimiento del material que se dirige hacia ellas, (dirección X). El flujo total será la suma del flujo en las direcciones X y Z.

2.4.3.3. Selección del tipo de husillo

Dentro de los parámetros establecidos y conociendo las características de los husillos que mejor trabajan con este tipo de proceso y material, husillo de uso general y husillo tipo polietileno, ya que los husillos tipo nylon, cabeza plastificadora, punta cónica son utilizados para trabajos puntuales como es la inyección y extrucción de plástico, es por tal motivo que su diseño es diferente a los dos anteriormente mencionados.

La selección se la realizará tomando en consideración la relación de compresión que es uno de los aspectos de mayor cuidado que se debe tener ya que este parámetro proporcionará la presión dentro del cilindro para que pueden ser expulsados hacia el dado peletizador.

Como característica del diseño un husillo de uso general tiene una relación de 1:1 que quiere decir que el alma del husillo no es cónica y no proporciona la presión que se necesita para vencer la velocidad de cizalla del polietileno.

Otra de los aspectos al momento de la selección del husillo es la fricción que ejercerse en el cilindro producto del movimiento, y el husillo de uso general produce un incremento que hace que se desgaste el cilindro, lo que no ocurre con el de tipo polietileno ya que al tener un diseño de cono de su alma y con una relación de compresión que va de 2,4:1 permite tener una mayor presión sin desgastar al cilindro.

La relación de L/D es otro factor al momento de seleccionar un de los dos husillos ya que el de tipo polietileno recuperado se utiliza una relación de 20:1 y 30:1, en comparación de un husillo de uso general que va desde 25:1 hasta 35:1, como ya se mencionó anteriormente las ventajas y desventajas de tener una relación L/D larga y corta, por todos estos factores y los parámetros analizados anteriormente se selecciona el husillo tipo polietileno con una relación de compresión de 20:1 para polietileno reutilizado y una relación de compresión de 4:1 que se comprobará en los cálculos posteriores.

2.4.3.3.1. Material de husillo y cilindro

“Los husillos tipo polietileno y cilindros; por lo general se fabrican en aceros 4140 y 8620, los cuales son de gran resistencia a la tracción, también se pueden fabricar en materiales especiales como el acero inoxidable utilizado en especial por la industria de alimentos o el material que el cliente considere para su labor en especial”⁵⁶.

Los recubrimientos utilizados para metalizar los filetes y sus crestas en donde existe fricción metal-metal, son a base de Níquel-Boro y Cromo con una dureza de 50-55 H.R.C, con alta resistencia al desgaste y bajo coeficiente de fricción que protege la vida útil de los cilindros y el mismo husillo o con tratamiento de nitruración.

2.4.4. Análisis de la tolva de alimentación

“La tolva es el componente de la peletizadora de diseño más simple, aunque no por eso de menor importancia, en nuestro mercado tenemos diferentes modelos de tolvas de alimentación entre estas la de sección circular y de sección rectangular, la decisión depende del diseñador”⁵⁷

2.4.4.1. Tolva de alimentación de sección circular.

El objetivo de tener una tolva es para poder almacenar el material a ser procesado, ya que para cumplir con un ciclo no debe existir un desabastecimiento es por esto que la tolva es la primera zona de alimentación antes de llegar al husillo, y para esto una tolva de sección circular como se observa en la figura 2.18, cumple con éxito este propósito.

Este diseño es un cono truncado con un diámetro igual a la garganta del cilindro, con una superficie lisa que permita el deslizamiento del LDPE mediante el efecto de la gravedad.

⁵⁶ <http://www.catalogodeempaques.com/clientes/extrudercol/productos1.asp>

⁵⁷ GROOVER, Mikell, Op. Cit. P. 330

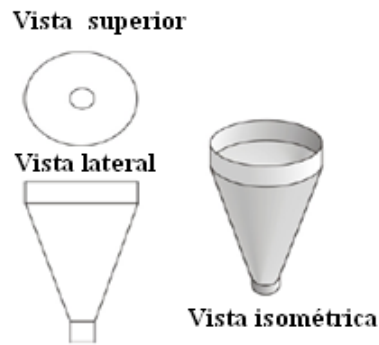


Figura 2. 18 Tolva de alimentación de sección circular

2.4.4.2. Tolva de alimentación de sección rectangular

La tolva de sección rectangular como se observa en la figura 2.19, tiene el mismo principio de almacenar el producto a ser procesado.

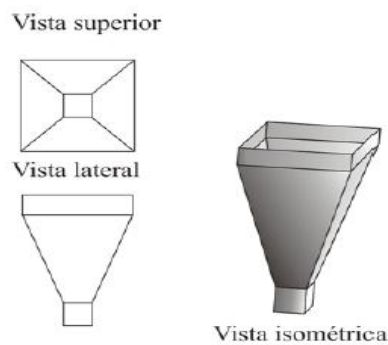


Figura 2. 19 Tolva de alimentacion de seccion rectangular

Fuente: <http://www.venezuelaenplastico.com>

El material debe ser suficiente para que se tenga una alimentación constante al sistema y este se mantenga trabajando de manera interrumpida de forma manual.

De diseño sencillo y práctico es una de las alternativas más viables si solo se quiere almacenar material.

Para un buen funcionamiento de la tolva de sección rectangular se debe tomar como regla general que la garganta de alimentación debe tener un diámetro igual al

diámetro nominal del husillo y un largo de 1.5 ó 2 veces el diámetro nominal del tornillo.

2.4.4.3. Selección de la tolva de alimentación

La tolva de sección circular, es más recomendada por diseñadores y proveedores, pero son más caras y difícil de construir que las secciones rectangulares que son más viables dependiendo del tipo de proceso y material que se quiera transportar.

Para el diseño de la máquina peletizadora se diseñará la tolva de sección rectangular por lo expuesto anteriormente.

2.4.5. Análisis del plato rompedor.

El plato rompedor se encuentra al final del cilindro. Se trata de un disco delgado de metal con agujeros.

El plato rompedor es el primer elemento del cabezal destinado a romper con el patrón de flujo en espiral que el husillo imparte; mientras que la función de los filtros es la de eliminar del peletizado partículas y/o grumos provenientes de impurezas, carbonización, pigmentos y/o aditivos, etc. Los filtros además mejoran el mezclado homogenizado en el fundido.

Los filtros van apilados delante del plato rompedor, primero se sitúa los de malla más ancha, reduciendo el tamaño de malla progresivamente. Detrás se sitúa un último filtro también de malla ancha y finalmente el plato rompedor que soporta los filtros.

Conforme se ensucian las mallas es necesario sustituirla para evitar una caída de presión excesiva y que disminuya la producción. Por ello, el diseño del plato debe ser de fácil reemplazo, tal como se muestra en la figura 2.20.

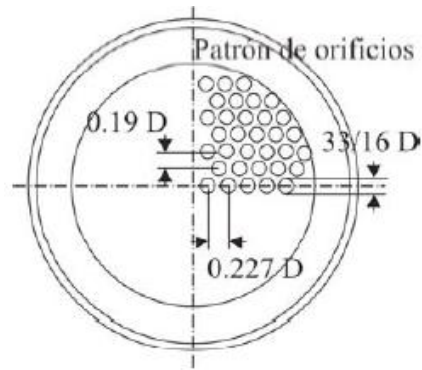


Figura 2. 20 Plato rompedor

2.4.6. Análisis del cabezal y dado peletizador

El cabezal es la pieza situada al final del cilindro, que se encuentra sujetando el dado peletizador y por lo general manteniendo el plato rompedor, generalmente va atornillado al cilindro figura 2.21.

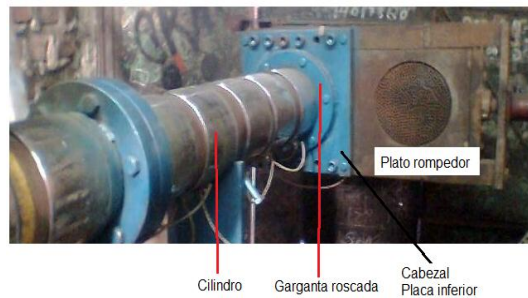


Figura 2. 21 Esquema de un cabezal

El perfil interno del cabezal debe facilitar en lo posible el flujo del material hacia el dado, el material fluye del cilindro al dado peletizador, situado en el cabezal.

La sección transversal del dado se diseña para proporcionar el flujo del material a velocidad constante. Este sistema es quien le da el nombre a la máquina, ya que de este salen los pellets en forma de espaguetis como se observa en la figura 2.22.

Dentro del dado se almacena el material que sale del husillo provocando una presión que impulsa a salir por los orificios del dado, que serán enfriados rápidamente en una canoa de agua, trasladados y secados hacia la cortadora. Por lo general el número de

agujeros en el dado son de 10-30, dependiendo de diámetro del husillo y número de revoluciones del motor.



Figura 2. 22 Esquema de un dado peletizador en funcionamiento

2.4.7. Análisis del sistema de calentamiento

Uno de los parámetros fundamentales del proceso de peletizado de plásticos es la capacidad plastificadora del cilindro, dentro del cual se debe fundir al polímero para que éste pueda ingresar a presión al dado peletizador.

El calentamiento del cilindro se produce, casi exclusivamente, mediante resistencias eléctricas. “El sistema de calentamiento de la peletizadora es responsable de suministrar entre un 20-30% del calor necesario para fundir el polímero, el calentamiento suele ser aproximadamente de 25 a 50 vatios/in² (38750 a 77500 W/m²)”⁵⁸.

2.4.8. Análisis del sistema de movimiento

2.4.8.1. Análisis del motor

El motor de la peletizadora es el componente del equipo responsable de suministrar la energía necesaria para producir la alimentación del polímero, parte de su fusión (70 a 80%), su transporte y plastificación a través del cabezal y el dado peletizador.

⁵⁸ GROOVER, Mikell, Op. Cit. P. 330

Los motores incorporados en las líneas de peletización son eléctricos y operan con voltajes de 220 y 440 V como se muestra en la figura 2.23.



Figura 2. 23 Esquema de un motor eléctrico

Las peletizadoras modernas emplean motores DC (corriente continua), ya que permiten un amplio rango de velocidades de giro, bajo nivel de ruido y un preciso control de la velocidad.

Se recomienda que la potencia de diseño sea de 1 HP por cada 10 a 15 lb/h de caudal, sin embarco para las aplicaciones de alto requerimiento de mezclado esta relación puede llegar a ser de 1HP por cada 3 a 5 lb/h.

2.4.8.2. Análisis de la caja reductora

Realiza la función de bajar la velocidad y aumentar la fuerza o torque el tornillo. Por el diseño de estas cajas deben estar siempre con buena lubricación y con una temperatura adecuada del aceite para que conserve la viscosidad y soporte presión de contacto como se muestra en la figura 2.24.

Este tipo de caja utilizan un balero axial para soportar la contra presión del tornillo. Las cajas reducen la velocidad hasta en un 20:1. Los principales componentes internos de una caja reductora se describen (Anexo E; Tabla E-5).

La lubricación en este tipo de cajas se lo realizará con aceite Mobilith SHC 220, que combinan las características únicas de un fluido base sintética con un espesante de jabón complejo de litio.

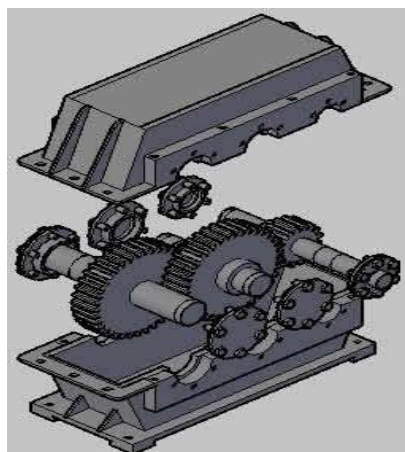


Figura 2. 24 Esquema de una caja reductora

La Mobilith SHC 220 es una grasa anti-desgaste particularmente adecuada para aplicaciones de rodamientos de velocidad elevada, como los presentes en motores eléctricos, cajas reductoras, dónde se requiere reducción de fricción, bajo desgaste y larga vida de servicio. Entre sus beneficios tenemos:

- Excepcional desempeño tanto a altas como a bajas temperaturas.
- Excelente resistencia a la corrosión y la oxidación.
- Aumento de la protección contra la penetración del agua.
- Reducción del consumo de energía (Bajo coeficiente de tracción).

CAPITULO III

3. CÁLCULOS DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA MÁQUINA PELETIZADORA

3.1. Capacidad de producción de la máquina peletizadora

Para poder iniciar los cálculos de diseño de la máquina se tomará como dato de referencia, la capacidad de producción requerida por el cliente.

$$Capacidad = 25 \frac{kg}{hr} \approx \left(\frac{55lb}{hr} \right)$$

3.2. Cálculo de los elementos del husillo/tornillo.

De acuerdo con los requerimientos que se menciona en el capítulo II, la selección del husillo se lo realizará conociendo el proceso y el material a procesar, y sobre todo la capacidad de producción requerida por el cliente, es por lo cuál que se seleccionó un husillo de diámetro de 63mm. (Anexo F, Tabla F-1.1);

Con lo cual se procede a realizar los cálculos de diseño del husillo como son alturas de filetes del husillo, paso, longitud del husillo, ángulo del filete, ancho del canal del husillo, velocidad de giro, y el número de filetes.

3.2.1. Altura del filete (H)

La variación de altura en el filete a lo largo de la zona de trabajo del husillo, depende de la conicidad del núcleo como se muestra en la figura 3.1, de esta manera se tendrá una altura en el inicio de la zona de alimentación, y otra en el final de la zona de dosificación como se determinará a continuación.

H_a = Altura del filete al inicio de la zona de alimentación = 9.6 mm

H_d = Altura del filete al final de la zona de dosificación = 2.4 mm

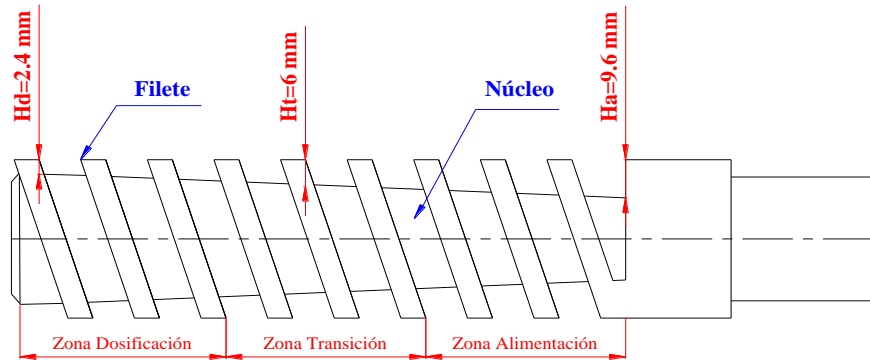


Figura 3. 1 *Altura del filete en cada zona del husillo*

3.2.2. Altura del filete en la zona de transición

En la sección 2.4.3.16; se menciona tres zonas de trabajo en el husillo, cada zona tiene su función dentro del proceso, para poder calcular la presión de diseño se tomará como referencia la altura del filete en la zona de transición del husillo, ya que en esta zona se produce la primera transformación del sólido (LDPE) dónde se obtendrá una presión de diseño de la peletizadora, también en esta zona se produce las siguientes transformaciones⁵⁹.

- Se expulsa el aire atrapado al ingreso del material (compactación) forzándola a ir hacia atrás (en dirección a la tolva).
- Se mejora la transferencia de calor desde las paredes de la camisa calentada conforme disminuye el espesor de la capa del material.
- Se podrá determinar una presión de diseño tomando como referencia la altura de filete en la zona de transición.

Para poder determinar una altura de filete en la zona de transición se tomará como referencia los datos ya conocidos como son, la altura del filete en la zona de alimentación, dosificación y se realizará un promedio entre estas dos alturas.

⁵⁹ <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/286/9/T-ESPE-017671-5.pdf>

$$Ht = \frac{Ha + Hd}{2} \quad Ec (01)$$

Dónde

Ht = Altura del filete en la zona de transición.

$$Ht = \frac{9.6 + 2.4}{2}$$

$$Ht = 6 \text{ mm } (0.236 \text{ plg})$$

3.2.3. Paso (P)

Paso se determina a la distancia entre dos cuerdas adyacentes, medida en forma paralela al eje del husillo. El paso del husillo se determinará mediante (Anexo F, Tabla F-1.2), y este valor es el siguiente.

$$P = 63 \text{ mm}$$

3.2.4. Longitud del husillo (L)

Para la longitud del husillo se tomará en cuenta la relación longitud/diámetro (L/D), ya analizada en la sección 2.4.3.3, que es de 20:1.

$$\frac{L}{D} = 20 \quad Ec (02)$$

Dónde

L = Longitud del husillo

D = Diámetro del husillo

$$L = 20 * 63 \text{ mm}$$

$$L = 1260 \text{ mm}$$

3.2.5. Ángulo del filete

El ángulo de las hélices va ser constante a lo largo del husillo, y se lo determinará a partir de la ecuación⁶⁰.

$$\theta = \tan^{-1} * \frac{P}{\pi * D} \quad Ec (03)$$

Dónde

D = Es el diámetro del husillo

P = Paso del husillo

θ = Ángulo de la hélice de canal

Teniendo en cuenta que $P = D$ se tendrá (Anexo F, Tabla F-1.2)

$$\theta = \tan^{-1} * \frac{1}{\pi}$$

$$\theta = 17.657^\circ$$

De lo anterior podemos concluir que para husillo especializados (en cuanto al tipo de material a procesar) siempre se utilizara el ángulo $\theta = 17.65^\circ$ para cualquier tipo de diámetro cumpliéndose que $P = D$.

3.2.6. Ancho del canal del husillo (W)

El ancho del canal es la distancia entre filetes, medida perpendicularmente como se muestra en la figura 3.2.

⁶⁰FAIRES, V.M, *Diseño de elementos de máquinas*, Cuarta edición, Editorial Montaner y Simón S.A, Barcelona, P. 559

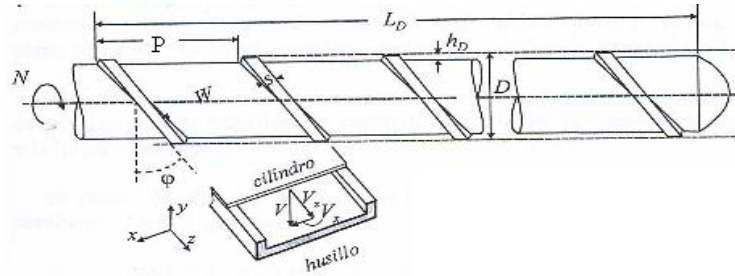


Figura 3. 2 Ancho del canal

Y se lo determinará mediante la ecuación⁶¹.

$$W = \pi * D * \tan \theta \quad Ec (04)$$

Dónde

D = Diámetro del husillo

W = Ancho del canal (mm)

$$W = \pi * 63mm * \tan(17.65^\circ)$$

$$W = 60 \text{ mm}$$

3.2.7. Velocidad de giro del husillo (rpm)⁶²

$$N_{min} = \frac{R}{2.3 * D^2 * Hd * g} \quad Ec (05)$$

Dónde:

R = Capacidad de producción (25 kg/hr = 55 lb/hr)

2.3= Factor de conversión

D = Diámetro del husillo (63mm \approx 2.48 plg)

⁶¹ FAIRES, V.M, Op. Cit. P 559

⁶² www.grin.com/es/e-book/.../extrusion-y-coextrusion-de-lamina

Hd = Altura del filete al final de la zona de dosificado (0.0944 plg)

g = Gravedad específica (0.935 gm/cm³)⁶³

$$N = \frac{55 \text{ lb/hr}}{2.3 * (2.48 \text{ plg})^2 * 0.0944 \text{ plg} * 0.935 \text{ gm/cm}^3}$$

$$N = 44.0 \text{ rpm}$$

Para cálculos de la presión, flujo de fricción, y flujo de presión que se lo hará más adelante se necesitará la velocidad de giro en rad/seg. Así que se lo realizará mediante el factor de conversión correspondiente como se muestra a continuación.

$$N = 44.0 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{\text{rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}$$

$$N = 4.60 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

3.2.8. Cálculo del número de filetes del husillo

El número de filetes se calculará por medio de la relación de la longitud diametral que comprende el diámetro del husillo y el número de filetes.

$$\frac{L}{D} = \frac{\text{Relación longitud}}{\text{diámetro}} = \text{Número de filetes} \quad \text{Ec (06)}$$

$$\frac{L}{D} = \frac{1260 \text{ mm}}{63 \text{ mm}} = 20 \text{ Filetes}$$

3.2.9. Resumen de parámetros geométricos calculados para el husillo.

Los parámetros necesarios para el husillo se muestran en un resumen en la tabla 3.1.

⁶³ <http://www.iyg.com.ec/IYG/geomem1.swf>

Parámetro	Símbolo	Magnitud
Ángulo de filete	θ	17.65°
Velocidad de giro	N	44.0 rpm
Diámetro del husillo	D	63 mm
Ancho del canal	W	60 mm
Altura de filetes	H	Ha= 9.6 mm Hd=2.4 mm Ht= 6 mm
Longitud del husillo	L	1260 mm
Paso	P	63 mm

Tabla 3. 1 Resumen de parámetros

Fuente: Los autores

3.3. Potencia del motor

La potencia del motor se divide en dos cálculos, el primero es por la potencia de consumo del husillo, y esta a su vez representa la potencia para vencer los flujos de arrastre y de presión.

La segunda parte del cálculo es la potencia de las pérdidas que tiene del motor, en la cual se tomaron en cuenta dos parámetros que son por instalación, y por la caja reductora.

Sumando las dos potencias calculadas se encuentra la potencia real del motor, para poder realizar los cálculos de la potencia, se debe calcular varios parámetros necesarios que son la velocidad de cortadura, la viscosidad aparente, presión, flujo de fricción, flujo de presión, y finalmente se calculará la potencia necesaria en base al flujo.

3.3.1. Velocidad de cortadura (γ)

Al momento de determinar este parámetro necesario para la potencia del motor se debe considerar que el flujo es Newtoniano es decir que su viscosidad se mantiene constante con el tiempo. Con la razón de corte $\gamma = 1000$ 1/s (ver tabla 1.3; pág. 16); se puede determinar la viscosidad aparente.

3.3.2. Viscosidad Aparente (μ_a)

Tomando como dato la velocidad de cortadura de un polímero fundido se obtendrá la viscosidad aparente, que es una propiedad de un fluido que tiene a oponerse a su flujo, cuando se le aplica una fuerza. Este dato se lo obtendrá (Anexo F; Tabla F-2.1)

$$u_a = 200 Pa \cdot s$$

$$u_a = 2.0 \times 10^{-4} MPa \cdot s$$

3.3.3. Presión (P)

Todas las presiones representan una medida de la energía potencial (energía que mide la capacidad que tiene dicho sistema para realizar un trabajo) por unidad de volumen en un fluido y se puede calcular mediante la ecuación⁶⁴.

$$P = \frac{6 * \pi * \mu_a * L * D * N * \cot\theta}{Ht^2} \quad Ec (07)$$

Dónde

P = Presión

μ_a = Viscosidad aparente

L = Longitud del husillo

D = Diámetro del husillo

⁶⁴ <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursosos/r58260.PDF>

N = Número de revoluciones (4.6 rad/s)

Ht = Altura del filete en la zona de transición.

$$P = \frac{6 * \pi * 2.0 \times 10^{-4} \text{ MPa} * s * 1260 \text{ mm} * 63 \text{ mm} * 4.6 \text{ rad/s} * \cot 17.65}{(6 \text{ mm})^2}$$

$$P = 134.37 \text{ MPa}$$

$$\Delta P = 67.184 \text{ MPa}$$

3.3.4. Flujo de fricción o arrastre (Q_f)

El flujo de fricción de una peletizadora, se deriva del cálculo entre dos placas paralelas en estado estacionario, y se puede calcular mediante la siguiente ecuación⁶⁵.

$$Q_f = \frac{1}{2} * \pi * D * N * Hd * W * \cos \theta \quad \text{Ec (08)}$$

Dónde:

Q_f = Flujo de fricción

π = Es un factor constante

D = Es el diámetro del husillo

N = Es el número de revoluciones (4.6 rad/s)

Hd = Altura del filete al final de la zona de dosificación

W = Es el ancho del canal

θ = Es el ángulo del filete.

$$Q_f = \frac{1}{2} * \pi * 63 \text{ mm} * \frac{4.60 \text{ rad}}{s} * 2.4 \text{ mm} * 60 \text{ mm} * \cos 17.65$$

$$Q_f = 63048.011 \frac{\text{mm}^3}{s}$$

$$Q_f = 6.3048 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{s}$$

⁶⁵ http://es.wikipedia.org/wiki/Extrusi%C3%B3n_de_pol%C3%ADmero

3.3.5. Flujo de presión o retroceso (Q_P)

El flujo de presión es por lo general, un flujo permanente e independiente del tiempo; es decir, las características hidráulicas (presión, velocidad, etc.) en cualquier sección no cambian con el tiempo. Para calcular el flujo de presión se lo realizará mediante la siguiente ecuación⁶⁶.

$$Q_P = \frac{1}{12 * \mu_a} * W * Hd^3 * \text{sen}\theta * \frac{\Delta P}{L} \quad \text{Ec (09)}$$

Dónde

Q_P = Flujo de presión

μ_a = Viscosidad aparente

W = Ancho del canal

Hd = Altura del filete al final de la zona de dosificación

ΔP = Variación de presión

L = Longitud del husillo

$$Q_P = \frac{1}{12 * 2.0 \times 10^{-4} \text{ MPa} * s} * 60 \text{ mm} * (2.4 \text{ mm})^3 * \text{sen}17.65 * \frac{67.184 \text{ MPa}}{1260 \text{ mm}}$$

$$Q_P = 5041.822 \text{ mm}^3/s$$

$$Q_P = 5.04 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{s}$$

3.3.6. Flujo total (Q_T)

El flujo total es la sumatoria de los flujos de fricción y de presión de esta manera se tendrá⁶⁷.

⁶⁶ <http://artemisa.unicauca.edu.co/-hdulica/fpresion.pdf>

⁶⁷ <http://artemisa.unicauca.edu.co/-hdulica/fpresion.pdf>

$$Q_T = Q_f + Q_P \quad Ec (10)$$

Dónde:

Q_T = Flujo total

Q_f = Flujo de fricción

Q_P = Flujo de presión

$$Q_T = 6.305 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s} + 5.04 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

$$Q_T = 6.809 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

3.3.7. Potencia en base al flujo (P_F)

La potencia en base al flujo se calcula mediante el flujo total calculado y a la variación de la presión de trabajo⁶⁸.

$$P_F = Q_T * \Delta P \quad Ec (11)$$

Dónde

P_F = Potencia en base al flujo

Q_T = Flujo total

ΔP = Variación de presión (67.184 MPa)

$$P_F = 6.809 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s} * 67.184 MPa$$

$$P_F = 4.57 \times 10^{-3} MPa * \frac{m^3}{s}$$

$$P_F = 4.57 KW$$

⁶⁸ http://es.wikipedia.org/wiki/Extrusi%C3%B3n_de_pol%C3%ADmero

3.3.8. Pérdidas por instalaciones eléctricas (Z_e)

Al hablar de pérdidas por instalaciones eléctricas, se refiere a la potencia que se pierde en un motor, y que no es otra cosa que la diferencia entre la potencia que recibe la línea de origen y la entrega al final. Para el cálculo de las pérdidas por instalación eléctricas se lo realizará de la siguiente manera⁶⁹.

$$Z_e = 0.015(P_F) \quad Ec (12)$$

Dónde

Z_e = Representa las pérdidas por instalaciones eléctricas

P_F = Potencia en base al flujo

$$Z_e = 0.015(4.57 \text{ KW})$$

$$Z_e = 0.0686 \text{ KW}$$

3.3.9. Pérdidas en motores y generadores (Z_m)

Las pérdidas en motores y generadores se producen por un incorrecto pre-encendido, que se puede producir al momento de querer hacer funcionar a la máquina.

Para el cálculo de las pérdidas de motores y generadores se determinará de la siguiente manera⁷⁰.

$$Z_m = 0.03(P_F) \quad Ec (13)$$

Dónde

P_F = Potencia en base al flujo

⁶⁹ GANNON, Mc, H, *Shaping and treating of Steel*, Novena edición, Editorial United States Steel, USA, 1971, P. 636

⁷⁰ Idem. P 636

Z_m = Representa las pérdidas en motores y generadores

$$Z_m = 0.03(4.57 \text{ KW})$$

$$Z_m = 0.1371 \text{ KW}$$

La potencia real en un motor se la calculará en base a la sumatoria de la potencia de flujos, y las pérdidas por instalaciones eléctricas y por las pérdidas en motores y generadores. Y se determinará mediante la siguiente ecuación⁷¹.

$$P_R = P_F + Z_e + Z_m \quad \text{Ec (14)}$$

Dónde

Z_m = Representa las pérdidas en motores y generadores

Z_e = Representa las pérdidas por instalaciones eléctricas

P_T = Potencia en base al flujo

P_R = Potencia real en base al flujo

$$P_R = 4.57 \text{ KW} + 0.0686 \text{ KW} + 0.1371 \text{ KW}$$

$$P_R = 4.7757 \text{ KW}$$

En el estudio de los parámetros de diseño se determina que la potencia real en base al flujo requerida para cumplir este proceso corresponde a 4.7757Kw.

Por lo tanto la potencia real del motor escogida es de 7.5 KW, (Anexo F; Tabla F-2.2.), valor que se encuentra tabulado en catálogos de fabricantes, es importante conocer que un valor que es calculado y no se encuentra en esta lista del catálogo, “Se procede a seleccionar el valor siguiente mayor al obtenido mediante cálculo, ya que esto nos da un factor de seguridad para vencer los flujos de fricción y de presión antes mencionados”⁷².

⁷¹ GANNON, Mc, H, Op. Cit. P. 636

⁷² ARGES, K. Palmer, *Mecánica de los materiales*, Primera edición, Editorial Cecsca, México, 1981, P. 19

3.4. Selección de bandas y poleas

Por la gran flexibilidad, buena elasticidad, mínimo mantenimiento, bajo costo y por qué se las puede encontrar fácilmente en el mercado, se seleccionará una transmisión por correas trapezoidales. Estas evitarán dañar el husillo si ocurren sobrecargas, caso en el cuál, las correas patinarán sobre las poleas.

Para determinar el número de bandas será necesario calcular varios parámetros como; la potencia de diseño (H_p), selección de banda "V", velocidad tangencial, diámetros de las poleas (conductora y conducida), relación de velocidades angulares, distancia entre centros de las poleas, longitud de banda, potencia nominal de cada banda, factor de corrección por ángulo de abrazamiento, factor de corrección por longitud.

Con estos parámetros se podrá calcular el número de bandas y también determinar las fuerzas octogonales de las bandas.

3.4.1. Potencia de diseño (P_D)

En el momento en que se arranca un motor eléctrico, la transmisión por correa trapezoidal sufre una sobrecarga.

Esta sobrecarga, conjuntamente con el tipo de servicio que presta la transmisión es considerada en la selección del número y tipo de correas a utilizar. Usando un "Factor de Aumento de Potencia". Y se determinará mediante la siguiente ecuación⁷³.

$$P_D = Z * C_2 \quad Ec (15)$$

Dónde

P_D = Potencia de diseño (Kw)

⁷³ ALBUJA, R, *Estudio Teórico-Practico sobre bandas tesis*, Quito, E.P.N, P. 224

P_{RM} = Potencia real del motor (7.5 Kw)

C_2 = Factor de corrección por sobrecargas 1.4 (Anexo F; Tabla F-2.3)

$$P_D = 7.5 \text{ Kw} * 1.4$$

$$P_D = 10.5 \text{ Kw}$$

3.4.1.1. Potencia de diseño en Hp

Para encontrar la potencia de diseño en Hp solamente se necesitará de un factor de conversión que se muestra a continuación.

$$P_D = 10.5 \text{ KW} * \frac{1 \text{ Hp}}{0.746 \text{ KW}}$$

$$P_D = 14.08 \text{ Hp}$$

La potencia de diseño es de 14.08 Hp, y por lo que en la construcción se seleccionará un motor de 15 Hp, se toma en cuenta la explicación que se menciona en la sección 3.3.9.

3.4.2. Selección de bandas en “V”

Con una potencia de diseño requerida de 10.5 KW, y para una velocidad angular de 1800 rpm; las bandas apropiadas son del tipo "B" (Anexo; F Tabla F-2.4)

3.4.3. Velocidad tangencial del husillo

En la sección 3.2.7, se calculó una velocidad de giro para el husillo igual a 44 rpm. Se utilizará un reductor de tornillo sin fin, para bajar la velocidad desde la polea conducida a las 44 rpm requeridas.

El reductor seleccionado, es de una entrada y una salida, relación de transmisión de 20:1 (Anexo F; Tabla F-2.5).

La velocidad de la polea conducida, se encontrará con la siguiente relación⁷⁴.

$$P_t = \frac{n_e}{n_s} \quad Ec (16)$$

Dónde

Rt = Relación de transmisión del reductor = 20

n_e = Velocidad de entrada al reductor (rpm)

n_s = Velocidad de salida del reductor = 44 rpm

$$n_e = P_t * n_s$$

$$n_e = 20 * 44rpm$$

$$n_e = 880 rpm$$

Para el cálculo de la velocidad en la polea conducida, se necesitara la velocidad de entrada al reductor en unidades de rps, para lo cual se transformará mediante un factor de conversión.

$$n_e = 880 \frac{rev}{min} * \frac{1 min}{60 seg}$$

$$n_e = 14.67 \frac{rev}{seg} (rps)$$

3.4.4. Diámetro de las poleas y relación de velocidades

3.4.4.1. Diámetro de la polea conductora (d_1)

Para determinar el diámetro de esta polea se utilizará las tablas dadas por los fabricantes, con una potencia del motor de 10.5 Kw y una velocidad angular 1800 rpm. Se seleccionará un diámetro de la polea, pero tomado en cuenta si no es un

⁷⁴ SHIGLEY. J E, *Diseño en ingeniería mecánica*, Octava edición, Editorial Mc Graw-Hill, México, 2006, P. 734

número entero una aproximación de polea comercial que se pueda adquirir en nuestro medio, (Anexo F; Tabla F-2.6.)

$$d_1 = 3.75 \text{ plg}$$

$$d_1 = 100 \text{ mm}$$

3.4.4.2. Relación de velocidades angulares

La velocidad angular de la polea conducida es de 880 rpm, y la velocidad angular de la polea conductora de 1800 rpm. La relación de velocidades en la reducción será⁷⁵.

$$R = \frac{n_1}{n_e} \quad Ec (17)$$

Dónde

n_1 = Número de revoluciones del motor (1800rpm)

n_e = Número de revoluciones de entrada del reductor (800 rpm)

$$R = \frac{1800 \text{ rpm}}{880 \text{ rpm}}$$

$$R = 2.045$$

3.4.4.3. Diámetro de la polea conducida (d_2)

La polea conducida, va acoplada sobre el eje del reductor, que de acuerdo a la relación de velocidades, el diámetro de ésta resultará ser igual a⁷⁶:

$$R = \frac{d_2}{d_1} \quad Ec (18)$$

⁷⁵ SHIGLEY. J E, Op. Cit. P. 734

⁷⁶ SHIGLEY. J E, Op. Cit. P. 734

Dónde

d_2 = Diámetro de la polea conductora

$$d_2 = R * d_1$$

$$d_2 = 2.045 * 100 \text{ mm}$$

$$d_2 = 204.55 \text{ mm}$$

El rango de velocidad que trabajan las bandas trapezoidales es⁷⁷.

$$2\text{m/s} \leq V \leq 20\text{m/s}$$

La velocidad a la que trabajará la banda en la polea conducida, se calculará según la ecuación⁷⁸.

$$V = \pi * n_e * d_2 \tag{Ec (19)}$$

Dónde

V = Velocidad de la polea conducida (m/s)

n_e = Velocidad angular de la polea conducida (14.67 rps)

d_2 = Diámetro de la polea conducida

$$V = \pi * 14.67 \text{ rps} * 0.2 \text{ m}$$

$$V = 9.43 \text{ m/s}$$

Con este valor se podrá comprobar que la velocidad de la polea conducida, trabaja dentro de los rangos recomendados.

⁷⁷ DECKER. K, *Elementos de máquinas*, Primera edición, Editorial Urmo, México, 1970, P. 342

⁷⁸ FAIRES, V.M, Op. Cit. P. 588

Para cálculo de las fuerzas octogonales en la polea, se utilizará la velocidad en la unidad de pie/min, por lo tanto se transformará utilizando el factor de conversión.

$$V = 9.43 \frac{m}{s} * \frac{60s}{1 \text{ min}} * \frac{3.2808 \text{ pie}}{1 m}$$

$$V = 1856.299 \frac{\text{pie}}{\text{min}}$$

3.4.5. Características de la banda seleccionada

3.4.5.1. Distancia mínima entre centros (C)

El alcance nominal de la distancia entre centros, está comprendido entre d_2 y $3(d_1 + d_2)$; ⁷⁹ de tal forma que:

$$C_{min} = 204.55 \text{ mm}$$

$$C_{máx} = 913.65 \text{ mm}$$

Debido a la geometría del motor se requiere para el diseño una distancia mínima de 550 mm que en un parámetro que se encuentra en el rango.

3.4.5.2. Longitud de bandas (L_b)

La longitud de las bandas, se calculará a partir de la siguiente expresión ⁸⁰.

$$L_b = 2C + 1.57 * (d_2 + d_1) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4C} \quad \text{Ec (20)}$$

⁷⁹ SHIGLEY, J E, Op. Cit. P. 880

⁸⁰ SHIGLEY, J E, Op. Cit. P. 880

Dónde

L_b = Longitud de la banda (mm)

C = Distancia aproximada entre los centros de la poleas 1-2 es 550 mm

$$L_b = 2(550\text{mm}) + 1.57 * (204.55 + 100) + \frac{(204.55 - 100)^2}{4 * 550}$$

$$L_b = 1583.11 \text{ mm}$$

$$L_b = 63 \text{ plg}$$

Del catálogo dado por los fabricantes se seleccionará el valor aproximado al calculado. La banda a utilizar es la B 63 la distancia real entre centros 1-2; es 21.8 plg = 553.72 mm (Anexo F; Tabla F-2.7)

3.4.5.3. Números de bandas (N_b)

La cantidad de bandas requeridas se calculará a partir de la siguiente expresión⁸¹.

$$N_b = \frac{\text{Potencia requerida}}{\text{Capacida por banda}} \quad Ec (21)$$

$$N_b = \frac{Pr}{Pn * C_1 * C_3} \quad Ec (21. a)$$

Dónde

N_b = Número de bandas

Pr = Potencia requerida operación (10.5 Kw)

Pn = Potencia nominal de cada banda Kw

C_1 = Factor de corrección por ángulo de abrazamiento.

C_3 = Factor de corrección por longitud

⁸¹ DECKER, K, Op. Cit. P. 382

3.4.5.4. Potencia nominal de cada banda (P_n)

Está tabulada en función del diámetro de la polea conductora, de su velocidad angular y de la relación de transmisión. Para lo cual se obtendrá:

d_1 = Diámetro de la polea conductora (100 mm)

w = Velocidad angular (1800 rpm)

R = Relación de transmisión (2.04)

$P_n = 7.45 \text{ HP} = 5.56 \text{ kw}$ (Anexo F; Tabla F-2.8)

3.4.5.5. Factor de corrección por ángulo de abrazamiento

Para la longitud de la banda se determinará a partir de la tabla correspondiente (Anexo F; Tabla F-2.9). El valor es $C_1 = 0.97$

3.4.5.6. Factor de corrección por longitud

Para la longitud de la banda calculada, a partir de la tabla correspondiente (Anexo F; Tabla F-2.10). El valor es $C_3 = 0.95$

Reemplazando los valores obtenidos, en la ecuación 21.a se obtendrá:

$$Nb = \frac{10.5Kw}{5.56 Kw * 0.97 * 0.95}$$

$$Nb = 2.04$$

Por lo tanto se deberá usar 2 bandas B63

3.4.5.7. Cálculo de las fuerzas ortogonales en la polea

Las fuerzas que se producen por efecto de la polea a lo largo de los ejes Y y Z como se puede observar en la figura 3.3; se determinará mediante las siguientes ecuaciones⁸²:

$$F_{PY} = (F_1 - F_2) \cdot \sin \theta_2 \quad Ec (22)$$

$$F_{PZ} = (F_1 + F_2) \cdot \cos \theta_2 \quad Ec (23)$$

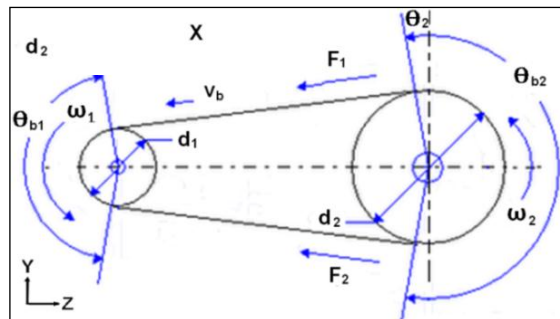


Figura 3. 3 Esquema de las tensiones en la polea del rotor

Las tensiones se pueden evaluar de la siguiente manera⁸³:

$$P_D = (F_1 - F_2) * Vb \quad Ec (24)$$

Dónde

P_D = Potencia de diseño

F_1 = Tensión de la banda en el lado tenso

F_2 = Tensión de la banda en el lado flojo

Vb = Velocidad de la banda (1856.299 pie/min; sección 3.4.4.3)

⁸² SHIGLEY, J. Op. Cit. P. 872

⁸³ SHIGLEY, J. Op. Cit. P. 873

Considerando la tensión centrífuga de la polea (F_c) se tendrá que⁸⁴:

$$\frac{F_1 - F_c}{F_2 - F_c} = e^{f_{rb} \cdot \theta_{b2}} \quad Ec (25)$$

Dónde

f_{rb} = Coeficiente de rozamiento para bandas trapeciales (0,5123)⁸⁵

θ_{b2} = Ángulo de envolvente de la banda con la polea conductora

La tensión centrífuga de la banda en (lbf) corresponde a⁸⁶:

$$F_c = K_c \cdot \left(\frac{Vb}{1000} \right)^2 \quad Ec (26)$$

Dónde

K_c = Factores de corrección de la tensión centrífuga de bandas trapeciales (0.965 Anexo F; Tabla F-2.11)

$$F_c = 0.965 * \left(\frac{1856.27}{1000} \right)^2$$

$$F_c = 14.68 \text{ N (3.3 lbf)}$$

Ángulo de envolvente de la banda con la polea del rotor será⁸⁷:

$$\theta_{b2} = 180^\circ + 2 \cdot \sin^{-1} \left(\frac{d_2 - d_1}{2 \cdot c} \right); \quad Si \ d_2 > d_1 \quad Ec (27)$$

$$\theta_{b2} = 180^\circ + 2 \cdot \sin^{-1} \left(\frac{204.55 \text{ mm} - 100 \text{ mm}}{2 * 553.72 \text{ mm}} \right)$$

$$\theta_{b2} = 192^\circ$$

⁸⁴ SHIGLEY, J. Op. Cit. P 880

⁸⁵ SHIGLEY, J. Op. Cit. P 880

⁸⁶ SHIGLEY, J. Op. Cit. P 881

⁸⁷ SHIGLEY, J. Op. Cit. P 863

Con lo cual de la ecuación 25 reemplazando los valores calculados y despejando F1 y F2 se tendrá:

$$\frac{F_1 - F_c}{F_2 - F_c} = e^{f_{rb} \cdot \theta_{b2}}$$

$$F_1 = 1128.15 \text{ N}$$

$$F_2 = 14.68 \text{ N}$$

El momento torsor (T) en la polea será⁸⁸:

$$T = \frac{(F_1 - F_2) \cdot d_2}{2} \tag{Ec (28)}$$

$$T = \frac{(1128.15 \text{ N} - 14.68 \text{ N}) \cdot 0.204 \text{ mm}}{2}$$

$$T = 113.57 \text{ Nm}$$

La fuerza tangencial (F_{TP}) en la polea será⁸⁹:

$$T = \frac{F_{TP} \cdot d_2}{2} \tag{Ec (29)}$$

$$F_{TP} = \frac{2T}{d_2}$$

$$F_{TP} = \frac{2(113.57 \text{ Nm})}{0.204 \text{ m}}$$

$$F_{TP} = 1113.47 \text{ N}$$

En transmisiones por correas o cadenas; una tensión inicial es aplicada para crear una tensión de trabajo constante.

⁸⁸ CAJAS, Darwin, *Diseño de un triturador pulverizador de estopa de coco para la producción de sustrato granulado*, Tesis, E.P.N, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, Septiembre 2011. P. 95

⁸⁹ Ídem. P. 95

Tomando en consideración esta premisa, la carga radial (F_{RP}) que actúa sobre la polea se podrá determinar con la siguiente ecuación⁹⁰:

$$F_{RP} = f_b * F_{TP} \quad Ec (30)$$

Dónde

f_b = Factor de correa o cadena (Anexo F; Tabla F-2.12)

Para el uso de correas trapeciales el factor escogido es 2.0; con lo cual la fuerza radial (F_{RP}) de la polea será:

$$F_{RP} = 2.0 * 1113.47 N$$

$$F_{RP} = 2226.94 N$$

El ángulo de contacto de la banda con la polea del rotor (θ_{b1})⁹¹:

$$\theta_{b1} = \sin^{-1} \left(\frac{d_2 - d_1}{2 \cdot C} \right) \quad Ec (31)$$

$$\theta_{b1} = \sin^{-1} \left(\frac{204.55 - 100}{2 \cdot 553.72} \right)$$

$$\theta_{b1} = 6.02^\circ$$

Por lo tanto reemplazando los valores en la ecuación 22; las fuerzas ortogonales en la polea del motor son:

$$F_{PY} = (F_1 - F_2) \cdot \sin \theta_{b1}$$

$$F_{PY} = (1128.15 N - 14.68 N) \cdot \sin(6.02^\circ)$$

$$F_{PY} = 105.135 N \approx 0.105 KN$$

⁹⁰ Ídem. P. 95

⁹¹ DARWIN, Cajas. Op. Cit. P. 96

Se reemplazará los valores en la ecuación 23:

$$F_{PZ} = (F_1 + F_2) \cdot \cos \theta_{b1}$$

$$F_{PZ} = (1128.15 N + 14.68 N) \cdot \cos(6.02^\circ)$$

$$F_{PZ} = 1137.72 N = 1.137 KN$$

3.4.6. Torque

El torque es la fuerza que produce los cuerpos en rotación, el motor produce fuerza en el husillo que se encuentra girando. Para medirlo, se utilizará dos procesos diferentes, los cuales se muestran a continuación⁹².

$$P_D = \frac{2 * \pi * N * T}{60} \quad Ec (32)$$

Dónde

P_D = Potencia real diseño (10500 W)

N = Número de revoluciones de salida (44 rpm)

T = Torque

$$T = \frac{P_D * 60}{2 * \pi * N}$$

$$T = \frac{10500 W * 60}{2 * \pi * 44.0 rpm}$$

$$T = \frac{630000}{276.46}$$

$$T = 2278.81 N * m$$

El torque que produce en base a la potencia de la caja reductora será de 2278.81 N*m

⁹² DARWIN, Cajas. Op. Cit. P. 98

Otra forma de calcular el torque⁹³.

$$P_D = T * W \quad Ec (33)$$

Dónde

P_D = Potencia real operación (W)

T = Torque (N*m)

W = Velocidad angular (rad/s)

$$T = \frac{P_D}{W}$$

$$T = \frac{10500 W}{4.6 rad/s}$$

$$T = 2282.61 N * m$$

3.5. Peso del husillo

Es importante calcular el peso de este elemento ya que de él se deriva los cálculos para hallar las fuerzas que se generan en el husillo.

Como cálculos de los volúmenes se determinará el cálculo del alma del husillo, el volumen de los filetes y del muñón, para determinar una sumatoria de estos tres parámetros y calcular el peso del husillo, multiplicándolo por la densidad del material seleccionado.

3.5.1. Volumen del alma del husillo

Tomamos como referencia la sección 3.2.1, se sabe que el alma es un cono truncado con una variación de su diámetro como se muestra en la figura 3.4,

⁹³ DARWIN, Cajas. Op. Cit. P. 99

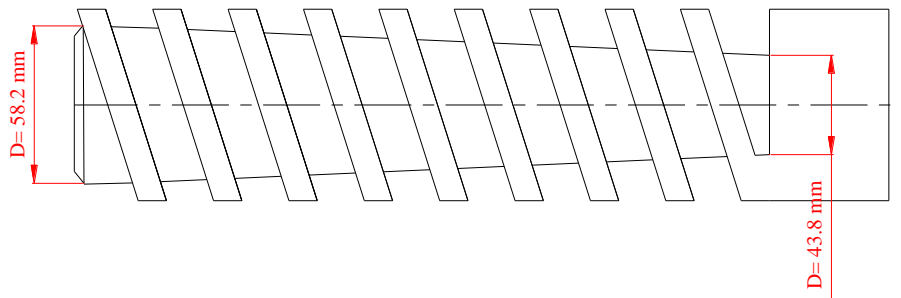


Figura 3. 4 Diagrama del husillo con la variación del diámetro

Y se lo calculará con la siguiente ecuación⁹⁴.

$$V_{al} = \frac{\pi}{3} * h(r^2 + r * R + R^2) \quad Ec (34)$$

Dónde

V_{al} = Volumen de la alma del husillo.

H = Longitud del husillo (1260 mm)

R = Radio mayor del alma del husillo (29.1 mm)

r = Radio menor del alma del husillo (21.9 mm)

$$V_{al} = \frac{\pi}{3} * 1260 \text{ mm}((21.9 \text{ mm})^2 + (21.9 \text{ mm} * 29.1 \text{ mm}) + (29.1 \text{ mm})^2)$$

$$V_{al} = 2591054.302 \text{ mm}^3$$

$$V_{al} = 2.591 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

3.5.2. Volumen de los filetes en cada zona.

Se determinará un cálculo específico para cada una de las zonas del husillo, ya que mediante la figura 3.5, se puede ver que las longitudes del husillo son distintas en

⁹⁴ http://www.geoka.net/poliedros/cono_truncado.html

dos zonas, pero lo que si son iguales es la longitud del filete, así que se determinará primero este parámetro, para tener como referencia el los cálculos siguientes.

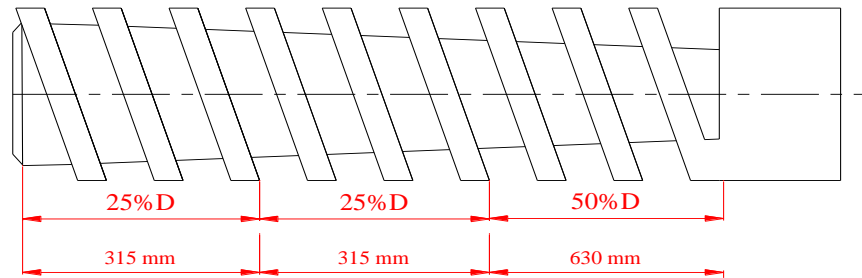


Figura 3. 5 Diferencia de longitud en cada zona del husillo

En la figura 3.6, se presenta el esquema para determinar la longitud del filete a partir de procedimiento trigonométrico.

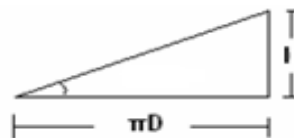


Figura 3. 6 Longitud del filete.

Triángulo rectángulo para hallar la longitud del filete⁹⁵.

$$L = \sqrt{(\pi * D)^2 + l^2} \quad Ec (35)$$

Dónde

L = Longitud del filete (Se muestra en la figura 3.7.)

D = Diámetro del husillo

$$L = \sqrt{(\pi * 63 \text{ mm})^2 + 63 \text{ mm}^2}$$

⁹⁵ <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/123456789/1110/1/668413G633d.pdf>

$$L = 207.705 \text{ mm}$$

$$L = 0.207 \text{ m}$$

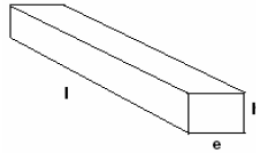


Figura 3. 7 Sección del filete

3.5.2.1. Zona de alimentación

Para el volumen de esta zona se lo determinará mediante la siguiente ecuación⁹⁶.

$$V_1 = L * e * Ha \quad \text{Ec (36. a)}$$

Dónde

V_1 = Volumen en la zona de alimentación

L = Longitud del filete

e = Ancho del filete (6.3 mm)

Ha = Altura del filete al inicio de la zona de alimentación = 9.6 mm

$$V_1 = 0.207 \text{ m} * 0.0063 \text{ m} * 0.0096 \text{ m}$$

$$V_1 = 1.25 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Para hallar el volumen total en la zona de alimentación se multiplica por el número de filetes que hay en dicha zona⁹⁷.

⁹⁶ <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/123456789/1110/1/668413G633d.pdf>

⁹⁷ <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/123456789/1110/1/668413G633d.pdf>

$$N_{filAli} = \frac{L_A}{D} \quad Ec (37. a)$$

Dónde

N_{filAli} = Número de filete en la zona de alimentación

L_A = Longitud zona de alimentación (630 mm)

D = Diámetro (63 mm)

$$N_{filAli} = 630 \text{ mm}/63\text{mm}$$

$$N_{filAli} = 10 \text{ Filtes}$$

Y se calculará el volumen total de la zona de alimentación⁹⁸.

$$V_{TAlim} = V_1 * N_{filAli} \quad Ec (38. a)$$

Dónde

V_{TAlim} = Volumen total en la zona de alimentación

$$V_{TAlim} = 1.25 \times 10^{-5} \text{ m}^3 * 10$$

$$V_{TAlim} = 1.25 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

3.5.2.2. Zona de transición

Al igual que la zona de alimentación el volumen se lo determinará mediante la siguiente ecuación⁹⁹.

$$V_2 = L * e * Ht \quad Ec (36. b)$$

⁹⁸ <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/123456789/1110/1/668413G633d.pdf>

⁹⁹ Cfr. Supra

Dónde

V_2 = Volumen en la zona de transición

L = Longitud del filete.

e = Ancho del filete (6.3 mm)

Ht = Altura del filete en la zona de transición (0.006 m)

$$V_2 = 0.207 \text{ m} * 0.0063 \text{ m} * 0.006 \text{ m}$$

$$V_2 = 7.82 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Para hallar el volumen total en la zona de transición se multiplicará por el número de filetes que hay en dicha franja¹⁰⁰.

$$N_{filTra} = \frac{L_T}{D} \quad Ec (37. b)$$

Dónde

N_{filTra} = Número de filete en la zona de alimentación

L_T = Longitud zona de transición (315 mm)

D = Diámetro (63 mm)

$$N_{filTra} = 315 \text{ mm} / 63 \text{ mm}$$

$$N_{filTra} = 5 \text{ Filtes}$$

Y se calculará el volumen total de la zona de transición¹⁰¹.

$$V_{TTrans} = V_2 * N_{filAli} \quad Ec (38. b)$$

¹⁰⁰ Cfr. Supra

¹⁰¹ Cfr. Supra

Dónde

V_{TTrans} = Volumen total en la zona de transición

$$V_{TTrans} = 7.82 \times 10^{-6} m^3 * 5$$

$$V_{TTrans} = 3.91 \times 10^{-5} m^3$$

3.5.2.3. Zona de dosificación

Los cálculos de volumen en esta zona son iguales a los de la zona de alimentación pero con una variación en la altura del filete¹⁰².

$$V_3 = L * e * Hd \quad Ec (36. c)$$

Dónde

L = Longitud del filete

e = Ancho del filete (6.3 mm)

Hd = Altura del filete al final de la zona de dosificación (2.4 mm)

V_3 = Volumen en la zona de dosificado

$$V_3 = 0.207 m * 0.0063 m * 0.0024 m$$

$$V_3 = 3.13 \times 10^{-6} m^3$$

De igual manera para hallar el volumen total en la zona de dosificación se multiplicará por el número de filetes que hay en dicha franja¹⁰³.

$$N_{filDos} = \frac{L_D}{D} \quad Ec (37. c)$$

¹⁰² Cfr. Supra

¹⁰³ Cfr. Supra

Dónde

$N_{fil\ Dos}$ = Número de filete en la zona de alimentación

L_D = Longitud zona de dosificado (315 mm)

D = Diámetro (63 mm)

$$N_{filDos} = 315\text{ mm}/63\text{ mm}$$

$$N_{filDos} = 5\text{ Filtes}$$

Y se calculará el volumen total de la zona de dosificación¹⁰⁴.

$$V_{TDosif} = V_3 * N_{filDos} \quad Ec (38. c)$$

Dónde

V_{TDosif} = Volumen total en la zona de dosificación.

$$V_{TDosif} = 3.13 \times 10^{-6} m^3 * 5$$

$$V_{TDosif} = 1.565 \times 10^{-5} m^3$$

Después de tener los volúmenes de las zonas, se realizará una suma para determinar un valor total de volumen de los filetes en el husillo.

$$V_{TOTALFILETES} = V_{TAlim} + V_{TTrans} + V_{TDosif} \quad Ec (39)$$

$$V_{TOTALFILETES} = 1.25 \times 10^{-4} m^3 + 3.91 \times 10^{-5} m^3 + 1.565 \times 10^{-5} m^3$$

$$V_{TOTALFILETES} = 1.798 \times 10^{-4} m^3$$

¹⁰⁴ Cfr. Supra

3.5.2.4. Volumen del muñón

“El muñón es la parte posterior del husillo tiene una longitud de 5 a 6 % del diámetro total”¹⁰⁵.

$$Lm = 5.5\% * D \quad Ec (40)$$

$$Lm = 5.5\% * (1260mm)$$

$$Lm = 70 mm$$

Se calculará el volumen de esta parte con la siguiente ecuación¹⁰⁶.

$$Vm = \pi * r^2 * h \quad Ec (41)$$

$$Vm = \pi * (0.0315m)^2 * 0.07m$$

$$Vm = 2.182 \times 10^{-4} m^3$$

De esta manera se suman los valores del volumen del alma del husillo con los valores de filetes del husillo y del muñón se tendrá el volumen total¹⁰⁷.

$$V_{TOTAL} = V_{TOTALDELALMA} + V_{TOTALFILETE} + Vm \quad Ec (42)$$

$$V_{TOTAL} = 2.591 \times 10^{-3} m^3 + 1.798 \times 10^{-4} m^3 + 2.182 \times 10^{-4} m^3$$

$$V_{TOTAL} = 2.989 \times 10^{-3} m^3$$

Con el volumen total se podrá calcular el peso del husillo teniendo en cuenta que el material es un acero AISI 4140 (sección 2.4.1.6.4), resistente para tal proceso cuyas

¹⁰⁵ <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/776/2/T-ESPE-027406-2.pdf>

¹⁰⁶ <http://integrandovolumenesyareas.blogspot.com/2011/05/volumenes-de-revolucion-el-metodo-de.html>

¹⁰⁷ <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/123456789/1110/1/668413G633d.pdf>

especificaciones se analizaron en secciones anteriores, y se obtendrá la densidad del material¹⁰⁸.

$$\rho = \frac{mh}{V} \quad Ec (43)$$

Dónde

mh = Masa del husillo

V = Volumen del husillo

ρ = Densidad del acero AISI 4140 (7580Kg/m³ Anexo F; Tabla F-3.1)

Despejando mh :

$$mh = \rho * V$$

$$mh = 7850 \frac{Kg}{m^3} * 2.989 \times 10^{-3} m^3$$

$$mh = 23.46 \text{ Kg}$$

3.6. Diámetro del cilindro/camisa

El cilindro/camisa es una barra perforada del mismo material del que está fabricado el husillo AISI 4140 (sección 2.4.1.6.4), y por lo tanto para determinar el diámetro se deberá calcular el espesor de pared del cilindro como se muestra en la figura 3.8.

Para calcular el espesor se realizará el análisis de este elemento como un cilindro de pared gruesa, ya que dentro de este sistema se va a generar un presión de 134.37 MPa.

Este diámetro del cilindro se lo utilizará para la sección de temperatura y calefacción, ya que en la superficie exterior se instalarán las resistencias de calor que se analizará más adelante.

¹⁰⁸ <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/776/2/T-ESPE-027406-2.pdf>

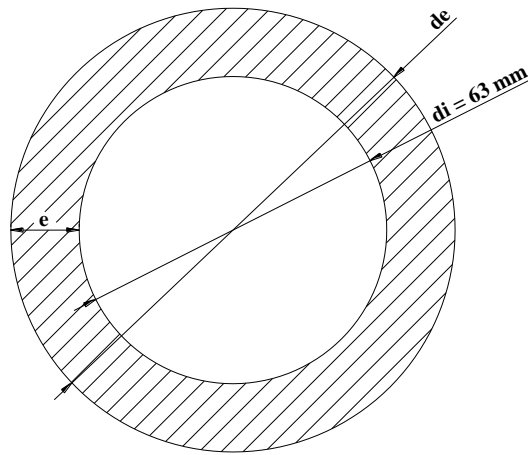


Figura 3. 8 Sección transversal del cilindro.

Para determinar el espesor de pared del cilindro, se tomará como dato de referencia la presión interna que se determinó en la sección 3.3.3, Y se ocupará la siguiente ecuación¹⁰⁹.

$$t = ri \left\{ 1 - \sqrt{\frac{2 pi}{\sigma_T - 2pi}} \right\} \quad Ec (44)$$

Dónde

t = Espesor de la pared (mm)

ri = Radio interno (31.5 mm)

pi = Presión interna (134.37 MPa)

σ_T = Esfuerzo máximo de fluencia del material = 1050 MPa (Anexo F; Tabla F-3.1)

Remplazando los valores:

$$t = 31.5 \text{ mm} * \left\{ 1 - \sqrt{\frac{2 (134.37 \text{ MPa})}{(1050 \text{ MPa} - 2(134.37 \text{ MPa}))}} \right\}$$

¹⁰⁹ FAIRES, V.M, Op. Cit. P. 330

$$t = 31.5 \text{ mm} * \left\{ 1 - \sqrt{\frac{268.74 \text{ MPa}}{781.26 \text{ MPa}}} \right\}$$

$$t = 31.5 \text{ mm} * \{1 - \sqrt{0.34398}\}$$

$$t = 31.5 \text{ mm} * \{1 - 0.5865\}$$

$$t = 31.5 \text{ mm} * \{0.4135\}$$

$$t = 13.025 = 14 \text{ mm}$$

Al obtener este valor se podrá concluir mediante la siguiente relación si en realidad es un cilindro de pared gruesa¹¹⁰.

$$\frac{D_i}{t} < 10 \tag{Ec (45)}$$

Dónde

D_i = Diámetro interno del cilindro

$$\frac{63 \text{ mm}}{14 \text{ mm}} < 10$$

$$4.5 < 10$$

El cilindro es de pared gruesa.

3.6.1. Masa del cilindro/camisa

Este parámetro se tendrá que determinar para cálculos posteriores como son: el diseño de la estructura y el diseño de calefacción.

¹¹⁰ FAIRES, V.M, Op.Cit.P.44

Para lo cual se podrá que calcular el volumen del cilindro y después multiplicar por la densidad del material. El volumen se lo determinará con la siguiente ecuación.

$$V = (\pi * R^2 * h) - (\pi * r^2 * h) \quad Ec (46)$$

Dónde

R = Radio exterior del cilindro (45.5 mm = 0.0455 m)

r = Radio interior del cilindro (31.5 mm = 0.0315 m)

h = Altura o largo del cilindro (1260 mm = 1.260 m)

$$V = (\pi * (0.0455 \text{ m})^2 * 1.260 \text{ m}) - (\pi * (0.0315 \text{ m})^2 * 1.260 \text{ m})$$

$$V = 8.19 \times 10^{-3} \text{ m}^3 - 3.93 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V = 4.27 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Con el volumen total se podrá que calcular el peso del cilindro teniendo en cuenta que el material es un acero AISI 4140,

$$\rho = \frac{mc * h}{V} \quad Ec (47)$$

Dónde

V = Volumen del cilindro

ρ = Densidad del acero AISI 4140 (7850Kg/m³ Anexo F; Tabla F-3.1)

mc = Masa del cilindro

Despejando mc se tendrá:

$$mc = \rho * V$$

$$mc = 7850 \frac{Kg}{m^3} * 4.27 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$mh = 33.497 \text{ Kg}$$

3.7. Diseño de la garganta de alimentación

“La garganta de alimentación está conectada con la tolva a través de la boquilla de entrada o de alimentación. Esta boquilla suele tener una longitud de 1.5 veces el diámetro del cilindro y una anchura de 0.7 veces el diámetro”¹¹¹ ; como se muestra en la figura 3.9, y suele estar desplazada del eje del tornillo para facilitar la caída del material al husillo.

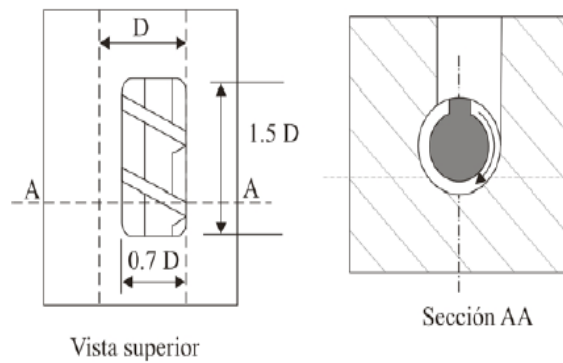


Figura 3. 9 Vista superior de la garganta de alimentación

La longitud de garganta se determinará mediante la siguiente ecuación¹¹².

$$L = 1.5 * D \quad Ec (48)$$

Dónde

L = Longitud de garganta

D = Diámetro del husillo

$$L = 1.5 * 63 \text{ mm}$$

$$L = 94.5 \text{ mm}$$

¹¹¹ <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

¹¹² <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

Y el ancho de la garganta se determinará con la siguiente ecuación¹¹³.

$$An = 0.7 * D \quad Ec (49)$$

Dónde:

An = Ancho de garganta

D = Diámetro del husillo

$$An = 0.7 * 63 \text{ mm}$$

$$An = 44.1 \text{ mm}$$

3.8.Diseño del cabezal

El cabezal es la parte dónde se encuentra la malla, porta malla y el dado peletizador, debido a esto se genera una caída de presión por los elementos ya mencionados, esta presión provoca una fuerza axial y es un parámetro a determinar, que servirá para el diseño del husillo.

Para dicho cálculo se dividirá los tres elementos mencionados, para determinar sus respectivas caídas de presión que serán restadas a la presión máxima.

3.8.1. Presión máxima zona de dosificación

Hay que tener en cuenta que esta presión es mayor a la calculada en la sección 3.3.3, por lo que se genera al final de la zona de dosificado. Se utilizará esta presión ya que es la que entra al cabezal.

¹¹³ <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

Y se lo determinará mediante la siguiente ecuación¹¹⁴.

$$P = \frac{6 * \pi * \mu_a * L * D * N * \cot\theta}{Hd^2} \quad Ec (50)$$

Dónde

P = Presión

μ_a = Viscosidad aparente

L = Longitud del husillo

D = Diámetro del husillo

N = Número de revoluciones (4.6 rad/s)

Hd = Altura del filete en la zona de dosificación (2.4 mm)

$$P = \frac{6 * \pi * 2.0 \times 10^{-4} \text{ MPa} * s * 1260 \text{ mm} * 63 \text{ mm} * 4.6 \text{ rad/s} * \cot 17.65}{(2.4 \text{ mm})^2}$$

$$P = 751.11 \text{ MPa}$$

3.8.2. Caída de presión en la malla

Para calcular la caída de presión de este elemento, se deberá determinar el arreglo de las perforaciones que será circular, con un diámetro de 3 mm (1/8 plg) por cada perforación, y con un número de 169 agujeros repartidos equitativamente en el diámetro de la malla, utilizaremos un acero AISI 4140 en plancha, el mismo que se utilizó en la construcción del husillo y el cilindro, el arreglo se muestra en la figura 3.10.

¹¹⁴ <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r58260.PDF>

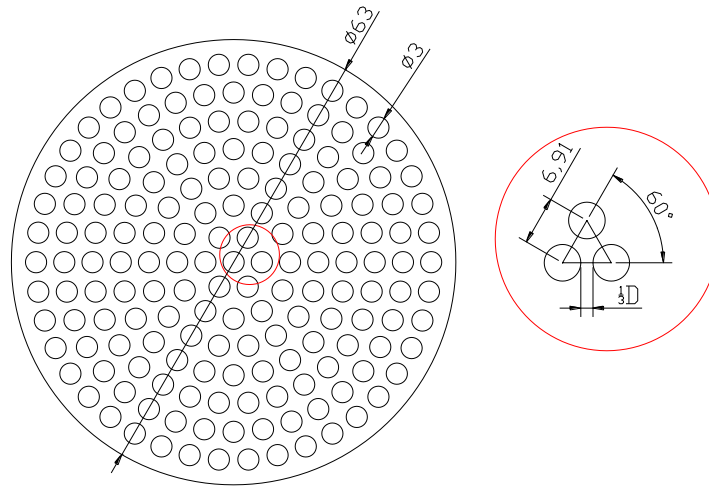


Figura 3. 10 Vista frontal de la malla

Para calcular la caída de presión en la malla se lo realizará con la siguiente ecuación¹¹⁵.

$$\Delta P_M = \frac{Q * u_a}{k'} \quad Ec (51)$$

Dónde

ΔP_M = Caída de presión individual en la malla (MPa)

$\Delta P_{M\ Total}$ = Caída de presión total en la malla (MPa)

Q = Flujo volumétrico (mm^3/s)

μ_a = Viscosidad aparente (2.0×10^{-4} MPa *s)

k' = Contante geométrica (mm^3)

El flujo volumétrico es la cantidad de material deseado que saldrá del dado este valor se menciona en la sección 3.1.

$$Q = 25 \frac{kg}{hr} * \frac{1lt}{1kg} * \frac{1m^3}{1000lt} * \frac{(1000mm)^3}{1m^3} * \frac{1hr}{3600s}$$

$$Q = 6944.44 \frac{mm^3}{s}$$

¹¹⁵ http://www.mater.upm.es/polimeros/Documentos/Cap6_2Extrusion.pdf

Se debe dividir este flujo volumétrico para el número de perforaciones para terminar la cantidad de material que pasa por cada agujero.

$$Q \text{ c/u} = \frac{Q}{\text{Número de agujeros}}$$

$$Q \text{ c/u} = \frac{6944.44 \frac{\text{mm}^3}{\text{s}}}{169 \text{ agujeros}}$$

$$Q \text{ c/u} = 41.09 \frac{\text{mm}^3}{\text{s}}$$

La constante geométrica se debe calcular para uno de los agujeros para posteriormente multiplicar por el total de agujeros y se lo realizará con la siguiente fórmula¹¹⁶.

$$k' = \frac{\pi * r^4}{8L} \quad \text{Ec (52)}$$

Dónde

r = Radio del agujero (1.5 mm)

L = Longitud del agujero (25.4 mm)

$$k' = \frac{\pi * (1.5\text{mm})^4}{8(25.4 \text{ mm})}$$

$$k' = 0.0783 \text{ mm}^3$$

Se remplazará los valores en la ecuación 51:

$$\Delta P_M = \frac{41.09 \frac{\text{mm}^3}{\text{s}} * 2 \times 10^{-4} \text{MPa} * \text{s}}{0.0783 \text{ mm}^3}$$

¹¹⁶ http://www.mater.upm.es/polimeros/Documentos/Cap6_2Extrusion.pdf

$$\Delta P_M = \frac{8.21 \times 10^{-3} \text{ MPa} * \text{mm}^3}{0.0783 \text{ mm}^3}$$

$$\Delta P_M = 0.1049 \text{ MPa}$$

Para calcular la caída de presión total en la malla se deberá multiplicar la presión calculada por el número de agujeros para tener una caída de presión total.

$$\Delta P_{MTotal} = \Delta P_M * \text{Número de agujeros} \quad \text{Ec (53)}$$

$$\Delta P_{MTotal} = 0.1049 \text{ MPa} * 169 \text{ agujeros}$$

$$\Delta P_{MTotal} = 17.73 \text{ MPa}$$

3.8.3. Caída de presión porta malla

La caída de presión en este elemento que sujeta a la malla, es una plancha cuadrada AISI 4140, y para calcular la presión interna, se lo realizará como el método de auto zunchado 100% y se lo determinará mediante la siguiente ecuación¹¹⁷.

$$P_{PM} = 2 \frac{S_y}{N} \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) \quad \text{Ec (54)}$$

Dónde

P_{PM} = Presión en el porta malla (MPa)

S_y = Limite de fluencia del material (690 MPa Anexo F; Tabla F-3.1)

N = Factor de seguridad (2.5)¹¹⁸

r_o = Radio exterior del cilindro (122.5 mm; sección 3.8.3.1)

r_i = Radio interior del cilindro (31.5 mm)

¹¹⁷ FAIRES, V.M, Op. Cit. P. 331

¹¹⁸ MOTT, Robert, Op. Cit. P. 185

3.8.3.1. Diámetro del porta malla

Para diseñar el porta malla se tendrá que determinar como si se tratara de un cilindro ya que dentro del mismo va existir una presión interna, que será la de la zona de dosificado. Para lo cual se utilizará el material del cilindro AISI 4140 y para determinar el espesor de pared la ecuación de la sección 3.6.

$$t = ri \left\{ 1 - \sqrt{\frac{2 pi}{\sigma_T - 2pi}} \right\} \quad Ec (55)$$

Dónde

t = Espesor de la pared (mm)

ri = Radio interno (31.5 mm)

pi = Presión interna zona de dosificado (751.11 MPa)

σ_T = Esfuerzo máximo de fluencia del material = 1050 MPa (Anexo F; Tabla F-3.1)

$$t = 31.5 \text{ mm} * \left\{ 1 - \sqrt{\frac{2 (751.11 \text{ MPa})}{(1050 \text{ MPa} - 2(751.11 \text{ MPa}))}} \right\}$$

$$t = 31.5 \text{ mm} * \left\{ 1 - \sqrt{\frac{1502.22 \text{ MPa}}{452.22 \text{ MPa}}} \right\}$$

$$t = 31.5 \text{ mm} * \{1 - \sqrt{3.3219}\}$$

$$t = 25.89 \approx 26 \text{ mm}$$

Se tendrá que determinar un factor de seguridad por espesor de pared y el factor de la longitud del cilindro y será de 3.5^{119} .

$$t = 26 \text{ mm} * N$$

$$t = 26 \text{ mm} * 3.5 = 91 \text{ mm}$$

¹¹⁹ MOTT. Robert. Op. Cit. P

“El factor de 2.5 a 4.0, para diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas y la longitud en un cilindro, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente”¹²⁰. Como podemos ver es un valor corregido por el tipo de presión interna generada.

Conociendo estos datos se podrá reemplazar en la ecuación 54.

$$P_{PM} = 2\left(\frac{690 \text{ MPa}}{2.5}\right) \ln\left(\frac{122.5 \text{ mm}}{31.5 \text{ mm}}\right)$$

$$P_{PM} = 516.389 \text{ MPa} * 1.358$$

$$P_{PM} = 701.321 \text{ MPa}$$

3.8.4. Caída de presión dado

Con el mismo concepto expuesto en la malla se tendrá que determinar la caída de presión para uno de las perforaciones y después multiplicar para el total de perforaciones. Y se lo visualiza en la figura 3.11.

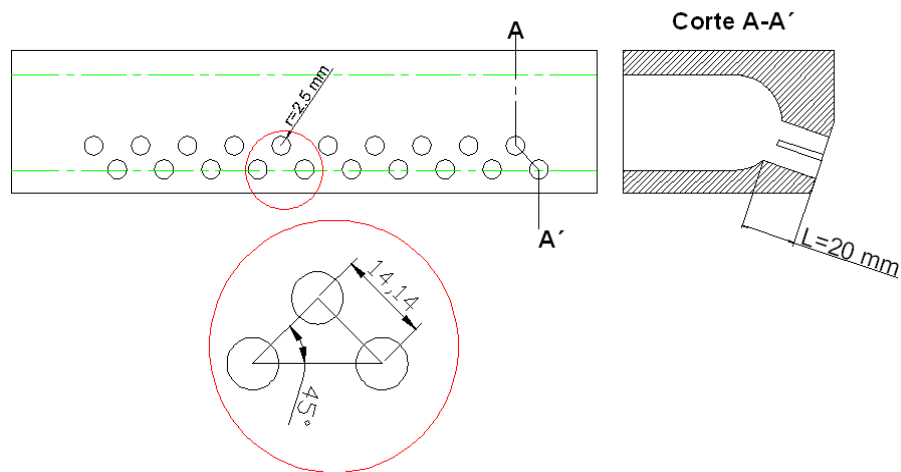


Figura 3. 11 Vista frontal del dado peletizador

¹²⁰ MOTT, Robert, *Diseño de elementos de máquinas*, Cuarta edición, Editorial Pearson, México, 2006, P 185

Y se los determinará con la siguiente ecuación:

$$\Delta P_D = \frac{Q * u_a}{k'} \quad Ec (56)$$

Dónde

ΔP_D = Caída de presión individual en el dado (MPa)

$\Delta P_{D\ Total}$ = Caída de presión total en el dado (MPa)

Q = Flujo volumétrico (mm^3/s)

Se debe dividir este flujo volumétrico para el número de perforaciones para terminar la cantidad de material que pasará por cada agujero.

$$Q\ c/u = \frac{Q}{\text{Número de agujeros}}$$

$$Q\ c/u = \frac{6944.44\ \frac{mm^3}{s}}{20\ \text{agujeros}}$$

$$Q\ c/u = 347.22\ \frac{mm^3}{s}$$

Para la constante geométrica:

$$k' = \frac{\pi * r^4}{8L} \quad Ec (57)$$

Dónde

r = Radio del agujero (2.5 mm)

L = Longitud del agujero (20 mm)

$$k' = \frac{\pi * (2.5 \text{ mm})^4}{8(20 \text{ mm})}$$

$$k' = 0.767 \text{ mm}^3$$

Se reemplazará los valores en la ecuación 56:

$$\Delta P_D = \frac{347.22 \frac{\text{mm}^3}{\text{s}} * 2 \times 10^{-4} \text{ MPa} * \text{s}}{0.767 \text{ mm}^3}$$

$$\Delta P_D = 0.0905 \text{ MPa}$$

Para calcular la caída presión total se tendrá que multiplicar, la caída de presión calculada individualmente por el número total de agujeros.

$$\Delta P_{D \text{ Total}} = \Delta P_D * \text{Número de agujeros} \quad \text{Ec (58)}$$

$$\Delta P_{D \text{ Total}} = 0.0905 \text{ MPa} * 20$$

$$\Delta P_{D \text{ Total}} = 1.812 \text{ MPa}$$

Con los valores de caídas o gradiente de presión generada por cada elemento se determinará una total realizando una sumatoria.

$$\Delta P_{\text{cabezal}} = \Delta P_{M \text{ Total}} + \Delta P_{PM} + \Delta P_{D \text{ Total}} \quad \text{Ec (59)}$$

$$\Delta P_{\text{cabezal}} = 17.73 \text{ MPa} + 701.321 \text{ MPa} + 1.812 \text{ MPa}$$

$$\Delta P_{\text{cabezal}} = 720.87 \text{ MPa}$$

Para determinar la caída o gradiente de presión que ejerce el cabezal sobre el husillo de deberá restar la presión máxima calculada en la sección 3.8.1, con el gradiente de presión del cabezal, esto provoca una caída o gradiente de presión como se muestra en la figura 3.12.

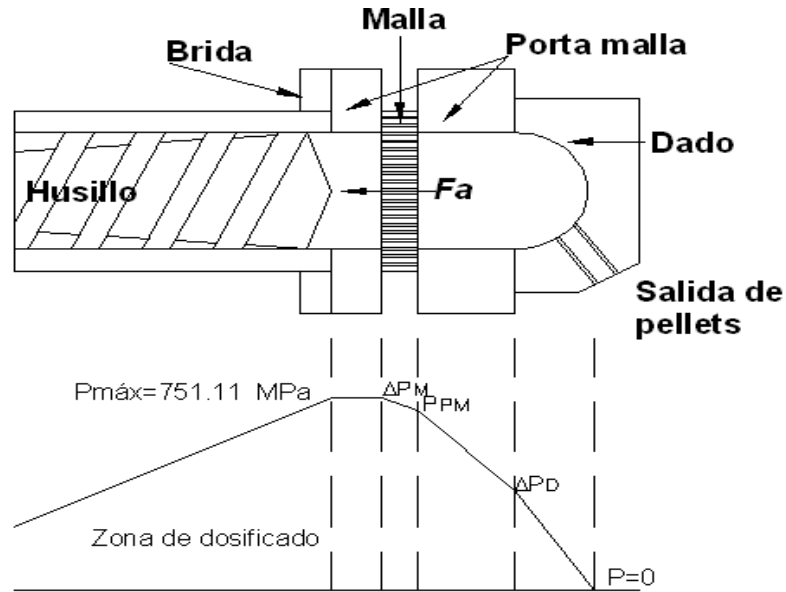


Figura 3. 12 Caída de presión en el cabezal

Y se determinará mediante la siguiente ecuación.

$$\Delta P = P_{\text{máx}} - \Delta P_{\text{cabezal}} \quad \text{Ec (60)}$$

$$\Delta P = 751.11 \text{ MPa} - 720.87 \text{ MPa}$$

$$\Delta P = 30.24 \text{ MPa}$$

3.9. Diseño del husillo

El husillo se mueve, mediante el torque entregado por el eje motriz, a través de la chaveta, colocada en la parte posterior del husillo. El diámetro en esta parte es rebajada hasta 44 mm aproximadamente para acoplarlo con el eje motriz, este valor se lo obtendrá en las siguientes secciones.

Para poder realizar el diseño del husillo, se determinarán las fuerzas que actúan es el dispositivo como se muestra en la figura 3.13, para lo cual se tendrá que determinar la carga distribuida y las reacciones de apoyo. El diseño del husillo será analizado por efecto a la torsión y concluirá con los factores de seguridad estático y dinámico.

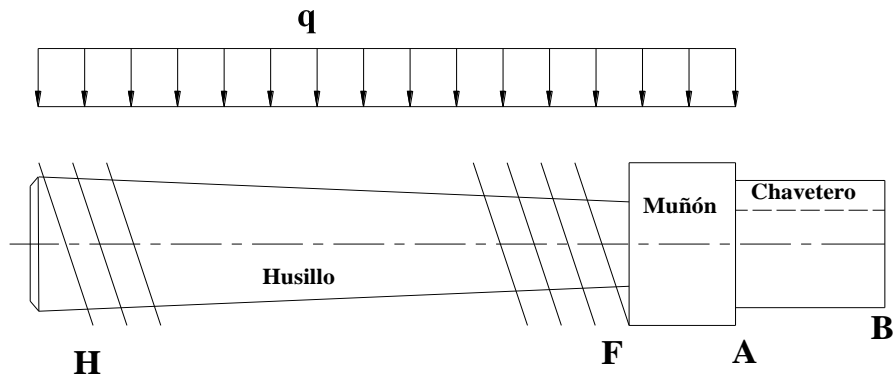


Figura 3. 13 Diagrama del husillo

De la sección 3.5, se calculó el peso en kilogramos del husillo, para poder obtener la carga distribuida se realizara la transformación de este factor a unidad de fuerza, y se multiplicará por la distancia dónde está aplicada la carga y se obtendrá este valor mediante la siguiente ecuación¹²¹.

$$mh = 23.46 \text{ Kg} * \frac{9.8 \text{ N}}{1 \text{ Kg}} * \frac{1 \text{ KN}}{1000 \text{ N}}$$

$$mh = 0.2299 \text{ KN}$$

$$q = \frac{mh}{L} \tag{Ec (61)}$$

Dónde

L = Distancia dónde está aplica la carga distribuida (1330 mm)

$$q = \frac{0.2299 \text{ KN}}{1330 \text{ mm}}$$

$$q = 1.729 \times 10^{-4} \frac{\text{KN}}{\text{mm}}$$

¹²¹ DECKER, K, Op. Cit. P. 340

En la figura 3.14, se podrá observar los puntos de reacciones que se producen en el husillo.

Los puntos representan:

A y B = Puntos sobre los que se sustenta el husillo

F = Punto de inicio de la hélice del husillo

H = Punto medio de la zona de dosificación

A, también es considerado como el inicio de la chaveta. (La longitud del porta chavetero se determinará en la siguiente sección).

Cargas en el husillo

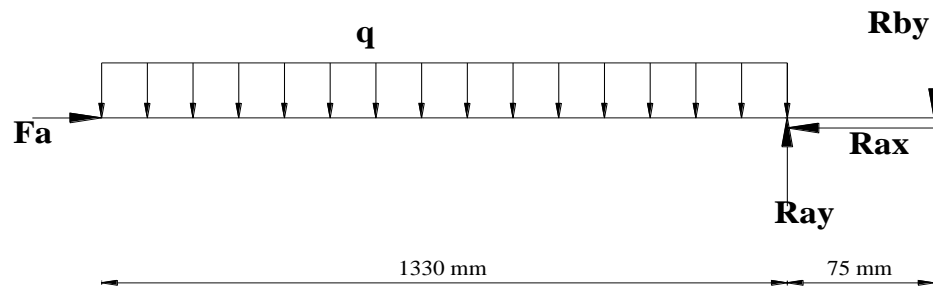


Figura 3. 14 Cargas y reacciones

Dónde

F_a = Fuerza axial

q = Carga distribuida en el husillo

R_{ax} y R_{ay} = Carga del eje motriz sobre el husillo en A (KN)

R_{by} = Carga del eje matriz sobre el husillo en B (KN)

Sh = Sección transversal del extremo libre del husillo¹²²

$$Sh = r^2 * \pi \quad Ec (62)$$

Dónde

r = Radio del husillo

π = Factor de conversión

$$Sh = (31.5)^2 * \pi$$

$$Sh = 3117.3 \text{ mm}^2$$

Para determinar Fa se lo realizará con la siguiente ecuación¹²³.

$$Fa = \Delta P * Sh \quad Ec (63)$$

Dónde

ΔP = Gradiente de presión generado en el cabezal (30.24 N/mm²; sección 3.8)

$$Fa = 30.24 \frac{N}{\text{mm}^2} * 3117.3 \text{ mm}^2$$

$$Fa = 94260 \text{ N}$$

$$Fa = 94.26 \text{ KN}$$

3.9.1. Diagrama de momentos

Para determinar el momento máximo que se genera en el husillo se lo realizará en dos tramos y conociendo las reacciones que se mencionó anteriormente.

¹²² DECKER, K, Op. Cit. P. 345

¹²³ DECKER, K, Op. Cit. P. 382

Aplicando condiciones de equilibrio se tiene¹²⁴:

$$\Sigma F_x \rightarrow += 0 \quad Ec (64)$$

$$F_a - R_{ax} = 0$$

$$F_a = R_{ax} = 94.26 \text{ KN}$$

$$\Sigma F_y \uparrow += 0 \quad Ec (65)$$

$$R_{ay} - R_{by} - (q * 1330) = 0$$

$$\Sigma F_{MA} \curvearrowright += 0 \quad Ec (66)$$

$$R_{by} = \frac{\left(\frac{q * (1330)^2}{2} \right)}{75}$$

$$R_{by} = \frac{\left(\frac{(1.729 \times 10^{-4} \frac{\text{KN}}{\text{mm}}) * (1330\text{mm})^2}{2} \right)}{75\text{mm}}$$

$$R_{by} = \frac{152.921 \text{ KN mm}}{75\text{mm}}$$

$$R_{by} = 2.039 \text{ KN}$$

Reemplazando el valor ya calculado de q y de R_{by} , de obtendrá la reacción R_{ay} .

$$R_{ay} = (q * 1330) + R_{by}$$

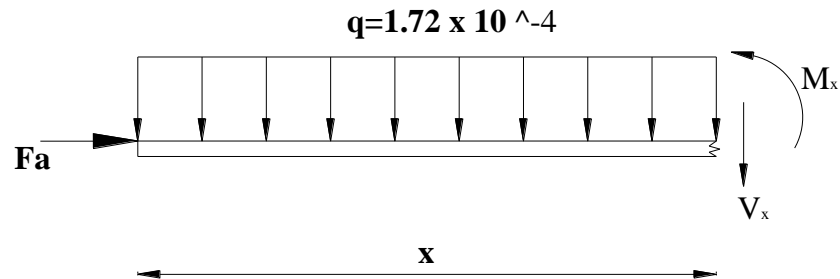
$$R_{ay} = \left(1.729 \times 10^{-4} \frac{\text{KN}}{\text{mm}} * 1330\text{mm} \right) + 2.039 \text{ KN}$$

$$R_{ay} = 2.269 \text{ KN}$$

¹²⁴ SHIGLEY, J. Op. Cit. P. 68

El diagrama de cuerpo libre se lo divide en dos tramos y estos son:

Tramo I
 $0 < x < 1330$



$$\Sigma Fv \uparrow + = 0$$

$$-qx - Vx = 0$$

$$Vx = -qx$$

$$Vx = -1.729 \times 10^{-4} * x$$

$$\Sigma Mx \uparrow + = 0$$

$$Mx + \frac{qx^2}{2} = 0$$

$$Mx = -\frac{qx^2}{2}$$

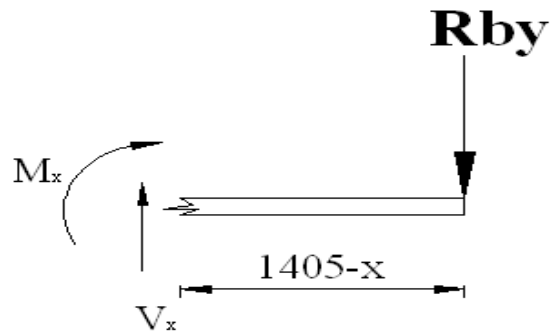
Reemplazando los valores de x se tendrá:

Para

$$x=0 \left\{ \begin{array}{l} V=0 \\ M=0 \end{array} \right.$$

$$x=1330 \left\{ \begin{array}{l} V=-0.229 \\ M=-152.92 \end{array} \right.$$

Tramo II
1330 < x < 1405



$$\Sigma F_v \uparrow + = 0$$

$$-Rby + Vx = 0$$

$$Vx = Rby$$

$$Vx = 2.039 \text{ KN}$$

$$\Sigma M_x \uparrow + = 0$$

$$Mx + Rby * (1405 - x) = 0$$

$$Mx = -2.039 * (1405 - x)$$

$$Mx = -2.039 \text{ KN} * (1405 - x)$$

Reemplazando los valores de x:

Para

$$x=1330 \left\{ \begin{array}{l} V= 2.039 \\ M= -152.92 \end{array} \right.$$

$$x=1405 \left\{ \begin{array}{l} V= 2.039 \\ M= 0 \end{array} \right.$$

Con los valores de las fuerzas y momentos cortantes se podrá realizar el diagrama de momento como se muestra en la figura 3.15.

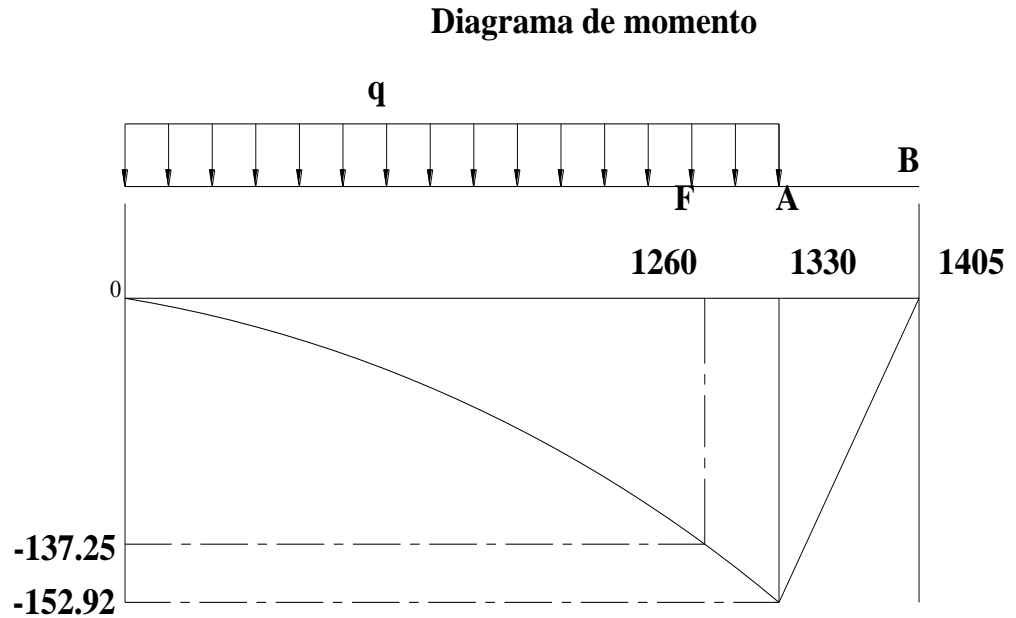


Figura 3. 15 Diagrama de momento flector

Como se muestra en la figura el momento máximo está en el cambio de sección en el punto A.

3.9.2. Diseño del husillo por efecto de torsión

“La torsión se refiere al torcimiento de un miembro estructural cuando se carga con momentos que producen rotación alrededor de su eje longitudinal”¹²⁵

Durante la torsión ocurrirá una rotación alrededor del eje longitudinal, de un extremo de la barra respecto al otro.

¹²⁵ SHIGLEY, J. Op. Cit. P. 95

Si se fija el extremo izquierdo de la barra, entonces el extremo derecho girara un pequeño ángulo α con respecto al extremo izquierdo, como se puede observar en la figura 3.16. El ángulo α se lo conoce como ángulo de torsión.

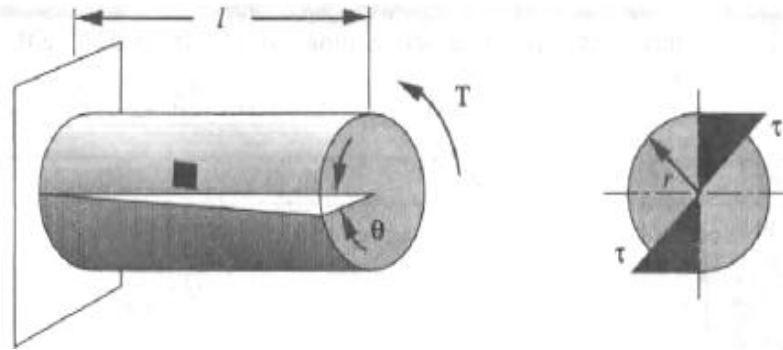


Figura 3. 16 Barra circular maciza sometida a torsión pura

El esfuerzo cortante máximo en una barra circular sometida a torsión puede determinarse en la ecuación¹²⁶.

$$T_{m\acute{a}x} = \frac{T * r}{J_p} \quad Ec (67)$$

Dónde

$T_{m\acute{a}x}$ = Esfuerzo cortante máximo

T = Momento de torsión

r = Radio del eje

J_p = Momento polar de inercia

En la ecuación 67 se la conoce como fórmula de la torsión, estable que es esfuerzo cortante máximo es proporcional al momento de torsión aplicado T , y al radio r , e inversamente proporcional al momento polar de inercia de la sección transversal.

La inercia polar varía de acuerdo si el eje es macizo o es una barra circular hueca.

¹²⁶ SHIGLEY, J. Op. Cit. P. 96

3.9.2.1. Inercia polar para un eje macizo

Se la determinará mediante la ecuación¹²⁷.

$$J_p = \frac{\pi * D^4}{32} \quad Ec (68)$$

Dónde

D = Diámetro del eje

J_p = Momento polar de inercia

Remplazando la ecuación 67 de la inercia polar para un eje macizo en la fórmula de la torsión se tendrá¹²⁸:

$$T_{m\acute{a}x} = \frac{16 * T}{\pi * D^3} \quad Ec (69)$$

Dónde

$T_{m\acute{a}x}$ = Esfuerzo cortante máximo

T = Momento de torsión.

D = Diámetro del eje

Que es otra forma para calcular el esfuerzo cortante máximo en una barra sólida.

Con las ecuaciones obtenidas se procederá a realizar el cálculo del esfuerzo cortante máximo en el husillo.

¹²⁷ SHIGLEY, J. Op. Cit. P. 96

¹²⁸ SHIGLEY, J. Op. Cit. P. 97

3.9.2.2. Inercia (J_p)

Teniendo como dato el diámetro del husillo se procederá a realizar el cálculo de su inercia polar con la fórmula que se muestra a continuación, considerando que es un eje circular macizo (Anexo F; Tabla F-3.2).

$$J_p = \frac{\pi * D^4}{32}$$

$$J_p = \frac{\pi * (63 \text{ mm})^4}{32}$$

$$J_p = 1546543.33 \text{ mm}^4$$

$$J_p = 1.546 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

3.9.2.3. Esfuerzo cortante máximo ($T_{m\acute{a}x}$)

Remplazando valores en la ecuación 67.

$$T_{m\acute{a}x} = \frac{T * r}{J_p}$$

$$T_{m\acute{a}x} = \frac{2282.61 \text{ N} * m * (0.0315 \text{ m})}{1.546 \times 10^{-6} \text{ m}^4}$$

$$T_{m\acute{a}x} = 46508547.87 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * \frac{1 \text{ KN}}{1000 \text{ N}}$$

$$T_{m\acute{a}x} = 46508.55 \text{ KPa} * \frac{1 \text{ MPa}}{1000 \text{ KPa}}$$

$$T_{m\acute{a}x} = 46.5 \text{ MPa}$$

3.9.2.4. Ángulo de torsión (α)

Calculado el esfuerzo cortante máximo se podrá calcular el ángulo de torsión en base a la siguiente fórmula¹²⁹.

$$\alpha = \frac{T * L}{G * J_P} \quad Ec (70)$$

Dónde

α = Ángulo de torsión

T = Momento de torsión

L = Longitud total del husillo

J_P = Momento polar de inercia

G = Módulo de rigidez de material (79.3 GPa Anexo F; Tabla F- 3.3)

$$G = 79.3 \text{ GPa} \left[\frac{GN}{m^2} \right]$$

$$G = 79.3 \left[\frac{GN}{m^2} \right] * \frac{1x10^9 N}{1GN}$$

$$G = 7.93 x 10^{10} \frac{N}{m^2}$$

Reemplazando valores:

$$\alpha = \frac{T * L}{G * J_P}$$

$$\alpha = \frac{2282.61 \text{ N} * m * 1.330m}{7.93 x 10^{10} \frac{N}{m^2} * 1.546x10^{-6} m^4}$$

$$\alpha = 2.47 x 10^{-2} \text{ rad}$$

¹²⁹ NORTON. L Robert, *Diseño de máquinas*, Primera edición, Editorial Pearson, México, 1994, P. 220

3.9.3. Factor de seguridad estático (Ns)

“La teoría de la energía de deformación máxima predice que la falla por fluencia ocurre cuando la energía de deformación, total por unidad de volumen alcanza o excede la energía de deformación por unidad de volumen correspondiente a la resistencia a la fluencia en tensión o en compresión del mismo material”¹³⁰.

Según la teoría de distorsión, el factor de seguridad para cargas estáticas, se calculará con la expresión¹³¹.

$$N_s = \frac{S_y}{\sigma'_{m\acute{a}x}} \quad Ec (71)$$

Dónde

N_s = Factor de seguridad

S_y = Limite de fluencia del material (690 MPa = 70.33Kg/mm² Anexo F; Tabla F-3.1)

$\sigma'_{m\acute{a}x}$ = Esfuerzo máximo de Von Mises (KN/mm²)

Para determinar la posibilidad de una falla estática, primero se calculará los esfuerzos normales y cortantes máximos, ya que en algún momento ocurrirán en forma simultánea y estos son¹³²:

$$\sigma_{x\ m\acute{a}x} = \sigma_{xm} + \sigma_{xa} \quad Ec (72)$$

$$\tau_{xy\ m\acute{a}x} = \tau_{xym} + \tau_{xya} \quad Ec (73)$$

Dónde

$\sigma'_{x\ m\acute{a}x}$ = Esfuerzo normal máximo

$\tau_{xy\ m\acute{a}x}$ = Esfuerzo cortante máximo

¹³⁰ SHIGLEY, J. Op. Cit. P. 213

¹³¹ SHIGLEY, J. Op. Cit. P. 216

¹³² NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 297

σ_{xm} = Esfuerzo de compresión medio

σ_{xa} = Esfuerzo alternante

τ_{xym} = Esfuerzo de torsión medio

τ_{xya} = Esfuerzo de torsión alternante = (0 KN/mm²)¹³³

Las relaciones para calcular estas reacciones son¹³⁴:

$$\sigma_{xm} = -\frac{Fa}{A} \quad Ec (74)$$

Dónde

Fa = Fuerza Axial (94.26 KN)

A = Área transversal husillo (Anexo F; Tabla F-3.2)

$$A = \pi * r^2 \quad Ec (75)$$

$$A = \pi * (31.5mm)^2$$

$$A = 3117.25 mm^2$$

Esfuerzo de compresión medio

$$\sigma_{xm} = -\frac{94.26 KN}{3117.25 mm^2}$$

$$\sigma_{xm} = -0.030 \frac{KN}{mm^2}$$

Esfuerzo alternante¹³⁵.

$$\sigma_{xa} = \frac{\pm M_F * c}{I} \quad Ec (76)$$

¹³³ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 294

¹³⁴ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 189

¹³⁵ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 194

Dónde

M_F = Momento flector en el punto F (-137.25 KN mm)

$c = r$ = Radio (31.5mm)

D = Diámetro del husillo

I = Momento de inercia (Anexo F; Tabla F-3.2)

$$I = \frac{\pi * D^4}{64} \quad Ec (77)$$

$$I = \frac{\pi * (63mm)^4}{64}$$

$$I = 773271.66 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{xa} = \frac{-137.25 \text{ KN mm} * 31.5 \text{ mm}}{773271.66 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{xa} = -0.0056 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2}$$

Se calculará el esfuerzo de torsión medio mediante la siguiente ecuación¹³⁶.

$$\tau_{xym} = \frac{Mt * r}{J} \quad Ec (78)$$

Dónde

Mt = Momento torsor (2282.61 N*m)

r = Radio (31.5mm)

J = Momento polar de inercia

$$\tau_{xym} = \frac{22826.1 \text{ N mm} * 31.5 \text{ mm}}{1546543.33 \text{ mm}^4} = 0.4649 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2}$$

¹³⁶ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 271

Y reemplazando los valores calculados en la ecuación 72.

$$\sigma_x \text{ máx} = \sigma_{xm} + \sigma_{xa}$$

$$\sigma_x \text{ máx} = \left(-0.030 \frac{KN}{mm^2}\right) + \left(-0.0056 \frac{KN}{mm^2}\right)$$

$$\sigma_x \text{ máx} = -0.0356 \frac{KN}{mm^2}$$

Reemplazándose los valores en la ecuación 73.

$$\tau_{xy} \text{ máx} = \tau_{xym} + \tau_{xya}$$

$$\tau_{xy} \text{ máx} = 0.4649 \frac{KN}{mm^2} + 0$$

$$\tau_{xy} \text{ máx} = 0.4649 \frac{KN}{mm^2}$$

“El esfuerzo de Von Mises, se define como aquel esfuerzo a tensión uniaxial que genera la misma energía de distorsión que la que se produciría por la combinación real de los esfuerzos aplicados”¹³⁷.

Este procedimiento nos permite tratar esfuerzos combinados multiaxiales de tensión y cortante como si se tratara de cargas a tensión pura. Para dos dimensiones la componente alternante se suma a la componente media¹³⁸.

$$\sigma' \text{ máx} = \sqrt{(\sigma^2 x \text{ máx}) + (3\tau^2 xy \text{ máx})} \quad Ec (79)$$

$$\sigma' \text{ máx} = \sqrt{\left(-0.0356 \frac{KN}{mm^2}\right)^2 + \left(3\left(0.4649 \frac{KN}{mm^2}\right)^2\right)}$$

$$\sigma' \text{ máx} = 0.379 \frac{KN}{mm^2}$$

¹³⁷ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 294

¹³⁸ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 294

Para determinar el factor de seguridad, se necesitará el esfuerzo normal máximo en kg/mm^2 y transformaremos con el factor de conversión correspondiente.

$$\sigma'_{\text{máx}} = 0.379 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2} * \frac{1000\text{N}}{1\text{KN}} * \frac{1 \text{ Kg}}{9.81 \text{ N}}$$

$$\sigma'_{\text{máx}} = 38.63 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

Para determinar el factor de seguridad estático se reemplazará estos valores en la ecuación 71.

$$N_s = \frac{S_y}{\sigma'_{\text{máx}}}$$

$$N_s = \frac{70.33 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}}{38.63 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}}$$

$$N_s = 1.82$$

El factor de seguridad 1.5 a 2 es para diseño de estructuras bajo carga estática, para lo que hay un alto grado de confianza en todos los datos de diseño (Anexo F; Tabla F-3.4)

3.9.4. Factor de seguridad dinámico (Nd)

A menudo se encuentra que los elementos de máquinas han fallado, bajo la acción de esfuerzos repetidos, o fluctuantes; no obstante, el análisis más cuidadoso revela que los esfuerzos máximos reales estuvieron por debajo de la resistencia última del material y con mucha frecuencia incluso por debajo de la resistencia a la fluencia.

“La característica más notable de estas fallas consiste en que los esfuerzos se repitieron un gran número de veces, por lo tanto a la falla se la llama FALLA POR FATIGA”¹³⁹.

Y se determinará mediante la siguiente ecuación¹⁴⁰.

$$Nd = \frac{Sy}{Se} \quad Ec (80)$$

Dónde

Nd = Factor de seguridad dinámico

Sy = Limite de fluencia del material (690 MPa = 70.33Kg/mm² Anexo F; Tabla F-3.1)

Se = Limite de resistencia a la fatiga

“Para calcular el límite de resistencia a la fatiga de un elemento se utilizará la fórmula de Marín, que identificó factores que cuantifican los factores de la condición superficial, el tamaño, la carga, la temperatura, y varios otros puntos”¹⁴¹

Y se obtendrá con la siguiente ecuación¹⁴².

$$Se = Se' * Ka * Kb * Kc * Kd * Ke * Kf' \quad Ec (81)$$

Dónde

Se = Limite de resistencia a la fatiga

Se' = Limite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

Ka = Factor de modificación de la condición superficial

Kb = Factor de modificación del tamaño

¹³⁹ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 374

¹⁴⁰ SHIGLEY, J. Op. Cit. P. 216

¹⁴¹ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 375

¹⁴² NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 376

K_c = Factor de modificación de la carga

K_d = Factor de modificación de la temperatura

K_e = Factor de confiabilidad

K_f = Factor de modificación de efectos varios

3.9.4.1. Límite de resistencia a la fatiga en vigas rotatorias (Se')

Este factor nos permite calcular la resistencia a la fatiga en viga rotatoria en base a la resistencia a la tensión mínima S_{ut} y se lo determinará mediante la ecuación¹⁴³.

$$Se' = 0.5 * S_{ut} \quad Ec (82)$$

Dónde

S_{ut} = Esfuerzo ultimo de corte (1020 MPa, Anexo F; Tabla F-3.5)

$$Se' = 0.5 * (1020 MPa)$$

$$Se' = 510 MPa$$

3.9.4.2. Factor de modificación de la condición superficial (K_a)

El espécimen de viga rotativa se pule a espejo, a fin de eliminar imperfecciones superficiales que pudieran servir como elevadores de esfuerzos.

Y se lo determinará mediante la siguiente ecuación¹⁴⁴.

$$K_a = a * (S_{ut})^b \quad Ec (83)$$

¹⁴³ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 373

¹⁴⁴ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 379

Dónde

a y b = Coeficientes de acabado (Anexo F; Tabla F-3.6)

$$Ka = 4.51 MPa * (1020MPa)^{-0.265}$$

$$Ka = 0.719$$

3.9.4.3. Factor de modificación del tamaño (Kb)

Para tomar en consideración el hecho que piezas mayores fallan a esfuerzos menores, debido a una mayor probabilidad que en el volumen más grande bajo esfuerzo esté presenta un defecto y se lo determinará mediante la siguiente expresión¹⁴⁵.

para: $8mm \leq d \leq 250mm$

$$Kb = 1.189(D)^{-0.097} \quad Ec \text{ (84)}$$

Dónde

D = Diámetro del husillo (63 mm)

$$Kb = 1.189(63mm)^{-0.097}$$

$$Kb = 0.796$$

3.9.4.4. Factor de modificación de carga (Kc)

“Calculado el esfuerzo de Von Mises a partir de los efectos aplicados, con esto se obtendrá un valor de esfuerzo a tensión alternante efectivo, que se puede comparar

¹⁴⁵ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 376

directamente con una resistencia a la fatiga a flexión”¹⁴⁶. Por lo que con este método para los casos de torsión pura se utilizará el siguiente valor.

$$Kc = 1$$

3.9.4.5. Factor de modificación a la temperatura (Kd)

“Por lo común las pruebas a la fatiga se hacen a la temperatura ambiente y se han propuesto varias fórmulas aproximadas con el objetivo de tomar en consideración la reducción en el límite de resistencia la fatiga moderadamente altas y se tiene las siguientes expresiones”¹⁴⁷ (Anexo F; Tabla F-3.7)

$$Kd = 1$$

3.9.4.6. Factor de confiabilidad (Ke)

Una gran parte de los datos de resistencia reportados son valores medios, hay considerable dispersión en múltiples ensayos de un mismo material bajo las mismas condiciones de prueba.

“Para realizar un diseño se debe elegir un factor de confiabilidad para evitar desviaciones de la resistencia a la fátiga con una confiabilidad de 99.9%”¹⁴⁸. (Anexo F; Tabla F-3.8)

$$Ke = 0.753$$

¹⁴⁶ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 376

¹⁴⁷ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 381

¹⁴⁸ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 381

3.9.4.7. Factor de modificación de efectos varios (K_f)

Se debe tomar los efectos varios ya que los valores reales no siempre se encuentran disponibles y al calcular el factor de modificación de efectos varios se tiene una base y se podrá determinar con la siguiente ecuación¹⁴⁹.

$$Kf' = 1 + q(Kt - 1) \quad Ec (85)$$

$$Kf = \frac{1}{Kf'} \quad Ec (86)$$

Dónde

Kt = Factor de concentración de esfuerzos geométricos (1.65 Anexo F; Tabla F-3.9)

q = Sensibilidad de la muesca (0.84 Anexo F; Tabla F-3.10).

$$Kf' = 1 + 0.84(1.65 - 1)$$

$$Kf' = 1.546$$

$$Kf = \frac{1}{1.546}$$

$$Kf = 0.647$$

Sustituyéndose los valores en la ecuación 81 se tendrá:

$$Se = Se' * Ka * Kb * Kc * Kd * Ke * Kf'$$

$$Se = (510 \text{ MPa}) * (0.719) * (0.769) * (1) * (1) * (0.753) * (0.647)$$

$$Se = 137.38 \text{ MPa}$$

Para determinar el factor de seguridad dinámico se reemplazará los valores calculados en la ecuación 80.

¹⁴⁹ SHIGLEY, J. Op. Cit. P. 287

$$Nd = \frac{Sy}{Se}$$

$$Nd = \frac{690 \text{ MPa}}{137.38 \text{ MPa}}$$

$$Nd = 5.023$$

“El factor de seguridad de 4 o más para diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente.

El deseo de dar una seguridad adicional a componentes críticos puede justificar también el empleo de estos valores”¹⁵⁰.

3.9.5. Comprobación de esbeltez

El husillo se lo analizará como una columna, y puede fallar por pandeo más que por compresión, cuando la carga axial aplicada excede algunos valores críticos una columna intermedia o larga falla por pandeo. “El factor que determina si una columna es corta o larga es su razón de esbeltez (*slenderness ratio*) para que este, no falle por pandeo es necesario que”¹⁵¹.

$$Fa < Pcr \qquad \qquad \qquad Ec \text{ (87)}$$

Dónde

Fa = Fuerza axial (94.26 KN)

Pcr = Carga crítica (KN)

¹⁵⁰ MOTT, Robert, OP. Cit. P. 185

¹⁵¹ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 237

Para determinar la carga crítica se utilizará la ecuación de Euler¹⁵²:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad Ec (88)$$

Dónde

E = Módulo de elasticidad (206.8 GPa, Anexo F; Tabla F-3.11)

A = Área de sección transversal del husillo

KL/r = Razón de esbeltez

KL = Longitud Efectiva

r = Radio de giro

D = Diámetro del husillo (63 mm)

Se calculará los parámetros mencionados.

Área transversal del husillo (Anexo F; Tabla F-3.2)

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4} \quad Ec (89)$$

$$A = \frac{\pi * (63mm)^2}{4}$$

$$A = 3117.25 \text{ mm}^2$$

3.9.5.2. Longitud efectiva (KL)

Se determinará mediante la siguiente ecuación¹⁵³.

$$KL \quad Ec (90)$$

¹⁵²MOTT, Robert, Op. Cit. P. 235

¹⁵³ MOTT, Robert, Op. Cit. P. 233

Dónde

K = Factor de fijación en extremos (2.1 Anexo F; Tabla F-3.12)

L = Longitud del husillo (1330mm)

$$KL = 2.1 * 1330mm$$

$$KL = 2793 mm$$

3.9.5.3. Radio de giro

El radio de giro se obtendrá con la ecuación¹⁵⁴.

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \tag{Ec(91)}$$

Dónde

I = Momento de inercia (773271.66 mm⁴; sección 3.9.3)

$$r = \sqrt{\frac{773271.6mm^4}{3117.25 mm^2}}$$

$$r = 15.75 mm$$

3.9.5.4. Razón de esbeltez KL/r

$$\frac{KL}{r} \tag{Ec (92)}$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{2.1 * (1330 mm)}{15.75 mm} = 177.33$$

¹⁵⁴ MOTT, Robert, Op. Cit. P. 232

Para un acero AISI 4140, cuya resistencia a la fluencia (S_y) es de 690Mpa (Anexo F; Tabla F-3.1). Se calculará la constante de columna, con la siguiente ecuación¹⁵⁵.

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{S_y}} \quad Ec (93)$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * (206.8 \frac{KN}{mm^2})}{0.69 \frac{KN}{mm^2}}}$$

$$C_c = 76.9526$$

Para determinar si la columna analizada es larga debe cumplirse con la siguiente relación¹⁵⁶.

$$\frac{KL}{r} > C_c \quad Ec (94)$$

$$177.33 > 76.9526$$

Entonces podemos decir que la columna es larga, y se determinará la carga crítica con la fórmula de EULER ecuación 88.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \left(206.8 \frac{KN}{mm^2}\right) (3117.25 mm^2)}{(177.33)^2}$$

$$P_{cr} = 202.328 KN$$

Con esta carga la columna (husillo) comenzará apenas a pandearse.

¹⁵⁵ MOTT, Robert, Op. Cit. P. 234

¹⁵⁶ MOTT, Robert, Op. Cit. P. 238

Una carga segura tendría un valor menor, que se calculará al aplicar el factor de diseño a la carga crítica.

Para determinar la carga admisible se utilizará la ecuación¹⁵⁷.

$$Pad = \frac{Pcr}{N} \quad Ec (95)$$

Dónde

Pad = Carga admisible (KN)

Pcr = Carga crítica (KN)

N = Factor de diseño 2.¹⁵⁸

$$Pad = \frac{202.328 \text{ KN}}{2}$$

$$Pad = 101.164 \text{ KN}$$

Como se resaltó anteriormente para que la columna no falle por pandeo debe cumplir con la relación.

$$Fa \leq Pad$$

$$94.26 \text{ KN} \leq 101.164 \text{ KN}$$

Y con esta relación podemos comprobar que la fuerza axial está dentro de los límites calculados de la carga admisible.

3.9.5.5. Diámetro necesario para una columna larga

Para poder determinar si el diámetro del husillo soporta la carga admisible se lo hará con la ecuación¹⁵⁹.

¹⁵⁷ MOTT, Robert, Op. Cit. P. 238

¹⁵⁸ MOTT, Robert, Op. Cit. P. 239

¹⁵⁹ MOTT, Robert, Op. Cit. P 247

$$D = \left[\frac{64 * N * Pad * (KL)^2}{\pi^3 * E} \right]^{1/4} \quad Ec (96)$$

Dónde

N = Factor de diseño 2.

Pad = Carga admisible (KN)

KL = Longitud admisible

E = Módulo de elasticidad (206.8 GPa, Anexo F; Tabla F-3.11)

$$D = \left[\frac{64 * 2 * 101.164 \text{ KN} * (2793 \text{ mm})^2}{\pi^3 * 206.8 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2}} \right]^{1/4}$$

$$D = [15752899.75 \text{ mm}]^{1/4}$$

$$D = 62.99 \text{ mm}$$

$$D = 63 \text{ mm}$$

Se podrá ver que el diámetro del husillo calculado soporta la carga admisible, y es igual al diámetro con el cual hemos realizado los cálculos.

3.9.5.6. Deflexión del husillo

La flecha máxima del husillo al aplicar la carga distribuida permitida, será mediante la siguiente ecuación¹⁶⁰.

$$\Delta_{\text{máx}} = \frac{q * L^4}{8 * E * I} \quad Ec (97)$$

¹⁶⁰ MANUAL de la AISC, P. 2-302

Dónde

$\Delta máx$ = Deflexión máxima (mm)

q = Carga distribuida (1.729×10^{-4} KN / mm)

L = Longitud del husillo (1330 mm)

E = Módulo de elasticidad (206.8 GPa, Anexo F; Tabla F-3.11)

I = Momento de inercia (773271.66 mm^4)

$$\Delta máx = \frac{(1.729 \times 10^{-4} \frac{KN}{mm}) * (1330 \text{ mm})^4}{8 * \left(206.8 \frac{KN}{mm^2}\right) * (773271.6 \text{ mm}^4)}$$

$$\Delta máx = \frac{541005346.6}{1279300535} \text{ mm}$$

$$\Delta máx = 0.422 \text{ mm}$$

3.10. Diámetro de la sección dónde va ubicado el chavetero.

En la sección 3.9, tomamos un diámetro aproximado de 44 mm, basándose en la profundidad del filete al inicio de la zona de alimentación.

Hay que tener cuidado al utilizar esta ecuación ya que se encuentra en unidades métricas inglesas, se tendrá que transformar los valores utilizando con sus respectivos factores de conversión.

Ahora se calculará un diámetro real de esta parte del husillo¹⁶¹.

$$d = \left\{ \frac{32 * N}{\pi} \left[\left(k_f' \frac{M_a}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(k_f' \frac{T}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} \quad Ec (98)$$

¹⁶¹ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 578

Dónde

d = Diametro dónde esta ubicado el chavetero (plg)

N = Factor de seguridad 2^{162} .

K_f = Factor de modificación de efectos varios (1.546)

M_a = Momento máximo en el punto A (lbf*plg)

$$M_a = 152.92 \text{ KN mm} * \frac{1 \text{ plg}}{25.4 \text{ mm}} * \frac{1000 \text{ N}}{1 \text{ KN}} * \frac{0.22481 \text{ lbf}}{1 \text{ N}}$$

$$M_a = 1353.46 \text{ lbf plg}$$

S_e = Limite de resistencia a la fatiga (psi)

$$S_e = 137.38 \text{ MPa} * \frac{1 \times 10^6 \text{ Pa}}{1 \text{ MPa}} * \frac{1.4504 \times 10^{-4} \text{ psia}}{1 \text{ Pa}}$$

$$S_e = 19925.595 \text{ psia}$$

T = Torque (lbf*plg) 2282.61 N*m

$$T = 2282.61 \text{ Nm} * \frac{0.22481 \text{ lbf}}{1 \text{ N}} * \frac{39.370 \text{ plg}}{1 \text{ m}}$$

$$T = 20202.86 \text{ lbf} * \text{plg}$$

S_y = Limite de fluencia del material (95 Kpsi Anexo F; Tabla F-3.5)

$$S_y = 95 \text{ Kpsi} = 95000 \text{ psi}$$

Ya determinado los parámetros con sus respectivas unidades se reemplazarán en la ecuación 98.

¹⁶² NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 579

$$d = \left\{ \frac{32 * 2}{\pi} \left[\left(1.546 * \frac{1353.46}{19925.595} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(1.546 * \frac{20202.86}{95000} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = \left\{ \frac{32 * 2}{\pi} \left[(0.1050)^2 + \frac{3}{4} (0.329)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = \left\{ \frac{32 * 2}{\pi} [0.0110 + 0.0811]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = \{6.1829\}^{1/3}$$

$$d = 1.835 \text{ plg}$$

$$d = 46.62 \text{ mm}$$

Se podrá concluir que el diámetro que se tomó al inicio no tiene mucha diferencia al calculado: esta diferencia será:

$$\delta = d \text{ cal} - d \text{ apro} \quad \text{Ec (99)}$$

$$\delta = 46.62 \text{ mm} - 44 \text{ mm}$$

$$\delta = 2.63 \text{ mm Es un valor aceptable}$$

3.10.1. Diseño de chavetas

Una cuña o chaveta es un elemento de una máquina que se ubica en la inter fase del eje y la masa de una pieza que transmite potencia con el fin de transmitir torque.

La chaveta es desmontable para facilitar el ensamble y desarmado del sistema de eje, que se denomina cuñero o chavetero como se observa en la figura 3.17.

Para el diseño de una chaveta se tendrá que calcular el material de construcción, y las medidas correspondientes ancho y longitud.

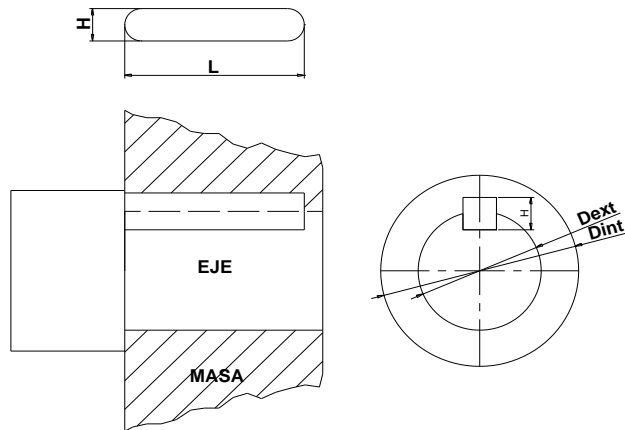


Figura 3. 17 Diagrama de un cuñero o chaveta

3.10.1.1. Material de las cuñas o chavetas

Dado que las cuñas se cargan al esfuerzo cortante, en su fabricación se utilizará materiales dúctiles. La elección más común es un acero dulce al bajo carbono.

El material para la cuña será AISI 1045 que se apega a la norma ANSI B17.1. (Anexo F; Tabla F-4.1)

3.10.1.2. Chaveta para el husillo

“Para el diseño planteado se utilizará una cuña paralela cuadrada, es el tipo más común de cuñas para ejes de hasta 6 ½ plg o menos de diámetro”¹⁶³.

La cuña rectangular se sugiere para ejes largos y se utiliza en ejes cortos dónde puede tolerarse una menor altura.

Tanto la cuña cuadrada como la rectangular se denominan cuñas paralelas porque la parte superior, la inferior y los lados de la cuña son todos paralelos.

¹⁶³ SHIGLEY, J. Op. Cit. P. 379

3.10.1.3. Dimensiones de la cuña o chaveta

3.10.1.3.1. Altura de la cuña o chaveta

Como se mencionó anteriormente la cuña seleccionada será cuadrada por el diámetro que tenemos y por lo tanto esta medida se encuentra tabulada y será 12.7 mm (Anexo F; Tabla F-4.2)

3.10.1.3.2. Longitud de la cuña o chaveta

“Para calcular el valor de la longitud se tendrá que conocer que hay dos modos de resistencia, al corte y por aplastamiento, es importante tener en cuenta que la longitud no debe ser mayor que 1.5 veces el diámetro para que no falle”¹⁶⁴.

3.10.1.3.3. Resistencia al corte

La resistencia al corte ocurre cuando la cuña es degollada en su ancho en el contacto entre flecha y masa y se determinará mediante la ecuación¹⁶⁵.

$$\frac{Ssy}{\eta} = \frac{F}{b * L} \quad Ec (100)$$

Despejamos el parámetro a calcular L .

$$L = \frac{F * \eta}{b * Ssy} \quad Ec (100. a)$$

Dónde

L = Longitud de la chaveta

η = Factor de seguridad 1.5

¹⁶⁴ SHIGLEY, J. Op. Cit. P. 378

¹⁶⁵ SHIGLEY, J. Op. Cit. P. 383

S_{sy} = Resistencia al cortante

S_y = Limite de fluencia del material (310 N/mm², Anexo F; Tabla F-4.1)

$$S_{sy} = 0.577 * S_y$$

$$S_{sy} = 0.577 * \left(310 \frac{N}{mm^2}\right)$$

$$S_{sy} = 178.87 \frac{N}{mm^2}$$

b = Altura de la chaveta (12.7 mm, Anexo F; Tabla F-4.2)

F = Fuerza de la superficie del eje

$$F = \frac{Mt}{r} \tag{Ec (101)}$$

Dónde

M_t = Momento torsor (2282.61 N*m)

r = Radio del eje (23.31 mm)

$$F = \frac{2282.61 N * m}{0.02331 m}$$

$$F = 97924.07 N$$

Se reemplazará los valores en la ecuación 100.a:

$$L = \frac{97924.07 N * 1.5}{12.7 mm * 178.87 \frac{N}{mm^2}}$$

$$L = 64.661 mm$$

3.10.1.3.4. Resistencia al aplastamiento o apoyo

La resistencia por aplastamiento o apoyo ocurre por apretar cualquiera de los lados a compresión y se calculará con la siguiente ecuación¹⁶⁶.

$$\frac{S_y}{\eta} = \frac{F}{\frac{bL}{2}} \quad Ec (102)$$

Despejamos el valor a calcular L .

$$L = \frac{2 * F * \eta}{b * S_y} \quad Ec (102. a)$$

$$L = \frac{2 * 97924.07 \text{ N} * 1.5}{12.7 \text{ mm} * 310 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$L = 68 \text{ mm}$$

La longitud de la chaveta calculada será de 68 mm con un ancho de 12.7 mm como se muestra en la figura 3.18, ya que se encuentra dentro de los límites establecidos.

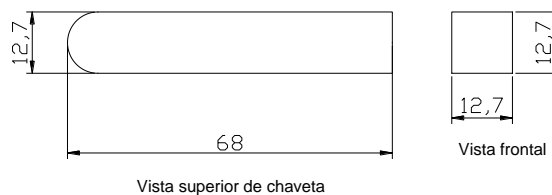


Figura 3. 18 Vistas de la chaveta diseñada

“Las longitudes típicas se encuentran entre 1.25D hasta 2.4D, para carga uniforme, siendo D el diámetro del eje”¹⁶⁷, y la longitud del eje dónde va ubicada la chaveta será de 75 mm.

¹⁶⁶ SHIGLEY, J. Op. Cit. P. 383

¹⁶⁷ FAIRES, V.M, Op. Cit. P. 367

3.10.1.4. Verificación del facto de seguridad

Para comprobar si el factor de seguridad seleccionado es correcto se lo realizará con la siguiente ecuación¹⁶⁸.

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma \text{ máx}} \quad Ec (103)$$

Dónde

η = Factor de seguridad por aplastamiento

S_y = Limite de fluencia del material ($310 \text{ N/mm}^2 = 49313.6 \text{ psi}$ Anexo F; Tabla F-4.1)

$\sigma \text{ máx}$ = Esfuerzo máximo

$$\sigma \text{ máx} = \frac{F_a + F_m}{A} \quad Ec (104)$$

Dónde

F_m = Fuerza media sobre la cuña

$$F_m = \frac{T}{r}$$

$$F_m = \frac{20202.86 \text{ lbf plg}}{0.92 \text{ plg}}$$

$$F_m = 22014.27 \text{ lbf}$$

A = Área del eje

F_a = Fuerza alternante sobre la cuña

¹⁶⁸ NORTON. L Robert, Op. Cit. P 592

$$Fa = \frac{T}{r}$$

Ec (105)

Dónde

$T =$ Torque (20202.86 lbf plg)

$r =$ Radio del eje (1.84 plg)

$$Fa = \frac{20202.86 \text{ lbf plg}}{0.92 \text{ plg}}$$

$$Fa = 22014.27 \text{ lbf}$$

Área del eje

$$A = b * L$$

Dónde

$b =$ Base de la cuña (0.5 plg)

$L =$ Longitud de la cuña (2.83 plg)

$$A = 0.5 \text{ plg} * 2.83 \text{ plg}$$

$$A = 1.42 \text{ plg}^2$$

Se reemplazará los valores en la ecuación 104.

$$\sigma \text{ máx} = \frac{22014.27 + 22014.27 \text{ (lbf)}}{1.42 \text{ plg}^2}$$

$$\sigma \text{ máx} = 31006.01 \text{ psi}$$

Se calculará el factor de seguridad ecuación 103.

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma \text{ máx}}$$

$$\eta = \frac{49313.6 \text{ psi}}{31006.01 \text{ psi}}$$

$$\eta = 1.59$$

Podemos observar que el valor del factor de seguridad es el correcto¹⁶⁹.

3.10.1.5. Chaveta para la polea conductora

Al tener las dimensiones y características del fabricante del motor, se podrá determinar una chaveta para transmitir el movimiento del eje del motor a la polea. (Anexo F; Tabla F-4.3)

3.10.1.6. Chaveta para la polea conducida.

Del mismo modo que se lo realizó en el dimensionamiento de la chaveta de la polea conducida, tomaremos como dato las características de los fabricantes de la caja reductora como son el diámetro 40 mm y una longitud del eje de 90mm; con estos datos se dimensionará la chaveta.

h = Altura de la chaveta 12.7 mm

L = Longitud de la chaveta 70 mm

3.11. Diseño del eje motriz

El eje motriz es un acople entre la brida de la caja y el husillo, en este elemento también ingresaran los rodamientos que se analizarán en la siguiente sección.

¹⁶⁹ FAIRES, V.M, Op.Cit.P.367

El diseño del eje motriz se basará en determinar el material, el diámetro, y la forma de conexión con la brida (chaveta o estrías).

3.11.1. Material de eje motriz

El material seleccionado para el eje es el “Acero de transmisión” y las características de este material (AISI 1020 Anexo F; Tabla F-4.4).

3.11.2. Elementos del eje motriz

En la figura 3.19, se muestra los elementos que van montados o acoplados en el eje, y se indican los puntos importantes para el diseño. Y los elementos son:

C y D = Rodamientos

h = Husillo

b = Brida

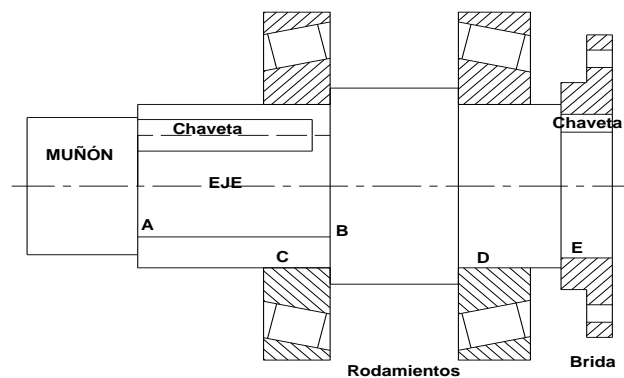


Figura 3. 19 Eje motriz

Los puntos que se muestran en el grafico son:

A y B = Puntos de apoyo del husillo sobre el eje motriz

C y D = Puntos medios de los cojinetes

E= Punto medio de la brida

3.11.3. Cargas en el eje

En la figura 3.20 se representan las cargas sobre el eje.

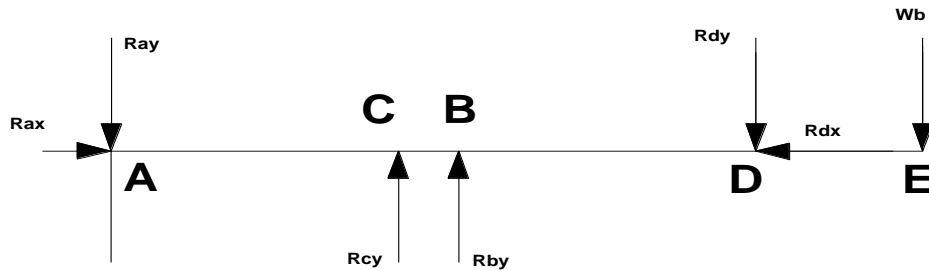


Figura 3. 20 Cargas en el eje motriz

De dónde se tendrá:

R_{ax} y R_{ay} = Cargas del husillo sobre el eje en A

R_{ax} = F_a = 94.26 KN

R_{ay} = 2.4 KN

R_{by} = Carga del husillo sobre el eje en B = 2.039 KN

R_{cy} = Carga en el rodamiento C (KN)

R_{dx} y R_{dy} = Cargas en el rodamiento D (KN)

W_b = Peso de la brida

El peso como carga distribuida, del eje motriz, no se lo toma en cuenta por ser despreciable frente a las otras fuerzas.

3.11.3.1. Cálculo del peso de la brida

La brida es una parte de la caja reductora que se conecta con el eje motriz mediante un estriado, y está unida mediante 4 pernos M16, como se muestra en la figura 3.21.

El peso de la brida influye en el diseño del eje motriz por lo tanto se tendrá que calcular este parámetro.

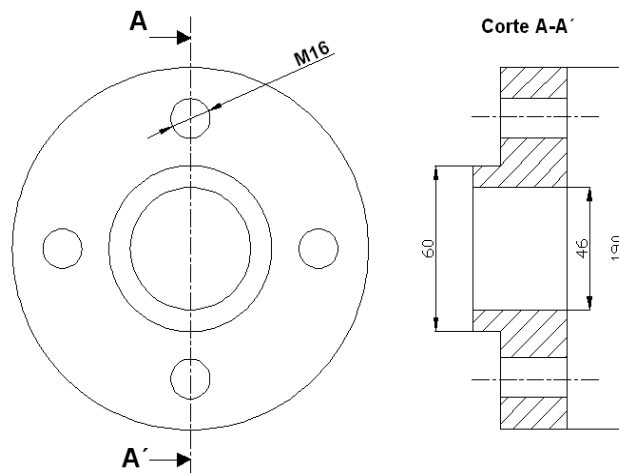


Figura 3. 21 Brida del eje motriz

La brida se tendrá que dividir por partes para obtener un valor real del peso (fuerza) que ejerce en el eje.

3.11.3.2. Pernos de la brida

Como se mencionó, el peso de las perforaciones se tendrá que restar al peso total de la brida, y lo se realizará con la siguiente ecuación.

$$V_{per} = \pi r^2 h \quad \text{Ec (106. a)}$$

Dónde

V_{per} = Volumen de las perforaciones (m^3)

r = Radio de perno (8 mm)

h = Profundidad de perforación (15 mm)

$$V_{per} = \pi(8mm)^2(15mm)$$

$$V_{per} = 1178.09 \text{ mm}^3$$

$$V_{per} = 1.178 \times 10^{-6} \text{ m}^3 * 4$$

$$V_{per} = 7.07 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Para el cálculo de la masa de las perforaciones se lo realizará de la siguiente manera.

$$m_{per} = \rho * V_{per} \quad Ec (107. a)$$

Dónde

m_{per} = Masa de las perforaciones (kg)

ρ = Densidad del acero AISI 1020 (7870Kg/m³ Anexo F; Tabla F-4.4)

$$m_{per} = 7870 \frac{kg}{m^3} * 1.178 m^3$$

$$m_{per} = 7870 \frac{kg}{m^3} * 1.178 m^3$$

$$m_{per} = 9.27 x 10^{-3} kg$$

3.11.3.3. Perforaciones de alojamiento

Este peso se deberá restar del total de la brida, y se lo realizará con la siguiente ecuación:

$$V_{agu} = \pi r^2 h \quad Ec (106. b)$$

Dónde

V_{agu} = Volumen de agujero de alojamiento (m³)

$$V_{agu} = \pi(23.31mm)^2(20mm)$$

$$V_{agu} = 34140.07 mm^3$$

$$V_{agu} = 3.414 x 10^{-5} m^3$$

Para la masa de agujero de alojamiento se lo realizará con la siguiente ecuación.

$$m_{agu} = \rho * V_{agu} \quad Ec (107. b)$$

Dónde

ρ = Densidad del acero AISI 1020 (7870Kg/m³ Anexo F; Tabla F-4.4)

m_{agu} = Masa del agujero de alojamiento

$$m_{agu} = 7870 \frac{kg}{m^3} * 3.414 \times 10^{-5} m^3$$

$$m_{agu} = 0.269 kg$$

3.11.3.4. Peso de la brida

Las bridas son como dos tapas de diferente diámetro así que se calculará, con dos independientes para después sumarlos.

$$V1 = \pi r^2 h \quad Ec (106. c)$$

$$V1 = \pi(95 mm)^2(15mm)$$

$$V1 = 117809.72 mm^3$$

$$V1 = 1.178 \times 10^{-4} m^3$$

$$V2 = \pi r^2 h$$

$$V2 = \pi(30 mm)^2(5mm)$$

$$V2 = 14137.167 mm^3$$

$$V2 = 1.414 \times 10^{-5} m^3$$

Al tener estos valores se sumará para tener un volumen total de la brida.

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$V_T = 1.178 \times 10^{-4} \text{ m}^3 + 1.414 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$V_T = 1.32 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

La masa de la brida será calculada de la siguiente manera.

$$m_b = \rho * V_T \quad \text{Ec (107.c)}$$

Dónde

m_b = Masa de la brida

ρ = Densidad del acero AISI 1020 (7870Kg/m³ Anexo F; Tabla F-4.4)

$$m_b = 7870 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1.32 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m_b = 1.038 \text{ kg}$$

Como mencionamos al inicio de esta sección, para obtener una masa real de la brida se deberá restar los agujeros y perforaciones que tiene este elemento:

$$m_{TOTAL} = m_V - (m_{per} + m_{agu})$$

$$m_{TOTAL} = 1.038 \text{ kg} - (9.27 \times 10^{-3} \text{ kg} + 0.269 \text{ kg})$$

$$m_{TOTAL} = 0.760 \text{ kg}$$

Para determinar la fuerza de la brida se lo realizará de la siguiente manera.

$$W_b = 0.760 \text{ kg} * \frac{9.81 \text{ N}}{1 \text{ kg}} * \frac{1 \text{ KN}}{1000 \text{ N}}$$

$$W_b = 7.46 \times 10^{-3} \text{ KN}$$

3.11.4. Diagrama de momento flector del eje motriz

Para realizar el diagrama flector se analizarán las cargas presentes en la siguiente figura 3.22.

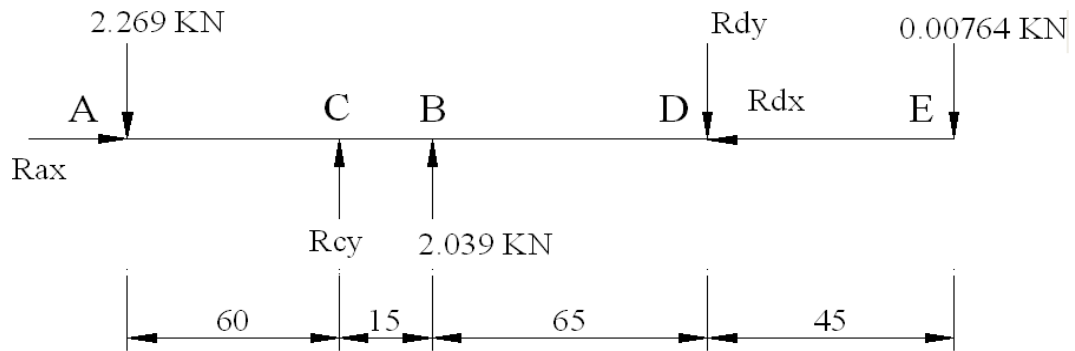


Figura 3. 22 Distribución de cargas

Aplicado ecuaciones de equilibrio se tendrá:

$$\Sigma F_x \rightarrow += 0 \quad Ec (108)$$

$$R_{ax} - R_{dx} = 0$$

$$R_{ax} = R_{dx} = 94.26 \text{ KN}$$

$$\Sigma F_y \uparrow += 0 \quad Ec (109)$$

$$-2.269 + R_{cy} + 2.039 - R_{dy} - 7.46 \times 10^{-3} = 0$$

$$R_{cy} - R_{dy} = 2.269 - 2.039 + 7.46 \times 10^{-3}$$

$$R_{cy} - R_{dy} = 0.237 \text{ (KN)}$$

Se tendrá en la ecuación dos incógnitas así que realizaremos una sumatoria de momentos en el punto C para determinar la reacción en D;

$$\Sigma M_c \curvearrowright = 0$$

Ec (110)

$$(2.039 * 15) - (Rdy * 80) - (0.00746 * 125) + (2.269 * 60) = 0$$

$$(Rdy * 80) = (2.039 * 15) - (0.00746 * 125) + (2.269 * 60)$$

$$(Rdy * 80) = 165.6$$

$$Rdy = 2.07 \text{ KN}$$

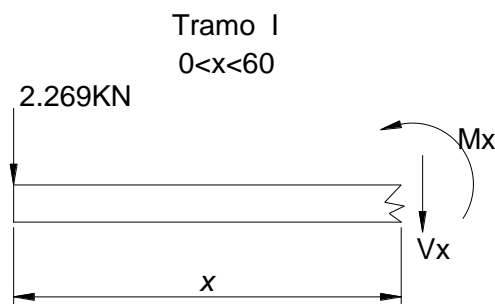
Reemplazando en la ecuación 109:

$$Rcy = 0.237 + Rdy$$

$$Rcy = 0.237 + 2.07$$

$$Rcy = 2.31 \text{ KN}$$

Como se lo realizó el diagrama de momento flector del husillo, también se lo realizará para el eje motriz, con las cargas que se muestra en el diagrama de cuerpo libre (DCL), así se tendrán los siguientes tramos:



$$\Sigma F_v \uparrow = 0$$

$$-2.269 - V_x = 0$$

$$V_x = -2.269$$

$$\Sigma Mx \curvearrowright += 0$$

$$Mx + 2.269 x = 0$$

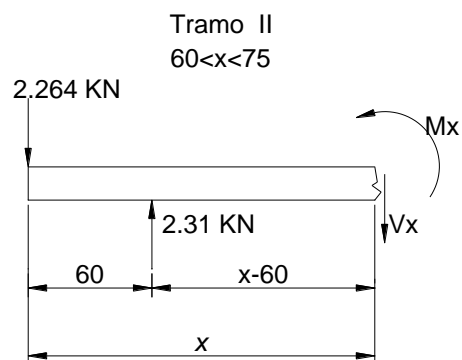
$$Mx = - 2.269 x$$

Reemplazando los valores de x se tendrá:

Para

$$x=0 \left\{ \begin{array}{l} V = -2.269 \\ M = 0 \end{array} \right.$$

$$x=60 \left\{ \begin{array}{l} V = -2.269 \\ M = -136.1 \end{array} \right.$$



$$\Sigma Fv \uparrow += 0$$

$$-2.269 + 2.31 - Vx = 0$$

$$Vx = -2.269 + 2.31$$

$$Vx = 0.041$$

$$\Sigma Mx \curvearrowright += 0$$

$$Mx + 2.269 x - 2.31(x - 60) = 0$$

$$Mx = - 2.269 x + 2.31(x - 60)$$

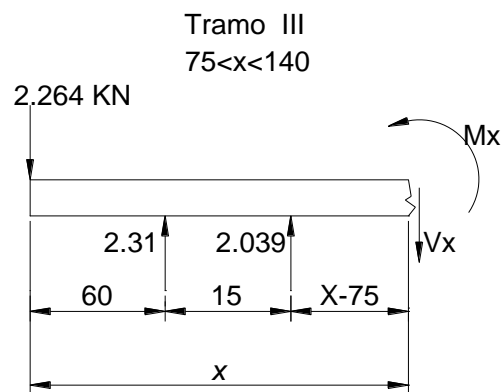
$$Mx = 0.041x - 138.6$$

Reemplazando los valores de x :

Para

$$x=60 \left\{ \begin{array}{l} V= 0.471 \\ M= -136.14 \end{array} \right.$$

$$x=75 \left\{ \begin{array}{l} V= 0.471 \\ M= -135.53 \end{array} \right.$$



$$\Sigma F_v \uparrow + = 0$$

$$-V_x - 2.269 + 2.31 + 2.039 = 0$$

$$V_x = -2.269 + 2.31 + 2.039$$

$$V_x = 2.08$$

$$\Sigma M_x \curvearrowright + = 0$$

$$M_x + 2.269 x - 2.31(x - 60) - 2.039(x - 75) = 0$$

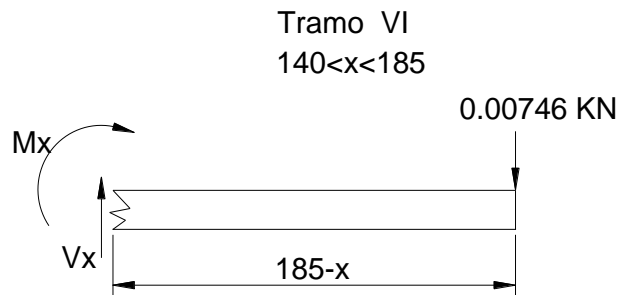
$$M_x = -2.269 x + 2.31(x - 60) + 2.039(x - 75)$$

$$M_x = -2.269 x + 2.31x - 138.6 + 2.039x - 152.93$$

$$M_x = 2.08x - 291.53$$

Reemplazando los valores de x :

$$\text{Para } x=75 \left\{ \begin{array}{l} V= 2.08 \\ M= -135.53 \end{array} \right. \quad x=140 \quad \left\{ \begin{array}{l} V= 2.08 \\ M= -0.33 \end{array} \right.$$



$$\Sigma F_v \uparrow = 0$$

$$V_x - 0.00746 = 0$$

$$V_x = 0.00746$$

$$\Sigma M_x \curvearrowright = 0$$

$$M_x + 0.00746(185 - x) = 0$$

$$M_x = -0.00746(185 - x)$$

$$M_x = 0.00746x - 1.38$$

Reemplazando los valores de x :

Para

$$x=140 \left\{ \begin{array}{l} V= 0.00746 \\ M= -0.33 \end{array} \right. \quad x=185 \quad \left\{ \begin{array}{l} V= 0.00746 \\ M= 0 \end{array} \right.$$

Diagrama de momento flector figura 3.23.

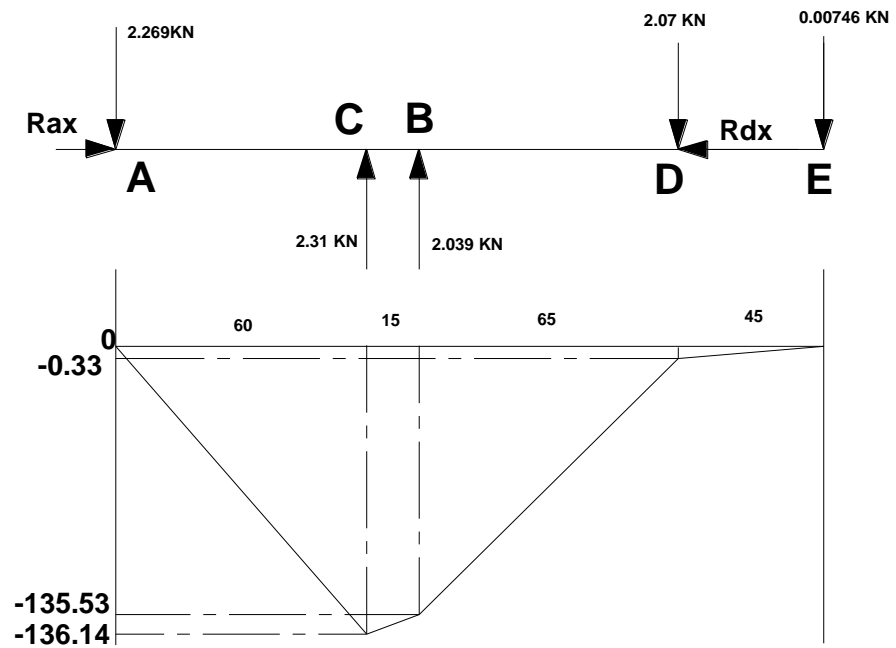


Figura 3. 23 Diagrama del eje flector

3.11.5. Diámetro mínimo del eje motriz

El diseño del eje de material dúctil, basado en su resistencia, está controlado por la teoría del esfuerzo cortante máximo.

La ecuación del código ASME para un eje hueco, combina torsión, flexión y carga axial, aplicando la ecuación del esfuerzo cortante máximo modificada mediante, la introducción de factores de choque, fatiga y columna.

Mediante este concepto se calculará el diámetro real del eje motriz, mediante la siguiente ecuación¹⁷⁰.

¹⁷⁰ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 578

$$d = \left\{ \frac{32 * N}{\pi} \left[\left(k_{f'} \frac{M_c}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(k_{f'} \frac{T}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} \quad Ec (111)$$

Dónde

d = Diámetro real del eje motriz (plg)

N = Factor de seguridad 2.5¹⁷¹.

$K_{f'}$ = Factor de modificación de efectos varios (1.546)

M_c = Momento máximo en el punto C (lbf*plg)

$$M_c = 136.14 \text{ KN mm} * \frac{1 \text{ plg}}{25.4 \text{ mm}} * \frac{1000 \text{ N}}{1 \text{ KN}} * \frac{0.22481 \text{ lbf}}{1 \text{ N}}$$

$$M_c = 1204.95 \text{ lbf plg}$$

S_e = Limite de resistencia a la fatiga (psi)

$$S_e = S_e' * K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_{f'} \quad Ec (112)$$

$$S_e' = 0.5 * S_{ut} \quad Ec (113)$$

Dónde

S_{ut} = Esfuerzo ultimo de corte AISI 1020 (380 MPa, Anexo F; Tabla F-4.4)

$$S_e' = 0.5 * (380 \text{ MPa})$$

$$S_e' = 190 \text{ MPa}$$

Los demás parámetros serán los mismos de la sección 3.8, ya que el diámetro a calcular debe ser mayor al eje del cuñero o chavetero.

¹⁷¹ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 579

$$Se = (190 \text{ MPa}) * (0.719) * (0.769) * (1) * (1) * (0.753) * (0.647)$$

$$Se = 51.181 \text{ MPa}$$

$$Se = 51.181 \text{ MPa} * \frac{1 \times 10^6 \text{ Pa}}{1 \text{ MPa}} * \frac{1.4504 \times 10^{-4} \text{ psia}}{1 \text{ Pa}}$$

$$Se = 7423.281 \text{ psia}$$

$$T = \text{Torque (lbf*plg)} 2282.61 \text{ N*m}$$

$$T = 2282.61 \text{ Nm} * \frac{0.22481 \text{ lbf}}{1 \text{ N}} * \frac{39.370 \text{ plg}}{1 \text{ m}}$$

$$T = 20202.86 \text{ lbf} * \text{plg}$$

$$Sy = \text{Limite de fluencia del material (29700 psi, Anexo F; Tabla F-4.4)}$$

$$Sy = 29700 \text{ psi}$$

Ya determinado los parámetros con sus respectivas unidades se reemplazarán en la ecuación 111.

$$d = \left\{ \frac{32 * 2.5}{\pi} \left[\left(1.546 * \frac{1204.95}{7423.281} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(1.546 * \frac{20202.86}{29700} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = \left\{ \frac{32 * 2.5}{\pi} \left[(0.251)^2 + \frac{3}{4} (1.052)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = \left\{ \frac{32 * 2.5}{\pi} [0.892]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = 2.89 \text{ plg}$$

$$d = 73.4 \text{ mm}$$

Por condición del rodamiento que se encuentra tabulado su diámetro menor que veremos más adelante, se tomará una aproximación del diámetro calculado, el diámetro de diseño del eje motriz será de 75 mm.

3.12. Transmisión de movimiento brida – eje motriz

Para transmitir el movimiento generado por la caja reductora al eje motriz, se maquinará en el eje motriz unas estrías, ya que al tener un limitante de la longitud del eje dónde va ubicada la chaveta es 20 mm (longitud de la brida).

La chaveta no soporta el torque generado por la caja que es de (2282.61 N*m), sección 3.4.6. La verificación del torque que soporta la chaveta se los realizará con la siguiente ecuación¹⁷².

$$L = \frac{4TN}{DWSy} \quad Ec (114)$$

Dónde

L = Longitud de la chaveta (20 mm)

T = Torque (N*m)

N = Factor de seguridad 1.5

D = Diámetro del eje (46.62 mm)

W = Ancho de la chaveta (12.7 mm, Anexo F; Tabla F-4.2)

Sy = Limite de fluencia del material AISI 1045 (310 N/mm², Anexo F; Tabla F-4.1)

Despejamos T de la ecuación 114:

$$T = \frac{LDWSy}{4N}$$

$$T = \frac{20 \text{ mm} * 46.62 \text{ mm} * 12.7 \text{ mm} * 310 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{4(1.5)}$$

¹⁷² MOTT, Robert, Op. Cit. P. 500

$$T = 611809.8 * mm$$

$$T = 611.809 N * m$$

Como se puede ver el torque es inferior al generado por la caja. Por lo tanto las estrías son la mejor alternativa para soportar este torque.

3.12.1. Estrías

Las estrías son una serie de cuñas axiales, maquinadas en un eje, con sus correspondientes ranuras maquinadas en el barreno de la parte acoplada.

“Las estrías ejercen la misma función que una cuña, transmitiendo par torsional del eje al elemento acoplado; debido a que suelen usarse cuatro estrías o más, en comparación de una o dos cuñas, el resultado es una transferencia más uniforme del par torsional”¹⁷³ como se observa en la figura 3.24.

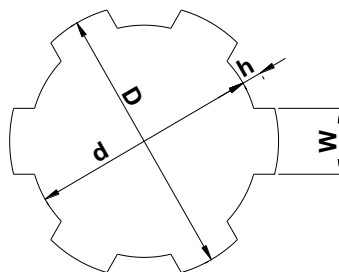


Figura 3. 24 Diagrama de una estría

Para calcular el torque que soporta las estrías se lo realizará con la siguiente ecuación¹⁷⁴.

$$T = 1000N\left(\frac{D^2 - d^2}{8}\right) \quad Ec (115)$$

¹⁷³ MOTT, Robert, Op. Cit. P 503

¹⁷⁴ MOTT, Robert, Op. Cit. P. 504

Dónde

T = Torque (N*m)

N = Número de estrías (4, Anexo F; Tabla F-4.5)

D = Diámetro mayor (46.62= 4.662 cm; sección 3.8)

d = Diámetro menor (0.850D, Anexo F; Tabla F-4.5)

$$d^2 = 0.7225 D^2$$

Remplazando valores en la ecuación 115 se tendrá:

$$T = 1000(4)\left(\frac{D^2 - 0.7225 D^2}{8}\right)$$

$$T = 138.75D^2$$

$$T = 138.75(4.662)^2$$

$$T = 3015.62 N * m$$

Por lo tanto soporta el torque generado por la caja reductora de 2282.61 N*m.

3.13. Rodamientos

“El termino rodamiento en un sentido más amplio, siempre que dos piezas tengan movimiento relativo entre ellas, constituye por definición un rodamiento, sin importar su forma o configuración, los rodamientos giran o se deslizan o ambas cosas a la vez”¹⁷⁵.

¹⁷⁵ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 641

3.13.1. Selección de rodamientos

Los rodamientos están disponibles en una variedad de tipos, configuraciones y tamaños. Al seleccionar el rodamiento correcto para su aplicación (Anexo F; Tabla F-5.1), es muy importante considerar varios factores y analizar varias alternativas como son:

- Facilidad de montaje y desmontaje
- Existencia en el mercado local
- Confirmar las condiciones y el ambiente de operación
- Velocidad de rotación
- Ubicación de montaje del rodamiento
- Carga de rodamiento (dirección y magnitud)

En la sección 3.11.4, se obtuvo las cargas bajo las cuales trabajarán los rodamientos su localización y está indicada en la figura 3.23.

Es necesario también determinar los diferentes ajustes y tolerancias tanto en los ejes como en los alojamientos.

3.13.2. Cargas sobre los rodamientos

“Los rodamientos elegidos son de rodillo cónico ya que son desplazables; el aro interior con la corona de rodillos y el aro exterior, pueden montarse por separado”¹⁷⁶.

Los rodamientos de rodillos cónicos absorben altas fuerzas axiales y radiales como se muestra en la figura 3.23, ya que los rodamientos de rodillo cilíndricos solo absorben cargas axiales en un sentido, generalmente es necesario un segundo rodamiento de rodillo cónico montado simétricamente para el guiado en sentido contrario según la norma DIN ISO 355 y DIN 720.

¹⁷⁶ CATÁLOGO FAG P. 323

La selección de un rodamiento apropiado dependerá de la magnitud de las cargas estáticas y dinámicas aplicadas. Las condiciones de carga del rodamiento son:

Carga radial en el rodamiento c; $F_{rc} = R_{cy} = 2.31 \text{ KN}$

Carga axial en el rodamiento d; $F_{ad} = R_{dx} = 94.26 \text{ KN}$

Carga radial en el rodamiento d; $F_{rd} = R_{dy} = 2.07 \text{ KN}$

El factor de velocidad para estos rodamientos cuya velocidad de giro es de 44 rpm.

3.13.3. Rodamientos (d) solicitud estática

Bajo una solicitud a carga estática, se calculará el factor de esfuerzo estático f_s , para demostrar que se eligió un rodamiento con suficiente capacidad de carga. Para nuestro diseño se seleccionará el rodamiento (32315B); Ya que como de antes utilizaremos 2 rodamientos por la norma DIN, y este soporta carga estática y dinámica. Las siglas de este rodamiento se representan (Anexo F; Tabla F-5.2).

Y se determinará con la siguiente ecuación¹⁷⁷

$$f_s = \frac{C_o}{P_o} \quad Ec (116)$$

Dónde

f_s = Factor de esfuerzo estáticos

C_o = Capacidad de carga estática (475 KN, Anexo F; Tabla F-5.3)

P_o = Carga estática equivalente (KN)

Para aplicar la ecuación de P_o se debe cumplir la siguiente relación¹⁷⁸:

$$\frac{F_a}{F_r} > \frac{1}{2 * Y_o} \quad Ec (117)$$

¹⁷⁷ CATÁLOGO FAG P. 31

¹⁷⁸ CATÁLOGO FAG P. 327

Dónde

Fr = Carga radial (KN)

Yo = Factor axial (0.6, Anexo F; Tabla F-5.3)

Fa = Carga axial (KN)

$$\frac{94.26 \text{ KN}}{2.07} > \frac{1}{2 * 0.6}$$

La carga estática se determinará con la siguiente ecuación¹⁷⁹

$$Po = 0.5 Fr + YoFa \quad Ec (118)$$

$$Po = 0.5(2.07 \text{ KN}) + (0.6)(94.26 \text{ KN})$$

$$Po = 57.591 \text{ KN}$$

Reemplazamos los valores en la ecuación 116.

$$f_s = \frac{475 \text{ KN}}{57.591 \text{ KN}}$$

$$f_s = 8.25$$

El rodamiento tiene suficiente capacidad estática según (Anexo F; Tabla F-5.3)

3.13.4. Rodamientos (d) sollicitación dinámica

“Cuando ambos tipos de carga, las cargas dinámica radiales y las cargas dinámicas axiales, actúan sobre un rodamiento al mismo tiempo, la carga hipotética que actúa en el centro del rodamiento y que permite que el rodamiento tenga la misma vida útil

¹⁷⁹ CATÁLOGO FAG P. 327

que si estuviera cargado solo radialmente o solo axialmente se denomina sollicitación dinámica”¹⁸⁰.

Y se determinará con las siguiente ecuacion¹⁸¹.

$$f_L = \frac{C'}{P} * f_n \quad Ec (119. a)$$

Dónde

f_L = Factor de esfuerzo dinámico (3, Anexo F; Tabla F-5.4)

C' = Capacidad de carga dinámica teórico.

P = Carga dinámica equivalente (KN)

f_n = Factor de velocidad (0.92, Anexo F; Tabla F-5.5)

Para determinar f_n , se tendrá que utilizar el número de revoluciones ya calculadas en la sección 3.2.7, que es de 44 rpm (44 min⁻¹).

La carga dinámica equivalente se determinará con la siguiente ecuación¹⁸².

$$P = 0.4 * Fr + Y * Fa \quad Ec (120)$$

Para aplicar esta expresión debe cumplir con las siguientes relaciones¹⁸³:

$$\frac{Fa}{Fr} > e \quad Ec (121)$$

Dónde

Fr = Carga radial (KN)

Fa = Carga axial (KN)

¹⁸⁰ CATÁLOGO FAG P. 32

¹⁸¹ CATÁLOGO FAG P. 32

¹⁸² CATÁLOGO FAG P. 325

¹⁸³ CATÁLOGO FAG P. 325

$e =$ Factor del rodamiento (0.55, Anexo F; Tabla F-5.3)

$$\frac{94.26 \text{ KN}}{2.07 \text{ KN}} > 0.55$$

$$45.54 > 0.55$$

Condición de carga¹⁸⁴

$$\frac{Frd}{Yd} > \frac{Frc}{Yc} \quad Ec (122)$$

Dónde

$Frd =$ Carga radial rodamiento d; (2.07 KN)

$Frc =$ Carga radial rodamiento c; (2.31 KN)

$Yd =$ Capacidad- Factor de carga rodamiento d; (1.1, Anexo F; Tabla F-5.3)

$Yc =$ Capacidad- Factor de carga rodamiento c; (1.74, Anexo F; Tabla F-5.3)

$$\frac{2.07 \text{ KN}}{1.1} > \frac{2.31 \text{ KN}}{1.74}$$

$$1.882 \text{ KN} > 1.328 \text{ KN}$$

Factor de giro¹⁸⁵

$$Ka > 0.5 \left(\frac{Frd}{Yd} - \frac{Frc}{Yc} \right) \quad Ec (123)$$

$$Ka > 0.5(1.882 \text{ KN} - 1.328 \text{ KN})$$

$$Ka > 0.277 \text{ KN}$$

¹⁸⁴ CATÁLOGO FAG P. 326

¹⁸⁵ CATÁLOGO FAG P. 326

Carga axial teórica¹⁸⁶

$$Fa = Ka + 0.5 * \frac{Frc}{Yc} \quad Ec (124)$$

$$Fa = 0.277 KN + 0.5 * \frac{2.31 KN}{1.74}$$

$$Fa = 0.941 KN$$

Se reemplazará los valores calculados en la ecuación 120.

$$P = 0.4 * Fr + Y * Fa$$

$$P = 0.4 * 2.07KN + 1.1 * 0.941 KN$$

$$P = 1.86 KN$$

Despejando C' de la ecuación 119.a:

$$f_L = \frac{C'}{P} * f_n$$

$$C' = \frac{f_L * P}{f_n}$$

$$C' = \frac{3 * 1.86 KN}{0.92}$$

$$C' = 6.07KN$$

Para comprobar que el rodamiento funciona debe cumplir con la siguiente relación.

$$C' < C \quad Ec (125. a)$$

¹⁸⁶ CATÁLOGO FAG P. 326

Dónde

C = Capacidad de carga dinámica tabulado rodamiento de rodillo cónico (335 KN, Anexo F; Tabla F-5.3)

$$6.07KN < 335 KN$$

El rodamiento de rodillo cónico 31315B funciona correctamente por la solución dinámica,

3.13.5. Rodamientos (c) sollicitación dinámica

Aplicaremos el mismo concepto del rodamiento d, para determinar si el rodamiento c funciona con la denominación 32315A, ya que es el complemento de rodamiento d.

$$f_L = \frac{C'}{P} * f_n \quad Ec (119. b)$$

Dónde

f_L = Factor de esfuerzo dinámico (3, Anexo F; Tabla F-5.4)

C' = Capacidad de carga dinámica teórico.

P = Carga dinámica equivalente (KN)

f_n = Factor de velocidad (0.92, Anexo F; Tabla F-5.5)

Pero hay que tener en cuenta que en este rodamiento no existe fuerza o carga axial, por los cálculos realizados en la sección 3.11.4. Por lo tanto $Fa = 0$

La carga dinámica equivalente se determinará mediante la siguiente ecuación¹⁸⁷.

$$P = Fr \quad Ec (126)$$

¹⁸⁷ CATÁLOGO FAG P. 325

Para poder utilizar esta ecuación se debe cumplir con la siguiente expresión.

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e \quad Ec (127)$$

Dónde

F_a = Carga axial rodamiento ($c = 0$ KN)

F_r = Carga radial rodamiento ($c = 2.31$ KN)

e = Factor del rodamiento (0.35, Anexo F; Tabla F-5.3)

$$\frac{0}{2.31 \text{ KN}} \leq 0.35$$

Por lo tanto.

$$P = 2.31 \text{ KN}$$

Despejando C' de la ecuación 119.b tenemos:

$$C' = \frac{f_L * P}{f_n}$$

$$C' = \frac{3 * 2.31 \text{ KN}}{0.92}$$

$$C' = 7.533 \text{ KN}$$

Ahora se podrá comparar si el rodamiento c funciona con la siguiente relación:

$$C' < C \quad Ec (125. b)$$

Dónde

C = Capacidad de carga dinámica tabulado rodamiento de rodillo cónico (360 KN Anexo F; Tabla F-5.3)

$$7.53 \text{ KN} < 360 \text{ KN}$$

El rodamiento de rodillo cónico 31315 A, funcionará correctamente por la solución dinámica.

3.13.6. Ajuste de los rodamientos

En los rodamientos, los anillos interiores y exteriores estarán fijos a los ejes o al alojamiento, por lo que no hay un movimiento relativo entre la superficie de asentamiento, al operar o ser sometidas a cargas.

3.13.7. Elección de tolerancias y ajustes

La selección de un ajuste adecuado requiere un análisis profundo de las condiciones de operación de los rodamientos, incluyendo consideraciones de:

- Materiales del eje y alojamiento, espesor de los anillos, precisión de los acabados de las superficies
- Condiciones de operación de la maquinaria (naturaleza y magnitud de la carga, velocidad de rotación, temperatura, etc.)

3.13.8. Tolerancia de los alojamientos

Considerando el carácter circunferencial de la carga al aro exterior estacionario, carga normal y precisión de giro elevada, el campo de giro escogido es H7 (Anexo F; Tabla F-5.6).

3.13.9. Tolerancia de los ejes

Las condiciones que se debe análisis para la selección de la tolerancia del eje son de la carga circunferencial, diámetro del eje y la carga, con estos campos de tolerancia se seleccionó una tolerancia de tipo h6 (Anexo F; Tabla F-5.7)

3.13.10. Ajustes

Los ajustes se resumen en (Anexo F; Tabla F-5.8)

3.13.11. Lubricación y mantenimiento

La misión principal de la lubricación de rodamientos es evitar el desgaste y la fatiga prematura y, con ello, garantizar suficientemente una larga vida de servicio.

Además, la lubricación debe contribuir a que existan propiedades de servicio favorables, como son un bajo nivel de ruido y de rozamiento.

La película lubricante que se forma entre las partes que transmiten la carga, debe evitar el contacto metal - metal.

3.13.11.1. Lubricación con grasa

La lubricación con grasa se usa en un 90% de todas las aplicaciones de rodamientos.

Las ventajas esenciales de una lubricación con grasa son:

- Diseño sencillo
- Buenas propiedades obturadoras de la grasa
- Larga vida de servicio con bajos costes de mantenimiento

Bajo condiciones normales de servicio y ambientales, la lubricación por grasa puede realizarse muchas veces como lubricación a vida (*for-life*).

3.13.11.2. Lubricación con aceite

Este sistema es práctico si los elementos próximos a la máquina deben lubricarse también con aceite o cuando sea necesario evacuar calor mediante el lubricante.

3.14. Rosca del cilindro

El cilindro debe estar unida a la caja mediante una brida, la cual a la vez debe estar unida al cilindro, mediante unión permanente (suelta), o semipermanente (rosca), para nuestro caso y por facilidad al momento de sacar y cambiar el husillo se utilizará semipermanente.

3.14.1. Selección del tipo de rosca

“La rosca de 8 hilos (8 UN), se emplea para bridas de tubos de alta presión, estas roscas son de utilidad a que en rosca basta, el paso continúa aumentando con el diámetro y llega a ser muy difícil lograr la tracción inicial deseada en el perno, lo que es muy necesario para juntar herméticamente”¹⁸⁸. Y se muestra en la figura 3.25.

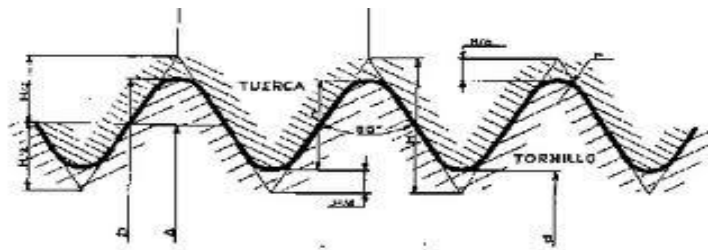


Figura 3. 25 Rosca externa

Para lo cual el paso (P) será¹⁸⁹ :

$$P = \frac{1}{\text{Número de hilos por pulgada}} \quad \text{Ec (128)}$$

Siendo 8 hilos por pulgada por la clase de rosca seleccionada.

$$P = \frac{1}{8} = 0.125 \text{ plg}$$

¹⁸⁸ FAIRES, V.M, Op. Cit. P. 203

¹⁸⁹ FAIRES, V.M, Op. Cit. P. 203

La altura (H) de la rosca será¹⁹⁰:

$$H = 0.866P \quad Ec (129)$$

$$H = 0.866(0.125)$$

$$H = 0.108 \text{ } plg$$

El diámetro menor y el área para esfuerzo se encuentran tabulado (Anexo F; Tabla F-6.1)

3.14.2. Ajustes para roscas

El tipo de ajuste para roscas se designa mediante la siguiente notación: 1A, 2A, 3A, para roscas externas y 1B, 2B, 3B, para roscas internas. Para nuestro diseño se utilizará una tolerancia de tipo 2A, 2B, ya que esta tolerancia es adecuada para la práctica de producción normal, son la que más se utilizan.

La holgura correspondiente a este ajuste reduce al máximo la excoiación o acción abrasiva entre hilos y el agarrotamiento en juntas muy apretadas y en aplicaciones de temperatura elevada, y se utilizará cuando no hay razón alguna que justifique el uso de otra.

3.15. Diseño de tornillos¹⁹¹

Los tornillos son elementos que tienen filetes enrollados en forma de hélice sobre una superficie cilíndrica y son unos de los elementos más utilizados en las máquinas, se podrá clasificar los tornillos, de acuerdo con la función que cumplen, en tornillos de unión y tornillos de potencia.

¹⁹⁰ FAIRES, V.M, Op. Cit. P. 203

¹⁹¹ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 889

En muchos casos, los tornillos están sometidos a cargas variables combinadas, por lo que debe aplicarse una teoría de falla por fatiga.

Un tornillo puede fallar en el núcleo o en los filetes; se deberá tener en cuenta el diámetro del tornillo, así como el número de filetes en contacto con la tuerca.

3.15.1. Tornillos de unión¹⁹²

Los métodos de unión podrá ser permanentes, como la unión mediante remaches, soldadura y pegantes o semipermanentes o desmontables, como los tornillos de unión (tornillos, prisioneros o tornillos de fijación, pernos y espárragos), chavetas y pasadores.

En los métodos de unión semipermanentes, el elemento que une puede montarse y desmontarse fácil y repetidamente, sin necesidad de destruirlo. Los tornillos y pernos de unión son métodos semipermanentes, y en esto radica su gran ventaja.

Estrictamente hablando, la diferencia entre tornillo y perno es que el primero se introduce en una pieza roscada, mientras que el segundo va acompañado de una tuerca como se muestra en la figura 3.26.

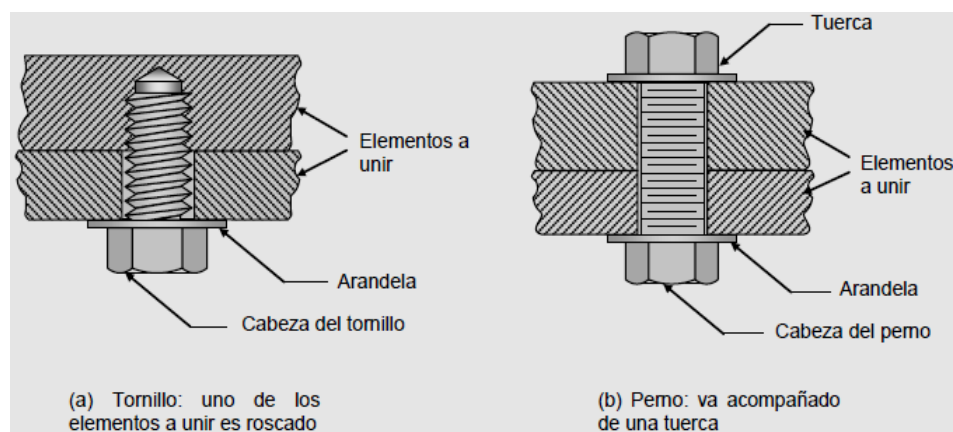


Figura 3. 26 Tornillos y pernos de unión

¹⁹² NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 890

3.15.2. Resistencia de los pernos

“El diseño de tornillos y pernos se basará en la resistencia límite a la tracción (*proof strength*), S_p , que es el máximo esfuerzo que puede soportar el tornillo sin experimentar deformación permanente, para la mayoría de los grados SAE la resistencia límite a la tracción es aproximadamente el 90% de la resistencia a la fluencia especificada al 0.2% de deformación permanente”¹⁹³.

Las resistencias y características del material de los tornillos se especifican de acuerdo con clases o grados, los cuales han sido definidos por la SAE, ASTM e ISO. Las equivalencias entre los grados se muestran en la siguiente tabla 3.2.

Grado SAE	Grado ASTM	Grado Métrico
J 429 Grado 1	A 307 Grado A	Grado 4.6
J 429 Grado 2	-	Grado 5.8
J 429 Grado 5	A 449	Grado 8.8
J 429 Grado 8	A 354 Grado BD	Grado 10.9

Tabla 3. 2 Equivalencia aproximada entre los grados

3.15.3. Tornillos para la brida y porta malla inferior

La figura 3.27; se muestra una brida roscada al cilindro, que sujeta al porta malla inferior del cabezal mediante tornillos, debido a la presión interna en el cilindro, se genera una fuerza que trata de separar las bridas del porta malla, la cual se reparte entre los tornillos; la fuerza que le corresponde a cada uno de ellos se denomina fuerza externa. Y para determinar si el dimensionamiento del tornillo es el correcto se calculará el factor de seguridad.

Haciendo uso de la norma AISI B15.6, para el diseño de bridas de alta presión; señala que debe tener 6 tornillos a su alrededor. Por lo tanto con este dato se calculará el diámetro del tornillo.

¹⁹³ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 891

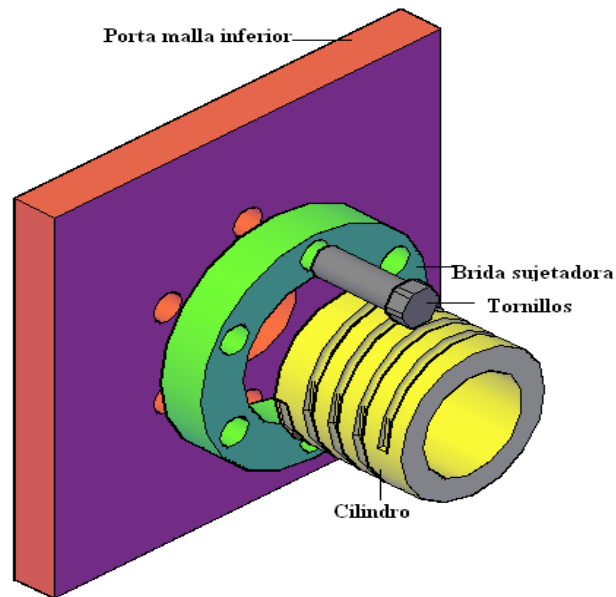


Figura 3. 27 Pernos para bridas y porta malla inferior

Se determinará el diámetro de prueba con la siguiente ecuación¹⁹⁴.

Para diámetro < ¾ plg

$$At = \left(\frac{6 * Fe}{Sy * \frac{1}{plg}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad Ec (130)$$

Dónde

At = Área de esfuerzo a tracción de prueba (plg)

Se elegirá un acero de alta resistencia SAE Grado 8, y sus propiedades son (Anexo F; Tabla F-6.2):

Sp = Resistencia de prueba (120Kpsi = 827. 92 N/mm²)

Sy = Limite de fluencia (130Kpsi=896.304 N/ mm²)

Sut = Resistencia máxima a tensión (150Kpsi)

Fet = Carga estática (94.26 KN)

¹⁹⁴ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 911

F_e = Fuerza externa (lbf)

$$F_e = \frac{F_{et}}{\#Tornillos} \quad E_c (131)$$

$$F_e = \frac{94.26 \text{ KN}}{6}$$

$$F_e = 15.71 \text{ KN} = 15710 \text{ N} * \frac{2.0246 \text{ lbf}}{9.81 \text{ N}}$$

$$F_e = 3124.249 \text{ lbf}$$

Remplazando valores en la ecuación 130 se tendrá:

$$A_t = \left(\frac{6 * 3242.249 \text{ lbf}}{130000 \text{ lbf}} * \frac{1}{p l g} \right)^{2/3}$$

$$A_t = 0.141 \text{ p l g}^2$$

$$A_t = 91.02 \text{ mm}^2$$

Con el valor del área de tracción teórica, se buscará un valor cercano a esta área (Anexo F; Tabla F-6.3)

De lo cual se elegirá un tornillo con las siguientes medidas:

D_{may} = Diámetro mayor (12 mm)

d_{men} = $d_{raíz}$ = Diámetro menor (9.85 mm)

A_t = Área de esfuerzo a tracción (84.27 mm²)

P = Paso (1.75 mm)

Para comprobar si el dimensionamiento del tornillo es el correcto, se hará analizando el factor de seguridad de separación que señala para este tipo de uniones (bridas) a

presión debe estar en un rango de $1.5 > n < 2^{195}$; para determinar este factor de seguridad se analizará los esfuerzo cortante y de torsión en el tornillo.

Esfuerzo cortante se lo expresará en la siguiente ecuación¹⁹⁶.

$$\sigma_x = \frac{Fe}{At} \quad Ec (132)$$

$$\sigma_x = \frac{15710 N}{84.27mm^2}$$

$$\sigma_x = 186.426 \frac{N}{mm^2}$$

El esfuerzo de torsión se determinará con la siguiente ecuación¹⁹⁷.

$$\tau_{xy} = \frac{16 * T'}{\pi(dmen)^3} \quad Ec (133)$$

Dónde

T' = Momento de torsión generado en la raíz de la rosca¹⁹⁸. (N/mm²)

$$T' = 0.5 T \quad Ec (134)$$

T = Par de torsión para producir una precarga¹⁹⁹. (N/mm²)

$$T = 0.2 * Fi * d \quad Ec (135)$$

¹⁹⁵ SHIGLEY. J E, *Diseño en ingeniería mecánica*, Cuarta edición, Editorial Mc Graw-Hill, México, 1985, P. 250

¹⁹⁶ SHIGLEY. J.E. Op. Cit. P. 258

¹⁹⁷ SHIGLEY. J.E. Op. Cit. P. 258

¹⁹⁸ SHIGLEY. J.E. Op. Cit. P. 147

¹⁹⁹ SHIGLEY. J.E. Op. Cit. P. 401

Los valores sugeridos para la precarga deben estar dentro del intervalo²⁰⁰.

$$0.6 Fp \leq Fi \leq 0.9 Fp$$

Fp = Carga de prueba (N)

$$Ft = At * Sp \quad Ec (136)$$

Fi = Fuerza de precarga (N)

$$Fi = 0.6 * At * Sp \quad Ec (137)$$

$$Fi = 0.6(84.27mm^2)(827.92 \frac{N}{mm^2})$$

$$Fi = 41861.29 N$$

Se reemplazarán los valores en la ecuación 135:

$$T = 0.2(41861.29 N)(12 mm)$$

$$T = 100467.098 N mm$$

Se reemplazarán los valores en la ecuación 134:

$$T' = 0.5T$$

$$T' = 0.5(100467.098 N mm)$$

$$T' = 50233.55 N mm$$

²⁰⁰ SHIGLEY. J.E. Op. Cit. P. 405

Para calcular el esfuerzo de torsión se reemplazarán los valores calculados en la ecuación 133:

$$\tau_{xy} = \frac{16 * (50233.55 Nmm)}{\pi * (9.85 mm)^3}$$

$$\tau_{xy} = 267.704 \frac{N}{mm^2}$$

Ya calculado los esfuerzos cortantes y de distorsión y con ayuda del círculo de Mohr figura 3.28, o se obtendrá los esfuerzos principales²⁰¹.

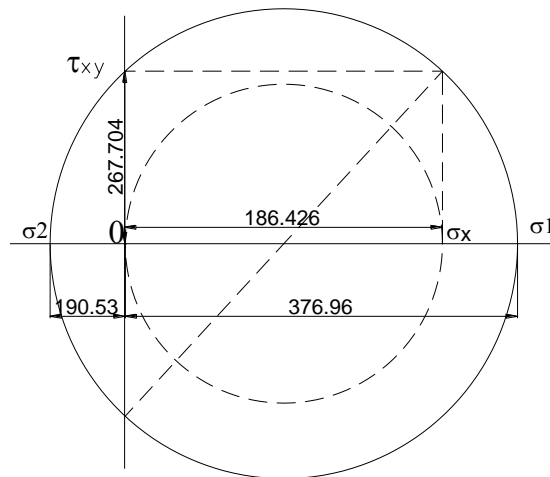


Figura 3. 28 Circulo de Mohr

Esfuerzos principales:

$$\sigma_1 = 376.96 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_2 = -190.53 \text{ N/mm}^2$$

²⁰¹ SHIGLEY. J.E. Op. Cit. P. 404

Aplicando la teoría de esfuerzo cortante máximo se obtiene²⁰²:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad Ec (138)$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{376.96 \frac{N}{mm^2} - (-190.53 \frac{N}{mm^2})}{2}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 283.745 \frac{N}{mm^2}$$

El factor de seguridad lo se determina con la siguiente ecuación²⁰³:

$$n = \frac{S_y}{2\tau_{m\acute{a}x}} \quad Ec (139)$$

$$n = \frac{896.304 \frac{N}{mm^2}}{567.49 \frac{N}{mm^2}}$$

$$n = 1.58$$

Es valor calculado está en los límites de diseño, así que los tornillos dimensionados garantizan su buen funcionamiento. La longitud de acoplamiento de rosca debe ser por lo menos el diámetro nominal del tornillo.

3.15.4. Pernos para porta malla frontal.

Con el porta malla inferior sujeto a la brida del cilindro, se diseñará los pernos que sujeten el porta malla frontal con la malla. Por cuestiones de diseño la malla será deslizante sobre las placas separadora que servirá a su vez de guía, para poder realizar el cambio manual y limpiar los filtros, como se muestra en la figura 3.29.

²⁰² SHIGLEY. J.E. Op. Cit. P. 247

²⁰³ SHIGLEY. J.E. Op. Cit. P. 13-247

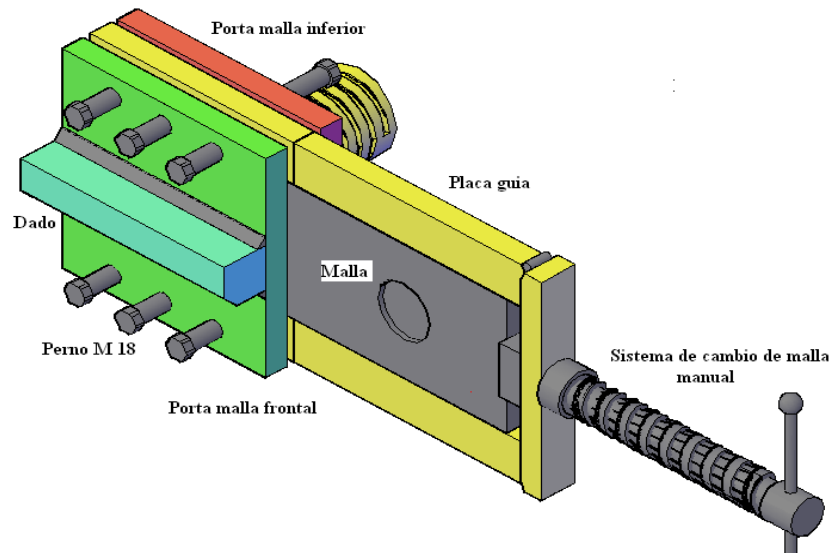


Figura 3. 29 Diagrama del cabezal

Con el análisis hecho en la sección anterior y tomando en consideración que se tiene la misma presión, se utilizará pernos en la misma cantidad de la brida y con el mismo diámetro M 12.

La dimensión del perno en cuando a su longitud se basará en determinar la zona roscada y de vástago, conociendo los espesores de las planchas del cabezal, se seleccionará un perno de 100 mm de longitud, y las demás dimensiones se determinarán con las siguientes ecuaciones²⁰⁴.

$$L_t = 100 \text{ mm}$$

$$L_{roscada} = 2(d) + 6.35 \quad \text{Ec (140)}$$

$$L_{roscada} = 2(12) + 6.35$$

$$L_{roscada} = 30.35 \text{ mm}$$

$$L_{vastago} = L_t - L_{roscada} \quad \text{Ec (141)}$$

$$L_{vastago} = 100 \text{ mm} - 30.35 \text{ mm}$$

$$L_{vastago} = 69.65 \text{ mm}$$

²⁰⁴ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 920

Se determinará la longitud mínima de la rosca con la ecuación²⁰⁵:

$$L_{\text{tuerca}} = 0.5 * d \quad \text{Ec (142)}$$

$$L_{\text{tuerca}} = 0.5 * (12 \text{ mm})$$

$$L_{\text{tuerca}} = 6 \text{ mm}$$

Junto a la tuerca se utilizará una arandela plana, que nos servirá para incrementar el área de contacto entre la cabeza del perno y la tuerca.

La arandela será de acero endurecido ya que la carga a tensión del perno sobre las placas necesita distribuirse sobre una mayor área.

Como se puede observar en la figura 3.30, la malla actúa como una placa deslizante sobre los porta mallas, y para guía utilizaremos dos placas que servirán de referencia a la malla, y serán del mismo material del cabezal AISI 4140.

Las placas separadoras y sus dimensiones se muestran en la figura 3.30.

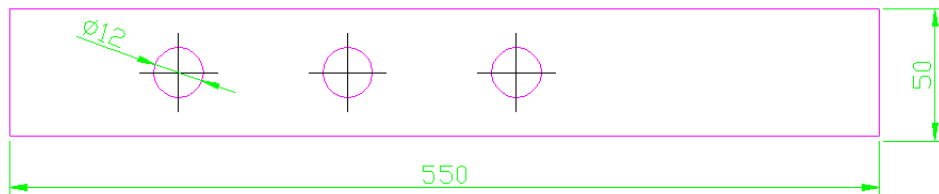


Figura 3. 30 Dimensiones de las placas separadoras

3.15.5. Pernos para la brida del eje motriz y la caja reductora

Estos pernos permiten soportar el torque de salida de la caja reductora al eje motriz del husillo.

²⁰⁵ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 907

El cálculo se basará en comprobar la validez de los 4 pernos M16 propios de la brida de la caja, que deben soportar el esfuerzo cortante que se genera por el torque, esto se lo hará determinado un factor de seguridad, que debe ser $> 2^{206}$ para diseño con esfuerzos cortantes²⁰⁷.

También se podrá calcular la longitud de roscado y vástago del perno. Para lo cual se tendrá que tomar como dato importante, la fuerza tangencial aplicada en los pernos, la distancia donde se genera la fuerza se muestra en la figura 3.31.

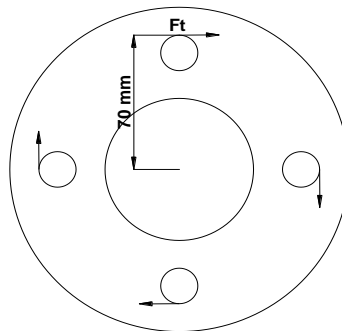


Figura 3. 31 Distancia de la fuerza tangencial

Conociendo la distancia donde se encuentran las fuerzas se determinará la misma con la siguiente ecuación.

$$T = Ft * d \quad Ec (143)$$

Dónde

T = Torque (2282.61 N m)

Ft = Fuerza tangencial KN

d = Distancia donde se provoca la fuerza tangencial (0.070 m)

Despejando Ft se tendrá:

$$Ft = \frac{T}{d} \quad Ec (144)$$

²⁰⁶ SHIGLEY. J.E. Op. Cit. P. 390

²⁰⁷ SHIGLEY. J.E. Op. Cit. P. 404

$$Ft = \frac{2282.61 \text{ N m}}{0.070 \text{ m}}$$

$$Ft = 32608.714 \text{ N}$$

Esta fuerza se distribuye entre los cuatro pernos en la brida, por lo tanto cada perno soporta una fuerza de:

$$Ft_{individual} = \frac{Ft}{\# \text{ de perforaciones}} \quad Ec (145)$$

$$Ft_{individual} = \frac{32608.714 \text{ N}}{4}$$

$$Ft_{individual} = 8152.179 \text{ N}$$

$$Ft_{individual} = 8152.179 \text{ N} * \frac{2.0245 \text{ lbf}}{9.81 \text{ N}} = 1682.456 \text{ lbf}$$

El material empleado para la construcción de estos pernos es un eje de acero de transmisión AISI 1020 (Anexo F; Tabla F-4.4) y sus propiedades son;

$$Sy = 205 \text{ MPa}$$

$$Sut = 380 \text{ MPa}$$

El diámetro de la sección dónde se aplica la fuerza tangencial es de 16 mm.

La tensión cortante media en cada perno se determinará con la siguiente ecuación²⁰⁸.

$$\tau = \frac{Ft_{individual}}{Ar} \quad Ec (146)$$

Dónde

$$\tau = \text{Tensión cortante media (N/mm}^2\text{)}$$

²⁰⁸ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 907

$A_r = \text{Área de la raíz (144 mm}^2\text{, Anexo C; Tabla C-6.4)}$

$$\tau = \frac{8152.179 \text{ N}}{144 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 56.612 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Utilizando la teoría de esfuerzo cortante puro se tendrá²⁰⁹.

$$S_{ys} = 0.577 S_y \quad \text{Ec (147)}$$

Dónde

$S_{ys} = \text{Limite de fluencia elástico al corte (N/mm}^2\text{)}$

$S_y = \text{Limite de fluencia (205 N/mm}^2\text{)}$

$$S_{ys} = 0.577(205 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2})$$

$$S_{ys} = 118.285 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Con el mismo concepto de la teoría de distorsión para esfuerzo cortante, se calculará el factor de seguridad²¹⁰.

$$N = \frac{S_{ys}}{\tau} \quad \text{Ec (148)}$$

$$N = \frac{118.285 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{56.612 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$N = 2.089$$

²⁰⁹ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 295

²¹⁰ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 294

Este factor seguridad para diseño con esfuerzos cortantes cumple con lo expuesto anteriormente. Por lo tanto el valor calculado está dentro de éste parámetro.

La dimensión del perno en cuando a su longitud se basará en determinar la zona rosca y de vástago, conociendo que el espesor de la brida es de 20 mm c/u, por lo tanto se utilizará un perno de 60 mm de largo, las demás longitudes se calculará con las siguientes ecuaciones²¹¹.

$$L_t = 60 \text{ mm}$$

$$L_{\text{roscada}} = 2(d) + 6.35 \quad \text{Ec (149)}$$

$$L_{\text{roscada}} = 2(16) + 6.35$$

$$L_{\text{roscada}} = 38.35 \text{ mm}$$

$$L_{\text{vástago}} = L_t - L_{\text{roscada}} \quad \text{Ec (150)}$$

$$L_{\text{vástago}} = 60 \text{ mm} - 38.35 \text{ mm}$$

$$L_{\text{vástago}} = 31.65 \text{ mm}$$

Se determinará la longitud mínima de la rosca con la ecuación²¹²:

$$L_{\text{tuerca}} = 0.5 * d \quad \text{Ec (151)}$$

$$L_{\text{tuerca}} = 0.5 * (16 \text{ mm})$$

$$L_{\text{tuerca}} = 8 \text{ mm}$$

Junto a la tuerca se utilizará una arandela plana, que nos servirá para incrementar el área de contacto entre la cabeza del perno y la tuerca.

²¹¹ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 920

²¹² NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 907

3.15.6. Tornillo de potencia

Este tipo de tornillo transforma el movimiento radial en movimiento lineal, y se requiere el menor par torsional para mover determinada carga a lo largo del tornillo. Como parte del cabezal permite cambiar la posición la malla, el cálculo se basará en determinar el diámetro del tornillo, el número de filetes por pulgada, paso, y el ángulo de inclinación de los filetes el tornillo se muestra en la figura 3.32.

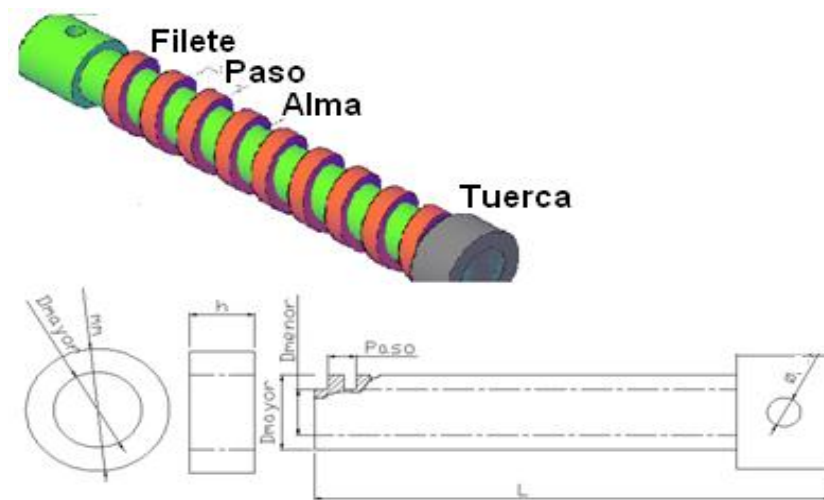


Figura 3. 32 Dimensiones del tornillo de potencia

Se calculará las dimensiones para el sistema de cambio de malla, la longitud del tornillo será de 380 mm, y las demás dimensiones se determinarán con las siguientes ecuaciones²¹³.

$$At = \frac{F}{\sigma_d} \quad Ec (152)$$

Dónde

At = Área requerida para esfuerzo de tensión

F = Fuerza (94.26 KN)

σ_d = Esfuerzo de fluencia del acero AISI 1020 (205 MPa; Anexo F; Tabla F-4.4)

²¹³ MOTT, Robert, Op. Cit. P 699

$$At = \frac{94260 N}{205 \times 10^6 \frac{N}{mm^2}}$$

$$At = 9.03 \times 10^3 mm^2$$

$$At = 1.41 plg^2$$

Con este valor calculado se podrá elegir el tornillo con todas sus dimensiones (Anexo F; Tabla F-6.5). El diámetro determinado por las tablas 19.05 mm, para lo cual se tendrá que aplicar un factor de seguridad por la °T de la máquina y esté será 2.

$$d = 19.05 mm \times 2$$

$$d = 38.1 mm$$

$$d = 38 mm$$

Para conocer la longitud de la tuerca por dónde se desliza el tornillo se lo realizará con la siguiente ecuación²¹⁴.

$$h = At \left(\frac{L}{Aes} \right) \quad Ec (153)$$

Dónde

h = Longitud de la tuerca

L = Longitud de dientes en 1 plg

Aes = Área de esfuerzo no cortante $(2.341 plg^2)^{215}$

$$h = 1.41 plg^2 \left(\frac{1 plg}{2.341 plg^2} \right)$$

$$h = 0.60 plg \approx 16 mm$$

²¹⁴ MOTT, Robert, Op. Cit. P 671

²¹⁵ MOTT, Robert, Op. Cit. P 699

El ángulo de inclinación de los filetes del tornillo se los determinará con la siguiente ecuación²¹⁶.

$$\gamma = \tan^{-1}\left(\frac{L}{\pi * Dp}\right) \quad Ec (154)$$

Dónde

γ = Ángulo de inclinación de los filetes

$L = p = 1/n =$ Paso (0.25plg; Anexo F; Tabla F-6.5)

$Dp =$ Diámetro mínimo de paso (1.375 plg; Anexo F; Tabla F-6.5)

$$\gamma = \tan^{-1}\left(\frac{0.250 \text{ plg}}{\pi * 1.375 \text{ plg}}\right)$$

$$\gamma = 3.32^\circ$$

3.16. Cálculo de uniones soldadas

“Naturalmente, la soldadura no es un elemento de máquina, sino un proceso de fabricación que nos recuerda que un proyecto tiene muchas facetas además del análisis de esfuerzos”²¹⁷.

En efecto en el análisis de esfuerzos y en el dimensionamiento de detalles de la máquina se invertirá probablemente sólo una parte pequeña del tiempo total empleado en el proyecto.

3.16.1. Soldadura eléctrica

El sistema de soldadura eléctrica con electrodo recubierto se caracteriza, por la creación y mantenimiento de un arco eléctrico entre una varilla metálica llamada electrodo, y la pieza a soldar, como se muestra en la figura 3.33.

²¹⁶ MOTT, Robert, Op. Cit. P 672

²¹⁷ FAIRES, V.M, Op. Cit. P. 659

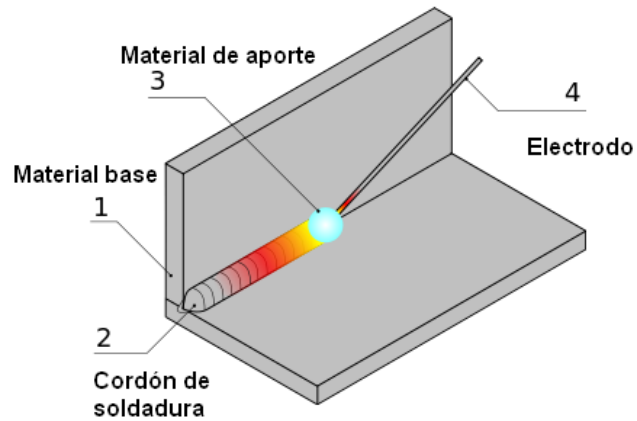


Figura 3. 33 Esquema de soldadura eléctrica

Para realizar una soldadura por arco eléctrico se induce una diferencia de potencial entre el electrodo y la pieza a soldar, con lo cual se ioniza el aire entre ellos y pasa a ser conductor, de modo que se cierra el circuito.

El calor del arco funde parcialmente el material de base y funde el material de aporte, el cual se deposita y crea el cordón de soldadura.

3.16.2. Electrodo revestido

El electrodo se encuentra protegido mediante un revestimiento compuesto de varias sustancias distintas según las características que se desee dar al material de la soldadura. Al producirse el arco, el revestimiento del electrodo se funde originando gases que protegen al metal de aporte del oxígeno y el nitrógeno del aire.

3.16.3. Clasificación de los electrodos

Para las uniones soldadas de la máquina se utilizará dos clases de electrodo revestido, estos son: E6011 y 7018, por el tipo de carga y material.

La nomenclatura de esta simbología se representa (Anexo F; Tabla F-7.4).

3.16.3.1. Electrodo 6011

El electrodo 6011 posee un revestimiento de tipo celulósico diseñado para ser usado con corriente alterna, pero también se puede usar con corriente continua, electrodo positivo.

La rápida solidificación del metal depositado facilita la soldadura en posición vertical y sobre cabeza.

El arco puede ser dirigido fácilmente en cualquier posición, permitiendo altas velocidades de deposición (soldadura).

Se emplea para soldar placas, perfiles y piezas de acero dulce, cuando se requiere soldaduras en puentes y estructuras. Sus propiedades se encuentran (Anexo F; Tabla F-7.5)

3.16.3.2. Electrodo 7018

Electrodo bajo hidrogeno con polvo de hierro en el revestimiento para soldar en todas las posiciones.

Tiene altas propiedades mecánicas a temperatura bajo cero, es recomendable para depósitos en las cuales se desee minimizar el riesgo de fractura y tener la menor cantidad posible de poro, debido a las características de su recubrimiento; para soldadura de acero con alto contenido de azufre.

Se emplea en el sector metal-mecánico, es ampliamente empleado en la construcción de grúas, contenedores, vagones de ferrocarril, secciones gruesas y pesadas con un amplio factor de seguridad. Sus propiedades se encuentran (Anexo F; Tabla F-7.5)

3.16.4. Uniones soldadas de elementos de la máquina

Para la sujeción del cilindro se utilizará una luneta (apoyo1) que estará soldada a la base, la funda del eje motriz también deberá estar unida mediante suelda, no es el caso del apoyo 2, ya que para poder realizar el mantenimiento del cilindro o el husillo se necesitará, que se desacople por lo tanto se empleará tornillos como se muestra e la figura 3.34.

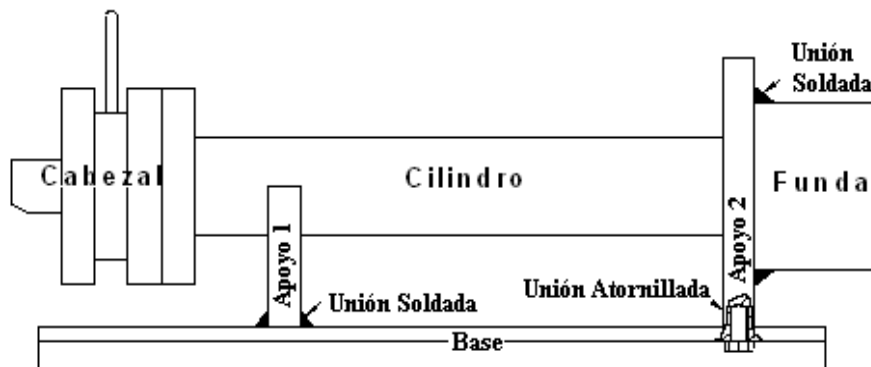


Figura 3. 34 Vista frontal de la peletizadora

Para el cálculo de las reacciones de los apoyos, se deberá determinar el peso de los elementos que va a soportar.

3.16.4.1. Peso del cabezal (W_c)

El diámetro de las placas que conforman el cabezal se determinó en la sección 3.8.3.1 y es de 245 mm con un espesor de 25 mm.

Para el cálculo de peso del cabezal se determinará el volumen de los elementos y multiplicamos por la densidad de material AISI 4140 (Anexo F; Tabla F-3.1)

3.16.4.1.1. Masa porta malla inferior

Por el diseño que realizamos se conoce que la placa inferior es igual a la placa frontal por lo tanto se determinará el peso, calculando primeramente el volumen de la placa para posteriormente multiplicar por la densidad del material.

$m_{\text{malla inferior}}$ = Masa del porta malla inferior

$$V_{\text{malla inf}} = b * h * e \quad \text{Ec (155)}$$

Dónde

$$b = 0.245\text{m}$$

$$h = 0.245\text{m}$$

$$e = 0.0254 \text{ m}$$

δ = Densidad del material (7850 kg/m³, Anexo F; Tabla F-3.1)

$$V_{\text{malla inf}} = 0.245 \text{ m} * 0.245 \text{ m} * 0.0254 \text{ m}$$

$$V_{\text{malla inf}} = 1.525 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m_{\text{malla inferior}} = \delta * V_{\text{malla inf}} \quad \text{Ec (156)}$$

$$m_{\text{malla inferior}} = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1.525 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m_{\text{malla inferior}} = 11.968 \text{ kg}$$

3.16.4.1.2. Masa porta malla frontal

$m_{\text{malla frontal}}$ = Masa del porta malla frontal

$$m_{\text{malla fron}} = 11.968 \text{ kg}$$

3.16.4.1.3. Masa de la malla

m_{malla} = Masa de las mallas

$$V_{\text{malla}} = b * h * e \quad \text{Ec (157)}$$

Dónde

$$b = 0.245 \text{ m}$$

$$h = 0.50 \text{ m}$$

$$e = 0.0254 \text{ m}$$

$$V_{\text{malla}} = 0.245 \text{ m} * 0.5 \text{ m} * 0.0254 \text{ m}$$

$$V_{\text{malla}} = 3.112 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m_{\text{malla}} = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 3.112 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m_{\text{malla}} = 24.425 \text{ kg}$$

3.16.4.1.4. Masa del dado

m_{dado} = Masa del dado

Para la masa del dado se tomará como referencia de máquinas similares:

$$m_{\text{dado}} = 1.5 \text{ kg}$$

Para obtener el valor del peso del cabezal se suman los elementos calculados:

$$m_{\text{cabezal}} = m_{\text{malla inferior}} + m_{\text{malla frontal}} + m_{\text{malla}} + m_{\text{dado}}$$

$$m_{\text{cabezal}} = 11.968 \text{ kg} + 11.968 \text{ kg} + 24.425 \text{ kg} + 1.5 \text{ kg}$$

$$m_{\text{cabezal}} = 49.861 \text{ kg}$$

Por lo tanto el peso será:

$$Wc = 49.861 \text{ kg} * \frac{9.81N}{1kg}$$

$$Wc = 489.136 \text{ N}$$

3.16.4.2. Peso del cilindro y husillo (Wch)

Para determinar el peso del husillo y cilindro se tomará como datos las masas de los elementos analizados.

$$Wch = mc + mh \tag{Ec (158)}$$

Dónde

mc = Masa del cilindro (33.497 kg; sección 3.6.1)

mh = Masa del husillo (23.46 kg; sección 3.5)

$$Wch = 33.497 \text{ kg} + 23.46 \text{ kg}$$

$$Wch = 56.957 \text{ kg} * \frac{9.81N}{1kg}$$

$$Wch = 558.748 \text{ N}$$

3.16.4.3. Peso de la funda (Wf)

Para el cálculo de peso de la funda se considerará como referencia el diámetro mayor de la pista de los rodamientos seleccionados 160 mm, que será a su vez el diámetro menor de la funda como se muestra en la figura 3.35, se tomará en consideración que es solo un elemento dónde ingresa el eje motriz su esfuerzo se puede despreciar, por lo tanto seleccionamos el acero AISI 4140 “Barra perforada“(Anexo F; Tabla F-3.1)

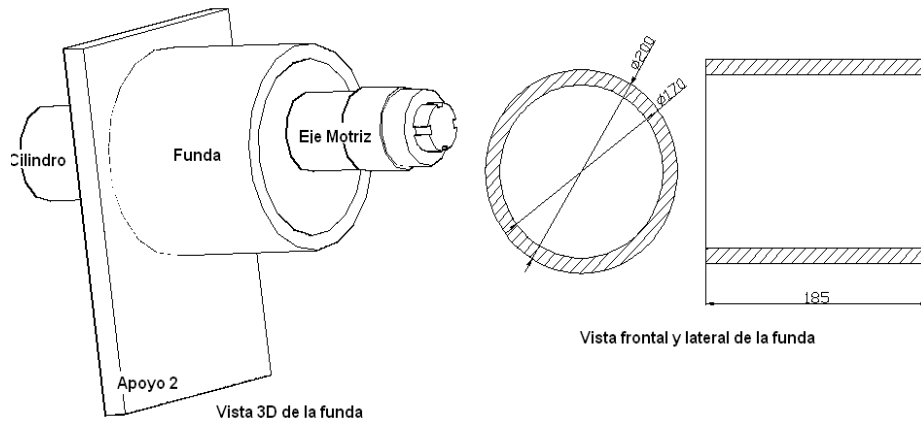


Figura 3. 35 Vistas de la funda

Para el cálculo del peso, se determinará el volumen para luego multiplicar por su densidad.

$$V_f = \pi * L * (R^2 - r^2) \quad E_c (159)$$

Dónde

L = Longitud de la funda (0.185 m; la misma longitud del eje motriz)

R^2 = Radio exterior de la funda (0.10 m)

r^2 = Radio interior de la funda (0.085 m)

$$V_f = \pi * 0.185 * (0.10^2 - 0.080^2)$$

$$V_f = 2.092 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

La masa se determinará con la ecuación.

$$W_f = \delta * V_f \quad E_c (160)$$

$$m_f = 7870 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1.623 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m_f = 16.466 \text{ kg}$$

$$W_f = 12.661 \text{ kg} * \frac{9.81 \text{ N}}{1 \text{ kg}}$$

$$W_f = 161.535 \text{ N}$$

Para encontrar las reacciones R1 y R2; se utilizará el diagrama de cuerpo libre figura 3.36.

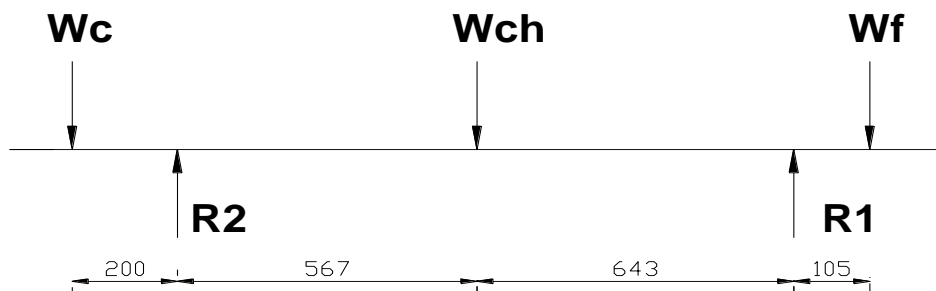


Figura 3. 36 Diagrama de cuerpo libre

$$\Sigma F_v \uparrow += 0$$

$$R_1 + R_2 - W_c - W_{ch} - W_f = 0$$

$$R_1 + R_2 = 489.136 + 558.748 + 161.535$$

$$R_1 + R_2 = 1209.419 \text{ N}$$

$$\Sigma M_{R_2} \curvearrowright += 0$$

$$(489.136 * 200) - (558.748 * 567) + (R_1 * 1210) - (161.535 * 1315) = 0$$

$$(R_1 * 1210) = -(97827.2) + (316810.116) + (212418.525)$$

$$R_1 = 356.530 \text{ N}$$

$$R_2 = 958.236 \text{ N} - R_1$$

$$R2 = 1209.419 N - 351.327 N$$

$$R2 = 852.889 N$$

Habiéndose ya determinado las reacciones, se podrá realizar el cálculo de las uniones soldadas, que consistirá en calcular los esfuerzos de la suelda, y el factor de seguridad.

3.16.4.4. Cálculo de la unión soldada –apoyo 1 a la base

Para realizar el cordón se empleará un electrodo revestido de tungsteno E6011, el material será acero de transmisión en plancha AISI 1045 (Anexo F; Tabla F-3.1);

El apoyo tendrá la forma de una luneta como se muestra en la figura 3.37, la unión será ranurada en T, biselada en ambos lados.

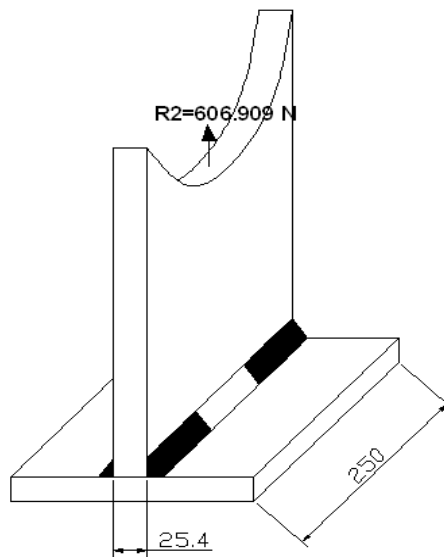


Figura 3. 37 Apoyo 1 en forma de luneta

Para calcular el esfuerzo cortante, se tendrá que determinar primero la fuerza permisible, para verificar si el metal de aporte es satisfactorio para la fuerza.

Y se determinará con la siguiente ecuación²¹⁸.

$$F_{per} = F * L \quad Ec (161)$$

Dónde

F_{per} = Fuerza permisible

F = Fuerza unitaria permisible (4.77 Kip/plg, Anexo F; Tabla F-7.1)

L = Longitud unitaria del cordón de soldadura (250 mm=9.843 plg)

$$F_{per} = 4.77 \frac{Kip}{plg} * (9.843 plg) = 46.949 Kip$$

$$F_{per} = 46.949 Kip * \frac{4.45KN}{1 Kip}$$

$$F_{per} = 208.922 KN$$

$$F_{per} > F_{estatica} \quad Ec (162)$$

$$F_{estatica} = R2 = 852.889 N = 0.852KN$$

$$208.922 KN > 0.852 KN$$

Por lo tanto la resistencia del metal de aporte es satisfactoria

Se comprobará el esfuerzo cortante permisible, con el esfuerzo cortante del material base de la soldadura.

$$\tau_{per} = 0.4S_y \quad Ec (163)$$

Dónde

S_y = Limite de fluencia de la placa AISI 1045 (310 MPa, Anexo F; Tabla F-4.1)

²¹⁸ SHIGLEY. J.E. Op. Cit. P. 474

$$\tau_{per} = 0.4(310MPa)$$

$$\tau_{per} = 124 MPa$$

El esfuerzo cortante en el metal base de la soldadura será²¹⁹:

$$\tau = \frac{F}{2hL} \quad Ec (164)$$

Dónde

τ = Esfuerzo cortante

F = Fuerza estática (852.889 KN)

h = Altura del cordón de soldadura (9.5 mm²²⁰)

$$\tau = \frac{852.889KN}{2 * 9.5 mm * 250 mm}$$

$$\tau = 0.179 MPa$$

$$\tau_{Per} > \tau$$

$$124 MPa > 0.179 MPa$$

La unión resulta satisfactoria cerca de los cordones de soldadura.

El esfuerzo de tensión permisible en la unión del cuerpo será²²¹: (Anexo F; Tabla F-4.1)

$$\sigma_{Per} = 0.6 Sy \quad Ec (165)$$

$$\sigma_{Per} = 0.6 (310 MPa)$$

$$\sigma_{Per} = 186 MP$$

²¹⁹ SHIGLEY. J.E, Op. Cit. P. 474

²²⁰ FAIRES, V.M, Op. Cit. P. 676

²²¹ SHIGLEY. J.E, Op. Cit. P. 474

El esfuerzo de tensión en el cuerpo de la unión²²²:

$$\sigma = \frac{F}{t * L} \quad Ec (166)$$

Dónde

σ = Esfuerzo de tensión

t = Espesor de la placa sección transversal (25.4 mm)

$$\sigma = \frac{852.889 \text{ KN}}{25.4 \text{ mm} * 250 \text{ mm}}$$

$$\sigma = 0.134 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Per} > \sigma$$

$$186 \text{ MPa} > 0.134 \text{ MPa}$$

Se podrá concluir que el esfuerzo de tensión en el cuerpo del metal es satisfactorio por la relación mostrada. Para calcular el factor de seguridad se utilizará la teoría de la energía de distorsión²²³.

$$N = \frac{Ssy}{2\tau_{m\acute{a}x}} \quad Ec (167)$$

Dónde

N = Factor de seguridad

Sy = Resistencia de fluencia del electrodo E6011 (345 MPa, Anexo F; Tabla F-7.3)

$$Ssy = 0.4 * 345 \text{ MPa}$$

$$Ssy = 138 \text{ MPa}$$

²²² SHIGLEY. J.E, Op. Cit. P. 474

²²³ SHIGLEY. J.E. Op. Cit. P. 13-247

$\tau_{m\acute{a}x}$ = Esfuerzo cortante mximo²²⁴:

$$\tau_{m\acute{a}x} = 1.118 \frac{F}{hL} \quad Ec (168)$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 1.118 \frac{852.889 \text{ KN}}{9.5 \text{ mm} * 250 \text{ mm}}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 0.401 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad será:

$$N = \frac{138 \text{ MPa}}{2 * 0.401 \text{ MPa}}$$

$$N = 172$$

Se podrá concluir que el factor de seguridad es correcto según (Anexo F; Tabla F-7.3)

3.16.4.5. Cculo de la unión soldada- funda

La funda es el elemento dónde ingresa el eje motriz con los componentes ya analizados, la funda deberá ir soldada al apoyo², para lo cual se utilizará un electrodo revestido de tungsteno E6011.

El peso en la funda se representa como carga distribuida como se muestra en la figura 3.38.

²²⁴ SHIGLEY. J.E, Op. Cit. P. 441

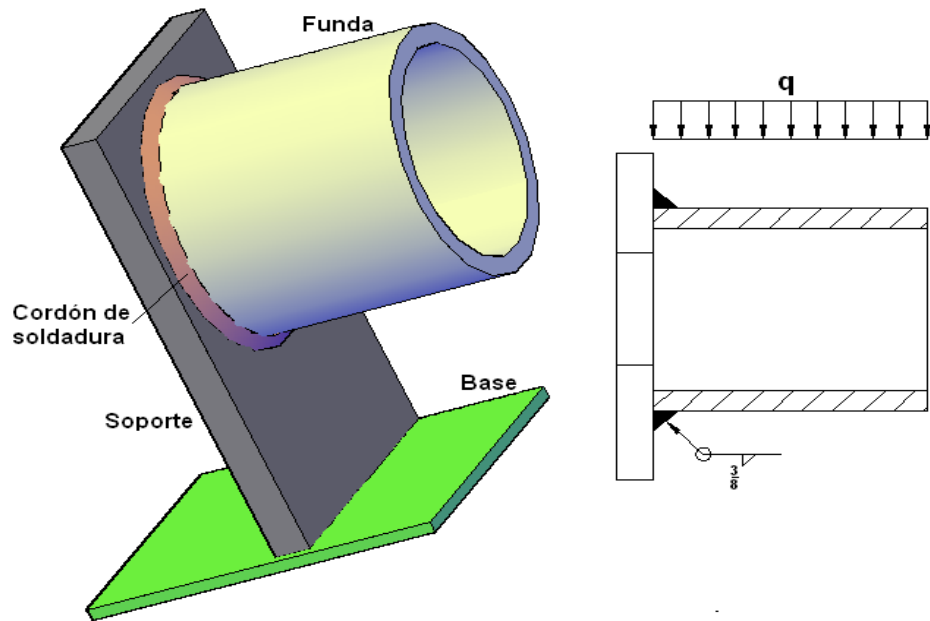


Figura 3. 38 Carga distribuida y corte transversal de la funda

Al tener la carga distribuida en la funda se producen esfuerzos cortantes primarios y secundarios en la base de la suelda.

Ya calculados estos esfuerzos se comprobará si resiste a estos esfuerzos determinando un factor de seguridad.

3.16.4.5.1. Cortante primario (τ')²²⁵.

$$\tau' = \frac{F}{A} \tag{Ec (169)}$$

Dónde

F = Fuerza estática de la funda (161.535 N; sección 3.18.4.3)

A = Área de cordón de soldadura²²⁶

$$A = 1.414 * \pi * h * r \tag{Ec (170)}$$

²²⁵ SHIGLEY. J.E, Op. Cit. P. 477

²²⁶ SHIGLEY. J.E, Op. Cit. P. 471

Dónde

h = Altura del cordón de soldadura (9.5 mm)

r = Radio exterior de la funda (100 mm)

$$A = 1.414 * \pi * 9.5 \text{ mm} * 100 \text{ mm}$$

$$A = 4220.101 \text{ mm}^2$$

Se reemplazará el valor en la ecuación 161.

$$\tau' = \frac{161.535 \text{ N}}{4220.101 \text{ mm}^2}$$

$$\tau' = 0.038 \text{ MPa}$$

3.16.4.5.2. Cortante secundario (τ'')²²⁷.

$$\tau'' = \frac{M_{\text{máx}}}{I} \quad \text{Ec (171)}$$

Dónde

$M_{\text{máx}}$ = Momento máximo²²⁸

W = Carga distribuida

$$W = \frac{F}{L} = \frac{161.535 \text{ N}}{185 \text{ mm}} = 0.873 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$M_{\text{máx}} = \frac{W * L^2}{2} \quad \text{Ec (172)}$$

²²⁷ SHIGLEY. J.E, Op. Cit. P. 477

²²⁸ MANUAL AISC. American Standard Channels. P. 2-302

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{0.873 \frac{N}{mm} * (185 mm)^2}{2}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 14941.988 N * mm$$

I = Momento de inercia en la garganta de la suelda²²⁹

$$I = \pi * r^3 \tag{Ec (173)}$$

$$I = \pi * (100mm)^3$$

$$I = 3141592.654 mm^3$$

Se sustituirán los valores en la ecuación 171.

$$\tau'' = \frac{14941.988 N * mm}{3141592.654 mm^3}$$

$$\tau'' = 4.756 x 10^{-3} MPa$$

La magnitud del esfuerzo cortante máximo ($\tau_{m\acute{a}x}$) es la ecuación de Pitágoras²³⁰.

$$\tau_{m\acute{a}x} = (\tau'^2 + \tau''^2)^{1/2} \tag{Ec (174)}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = ((0.038 MPa)^2 + (4.756 x 10^{-3} MPa)^2)^{1/2}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 0.38 MPa$$

Para calcular el factor de seguridad se aplicará el mismo concepto de energía de distorsión.

$$N = \frac{Ssy}{2\tau_{m\acute{a}x}} \tag{Ec (175)}$$

²²⁹ SHIGLEY. J.E, Op. Cit. P. 471

²³⁰ SHIGLEY. J.E, Op. Cit. P. 477

$$N = \frac{138 \text{ MPa}}{2 * 0.38 \text{ MPa}}$$

$$N = 182$$

Los esfuerzos cortantes aplicados en este cordón de soldadura son satisfactorios.

3.16.4.6. Cálculo de la unión atornillada del apoyo 2

Como se menciona al inicio de la sección, este apoyo deberá ir atornillada a la base, por cuestiones de mantenimiento del cilindro y el husillo, permitiendo que sea fácil el desmontar estos elementos como se muestra en la figura 3.39.

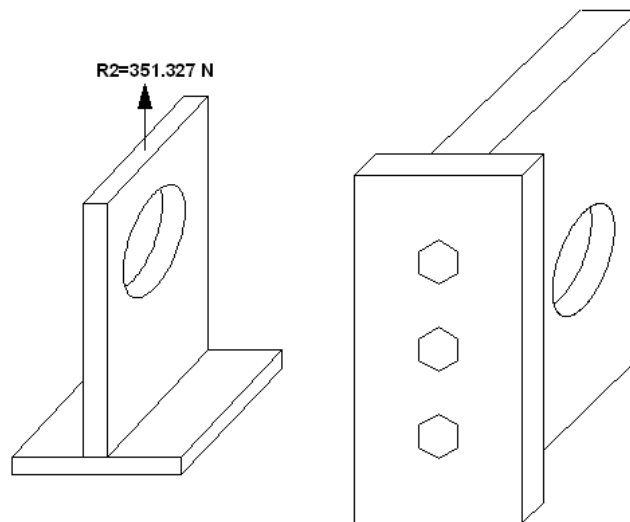


Figura 3. 39 Apoyo 2 Atornillada

El diseño de estos tornillos será M18, con una longitud de 60 mm, por lo tanto se hará uso de los datos calculados en la sección 3.15.3.

Para determinar si el diseño es correcto se determinará el factor de seguridad de separación que debe ser > 2 .

Y se lo realizará con la siguiente ecuación²³¹.

$$n = \frac{Fi}{P(1 - C)} \quad Ec (176)$$

Dónde

n = Factor de seguridad

Fi = Fuerza de precarga (150717.55 N; sección 3.15.3)

$P = R1 = 356.530$ N

C = Constante de rigidez²³²

$$C = \frac{kb}{kb + km} \quad Ec (177)$$

Dónde

kb = Constante de rigidez²³³

$$kb = \frac{Ad * At * E}{Ad * L_T + At * L_T} \quad Ec (178)$$

Dónde

Ad = Área transversal del diámetro mayor tornillo

$$Ad = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$Ad = \frac{\pi * (18 \text{ mm})^2}{4}$$

$$Ad = 254.469 \text{ mm}^2$$

²³¹ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 920

²³² NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 919

²³³ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 917

A_t = Área transversal de esfuerzos de tensión (M18= 192.47 mm²; Anexo F; Tabla F-6.3)

L_T = Longitud de posición de rosca de agarre (60 mm)

E = Módulo de elasticidad (206.8 GPa, Anexo F; Tabla F-4.1)

$$kb = \frac{254.469 \text{ mm}^2 * 192.47 \text{ mm}^2 * 206800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{254.469 \text{ mm}^2 * 60 \text{ mm} + 192.47 \text{ mm}^2 * 60}$$

$$kb = 377701.718 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

km = Constante de resorte²³⁴

$$km = \frac{0.577 * \pi * E * d}{2 \ln 5 * \left(\frac{0.577 * L_T + 0.5 * d}{0.577 * L_T + 2.5 * d} \right)} \quad Ec (179)$$

$$km = \frac{0.577 * \pi * 206800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 18 \text{ mm}}{2 \ln 5 * \left(\frac{0.577 * 60 \text{ mm} + 0.5 * 18 \text{ mm}}{0.577 * 60 \text{ mm} + 2.5 * 18 \text{ mm}} \right)}$$

$$km = 1217954.716 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Se reemplazarán los valores en la ecuación 177.

$$C = \frac{377701.718 \frac{\text{N}}{\text{mm}}}{377701.718 \frac{\text{N}}{\text{mm}} + 1217954.716 \frac{\text{N}}{\text{mm}}}$$

$$C = 0.237$$

²³⁴ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 917

Para determinar el factor de seguridad se sustituirán los valores en la ecuación 176.

$$n = \frac{150717.55 N}{356.530 N(1 - 0.237)}$$

$$n = 246$$

Se podrá concluir que la unión será segura y trabajará correctamente.

Nota: Para unión del dado de la peletizadora utilizaremos un electrodo 7018, por las características expuestas (Anexo F; Tabla F-7.5), ya que va soportar la temperatura con la que sale el polietileno del cabezal.

3.17. Diseño tolva de alimentación

El diseño de la tolva consistirá en dar a conocer sus medidas, material de construcción ya que como se mencionó en la sección 2.4.4.3, la tova será de forma rectangular. Estará unida mediante soldadura para esto se utilizará, el electrodo 6011, por el tipo de acabado y el material será tool negro. Ver figura 3.40

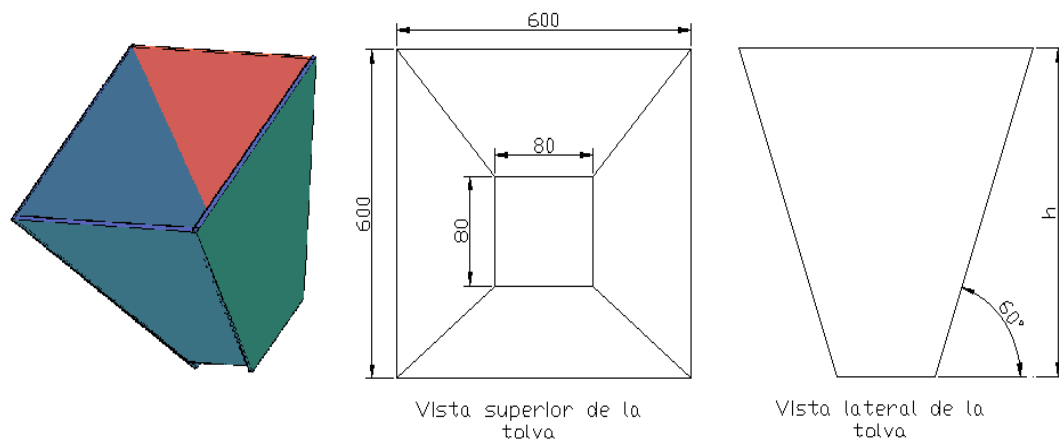


Figura 3. 40 Tolva de alimentación

Las medidas por criterio de los autores son diámetro exterior 600 mm y el diámetro interior 80 mm, ya que se asemeja a la medida de la garganta calculada en la sección 3.7.

La altura de la tolva se determinará con la siguiente ecuación²³⁵:

$$h = \left(\frac{d_{ext} - d_{int}}{2} \right) * \tan \alpha \quad Ec (180)$$

Dónde

h = Altura de la tolva (mm)

d_{ext} = Diámetro exterior (600 mm)

d_{int} = Diámetro interior (80 mm)

α = Ángulo de inclinación (60°)

$$h = \left(\frac{600 - 80mm}{2} \right) * \tan 60$$

$$h = 450 \text{ mm}$$

Para la construcción se empleará tool negro (K 700), y el esfuerzo admisible de éste material se determinará con la ecuación²³⁶:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{n} \quad Ec (181)$$

Dónde

σ_{adm} = Esfuerzo admisible

S_y = Limite de fluencia K 700 (350 N/ mm²)

n = Factor de seguridad (8²³⁷)

²³⁵ RAVANET. J, *Silos*, Editores Técnicos Asociados, Barcelona 1977, P. 9

²³⁶ SHIGLEY, J. Op. Cit. P. 126

²³⁷ MOTT, Robert, Op. Cit. P. 186

$$\sigma_{adm} = \frac{350 \frac{N}{mm^2}}{8}$$

$$\sigma_{adm} = 43.75 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{adm} = 4.375 \times 10^4 \frac{N}{mm^2}$$

Para el cálculo de presión que ejerce sobre la tolva se realizará con la ecuación²³⁸:

$$P_{tolva} = \frac{W_{LDPE}}{A_{tolva}} \quad Ec (182)$$

Dónde

P_{tolva} = Presión ejercida en la tolva

W_{LDPE} = Peso total del LDPE (25 kg)

A_{tolva} = Área de la tolva

Para el cálculo del área de la tolva se deberá realizar en base a la figura 3.41 y se deberá multiplicar por los 4 lados de la misma para poder obtener un dato real.

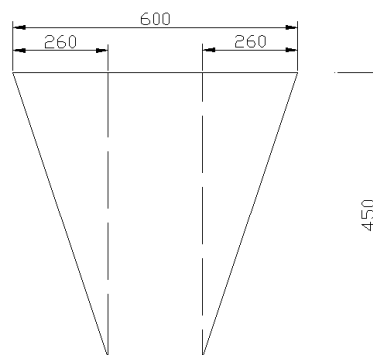


Figura 3. 41 Sección lateral de la tolva

²³⁸ RAVANET. J. Op. Cit. P. 15

Sección rectangular de la tolva se determinará con la ecuación.

$$A_{\blacksquare} = b * h$$

Dónde

A_{\blacksquare} = Área del rectángulo

b = Base del rectángulo (450 mm)

h = Altura del rectángulo (80 mm)

$$A_{\blacksquare} = 450 \text{ mm} * 80 \text{ mm}$$

$$A_{\blacksquare} = 36000 \text{ mm}^2$$

La sección triangular se calculará con la siguiente ecuación y se multiplicará por el número de lados.

$$A_{\triangle} = \frac{b * h}{2}$$

Dónde

A_{\triangle} = Área del triángulo

b = Base del triángulo (450 mm)

h = Altura del triángulo (80 mm)

$$A_{\triangle} = \frac{260 \text{ mm} * 450 \text{ mm}}{2}$$

$$A_{\triangle} = 58500 \text{ mm}^2 * 2$$

$$A_{\triangle} = 117000 \text{ mm}^2$$

Se sumarán todas las áreas; y por los cuatro lados de la tolva para encontrar el área total (A_T).

$$A_T = A_{\blacksquare} + A_{\triangle}$$

$$A_T = 36000 \text{ mm}^2 + 117000 \text{ mm}^2$$

$$A_T = 153000 \text{ mm}^2 * 4$$

$$A_T = 612000 \text{ mm}^2$$

$$A_T = 0.612 \text{ m}^2$$

Estos valores se reemplazarán en la ecuación 182.

$$P_{tolva} = \frac{25 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2}{0.612 \text{ m}^2}$$

$$P_{tolva} = 400.74 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Para determinar el espesor de la plancha ($e_{plancha}$); se aplicará la siguiente ecuación²³⁹.

$$e_{plancha} = \frac{0.77 * d_{ext} * P_{tolva}}{2 * \sigma_{adm}} \quad Ec (183)$$

$$e_{plancha} = \frac{0.77 * 0.6 \text{ m} * 400.74 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{2 * 4.375 * 10^4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$e_{plancha} = 2.1159 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$e_{plancha} = 2.11 \text{ mm}$$

Por decisión de los autores, y tomando en cuenta el stock en el mercado nacional, el espesor de la plancha de tool será de 2 mm.

²³⁹ RAVANET. J. Op. Cit. P. 20

3.18. Diseño de la estructura

La estructura soporta las partes y piezas de la máquina peletizadora, debe ser lo suficientemente rígida para resistir los esfuerzos y deformaciones que la máquina genera en su trabajo.

Tomado como dato de diseño y su funcionamiento se determina que la máquina debe estar cerca del piso. Por lo tanto la estructura debe estar anclada.

3.18.1. Selección del tipo de tubo estructural

Para la construcción de la estructura, la cuál va a ser la base de la peletizadora, se seleccionó perfil C, las cuales deben cumplir con los requerimientos necesarios para el diseño como son:

- Soportar el peso de los elementos de la máquina, así como de los dispositivos de movimiento (motor, caja reductora)
- Permitir que la máquina se anclada al piso para evitar vibraciones que se generan en el proceso.

Para concluir si el perfil C es el correcto se debe comprobar realizando el cálculo de la carga crítica, el tipo de perfil seleccionado es: C 4 x 7.25 (plg). Figura 3.42.

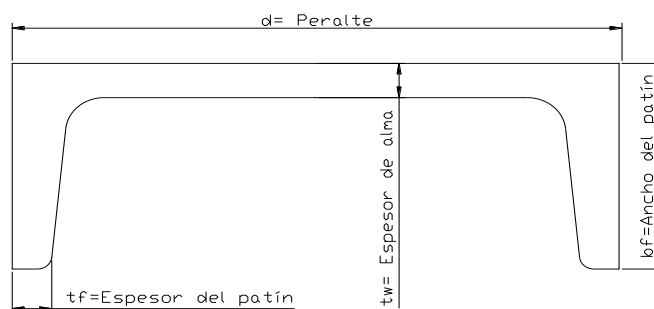


Figura 3. 42 Perfil estructural C

Posee las siguientes características²⁴⁰:

$$A = 2.13 \text{ plg}^2$$

$$d = 4 \text{ plg}$$

$$tw = 0.321 \text{ plg}$$

$$\text{Peso} = 7.25 \text{ lbs/pie}$$

$$I_x = 4.59 \text{ plg}^4$$

$$I_y = 0.433 \text{ plg}^4$$

$$r_y = 0.798 \text{ plg}$$

3.18.1.1. Longitud efectiva

Es la longitud entre dos puntos de inflexión (momento flector nulo), varía según el tipo de apoyo y se determinará con la siguiente ecuación²⁴¹.

$$KL \qquad \qquad \qquad Ec (184)$$

Dónde

K = Factor de fijación en extremos (0.65, empotramiento ambos lados, Anexo F; Tabla F-3.12)

L = Longitud de la estructura (95 plg)

$$KL = 0.65 * 95 \text{ plg}$$

$$KL = 61.75 \text{ plg}$$

3.18.1.2. Radio de giro

El radio de giro se determinará con la ecuación²⁴².

²⁴⁰ MANUAL AISC. American Standard Channels. P. 1-41

²⁴¹ MOTT, Robert, Op. Cit. P. 233

²⁴² MOTT, Robert, Op. Cit. P. 232

$$r = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad Ec(185)$$

$$r = \sqrt{\frac{0.433 plg^4}{2.13 plg^2}}$$

$$r = 0.450 plg$$

3.18.1.3. Razón de esbeltez KL/r

$$\frac{KL}{r} \quad Ec (186)$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{61.75 plg}{0.450 plg}$$

$$\frac{KL}{r} = 137.222$$

Para calcular la carga crítica se deberá ingresar el valor de la esbeltez a la tabla del manual AISC. Y si no se encuentra un valor exacto se procede a interpolar.

El perfil de acero estructural.²⁴³

$\frac{KL}{r}$	Fa (Ksi)
137	7.96
137.222	x
138	7.84

²⁴³ MANUAL AISC. American Standard Channels. P. 3-16

De la interpolación se tendrá:

$$F_a = 7.933 \text{ Ksi [Klb/plg]}$$

Con la fuerza crítica se determinará la carga crítica que es la que soporta un perfil, columna antes de romperse.

$$P_{cri} = F_a * A_g \quad Ec (187)$$

$$P_{cri} = 7.933 \frac{\text{Klb}}{\text{plg}^2} * 2.13 \text{ plg}^2$$

$$P_{cri} = 16.898 \text{ Klb}$$

$$P_{cri} = 16.898 \text{ Klb} * \frac{1000\text{lb}}{1\text{Klb}} * \frac{1\text{kgf}}{2.2 \text{ lb}} * \frac{9.8\text{N}}{1\text{kgf}}$$

$$P_{cri} = 75349.971 \text{ N}$$

Para conocer el peso de la máquina se sumará los elementos de la misma, los cuales se determinará en las secciones anteriores.

$$P_{máq} = W_f + W_{ch} + W_c + W_{caj} + W_{mot} + W_{tol} + W_{eje} \quad Ec (188)$$

Dónde

$P_{máq}$ = Peso de la máquina peletizadora

W_f = Peso de la funda (161.535 N; Sección 3.16.4.3)

W_{ch} = Peso del cilindro y el husillo (558.748 N; Sección 3.16.4.2)

W_c = Peso del cabezal (489.136 N; Sección 3.16.4.1)

W_{caj} = Peso de la caja reductora (1962 N; Catálogo)

W_{mot} = Peso del motor (1471.5 N; Anexo F; Tabla F-2.2)

W_{tol} = Peso de la tolva (100 N aproximadamente)

W_{eje} = Peso del eje motriz (63.099 N)

Para determinar el peso del eje motriz, se hará como un eje macizo de 75 mm de diámetro y con una longitud de 185 mm datos que se obtuvieron en la sección 3.11.

Se reemplazarán valores en la ecuación 188:

$$P_{máq} = 161.535 + 558.748 + 489.136 + 1962 + 1471.5 + 100 + 63.099$$

$$P_{máq} = 4806.018N$$

Al peso de la máquina se debe aplicar un factor de seguridad (n) de 1.5, por carga de los apoyos, rodamientos, suelda, pernos, poleas, chavetas, y las resistencias eléctricas.

Por lo tanto el peso real de la máquina será:

$$P_{máq} = 4806.018 N * n \quad Ec (189)$$

$$P_{máq} = 4806.018 N * 1.5$$

$$P_{máq} = 7209.027 N$$

Con la siguiente relación se podrá verificar si el perfil seleccionado trabaja bien con estas cargas²⁴⁴.

$$P_{máq} < P_{cri} \quad Ec (190)$$

$$7209.027 N < 75349.971N$$

De lo cual se podrá concluir que el perfil estructural rectangular seleccionado “C 4x7.25” soporta el peso de la máquina.

Nota: Los cordones de soldadura serán con electrodo E6011, para la unión de la estructura.

²⁴⁴ NORTON. L Robert, Op. Cit. P. 237

3.19. Calefacción y regulación de temperatura²⁴⁵

Para calentar los sistemas de plastificación de máquinas peletizadoras se utilizarán, casi exclusivamente, elementos calefactores eléctricos, que producen calor mediante resistencias eléctricas. El calor procedente de los alambres de una resistencia eléctrica puede transmitirse de diversos modos al elemento a calentar.

En la transmisión directa, el calor es derivado al elemento a calentar mediante una materia sólida (paredes metálicas o similares, conducción).

La forma de transmisión conocida por convección se produce por la derivación térmica y transmite el calor por el movimiento de partículas moleculares calientes de estas materias.

Para determinadas tareas de elaboración y tratamiento posterior se empleará también la radiación como forma de transmisión.

Aquí se trata principalmente de rayos de onda corta de la zona infrarroja con una longitud de onda de 0.75 hasta 400 μ , que proceden calor al chocar sobre el material a calentar.

El calor requerido al arrancar la peletizadora, es el máximo, ya que se deben llevar a la temperatura de operación el cilindro, y el cabezal. Los tipos de calentadores seleccionados, son los calentadores de banda aislados con material cerámico.

Los calentadores se sitúan por zonas, cada una de las cuales posee, para el control de la temperatura, un termopar y un regulador de temperatura.

En el (Anexo F; Tabla F-8.1) se tienen las zonas de temperatura recomendadas para la elaboración de polietileno de baja densidad.

²⁴⁵ MINK. W, *Calefacción y regulación de temperatura*, El plástico en la Industria, Primera edición, Editorial G.Gili S.A, México, 1990, Volumen 2, P. 225

3.19.4. Potencia de los calefactores

La potencia que deberán suministrar los calentadores para poder elevar la temperatura del cilindro y del husillo, está en función del calor necesario que se produce en el estado transitorio.

Se deberá considerar este estado, puesto que el cilindro debe ser calentado y alcanzar la temperatura de trabajo antes de empezar a procesar el material plástico.

El cilindro y el husillo se encuentran al arrancar el equipo a temperatura ambiente (15°C)²⁴⁶ iniciado el proceso, se cierra el circuito de corriente de los elementos calefactores, los cuales comienzan a dar calor, el mismo que se va acumulando y elevando su temperatura, conforme pasa, el tiempo.

3.19.4.2. Balance energético en el estado transitorio

Este balance se lo hace, considerando el cilindro y el husillo como dos sistemas como se muestra en la figura 3.43, el husillo no gira y se desprecia el aire que se encuentra en el interior de los mismos.

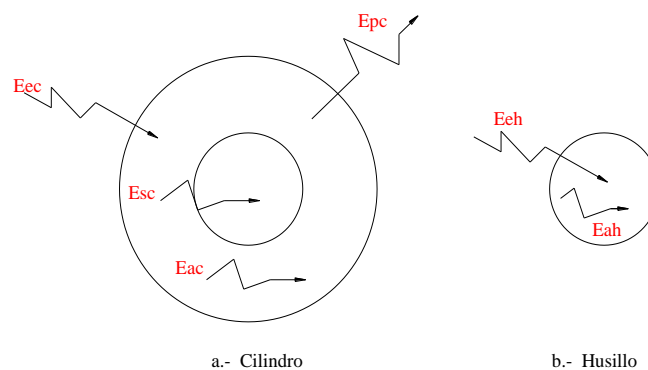


Figura 3. 43 Sistema de análisis para el balance energético estado transitorio

²⁴⁶ <http://es.wikipedia.org/wiki/Quito>

Al realizar el balance energético de los sistemas de la figura se tendrá²⁴⁷:

$$E_{ec} = E_{ac} + E_{sc} + E_{pc} \quad E_c (191)$$

$$E_{eh} = E_{ah} \quad E_c (192)$$

Dónde

E_{ec} = Energía que entra al cilindro, proviene de los calefactores eléctricos.

E_{ac} = Energía almacenada por el cilindro (W)

E_{pc} = Energía que sale del cilindro hacia el exterior (W)

E_{sc} = Energía que sale del cilindro hacia el husillo (W)

E_{eh} = Energía que entra al husillo, proveniente del cilindro (W)

E_{ah} = Energía almacenada por el husillo (W)

Considerando que existe un contacto térmico ideal entre el cilindro y el husillo se tendrá.

$$E_{sc} = E_{eh} \quad E_c (193)$$

La energía almacenada por el cilindro será²⁴⁸:

$$E_{ac} = mc * C_{pc} * \frac{\delta T_c}{\delta t} \quad E_c (194)$$

Dónde

mc = Masa del cilindro (33.497 kg; sección 3.6.1)

C_{pc} = Calor específico del material cilindro (0.11 Kcal/kg °C acero; Anexo F; Tabla F-8.3).

$\frac{\delta T_c}{\delta t}$ = Variación de temperatura respecto al tiempo

²⁴⁷ YUNUS, A. Cengel, *Transferencia de calor*, Segunda edición, Editorial Mc Graw Hill, México, 2003, P. 273

²⁴⁸ YUNUS, A. Cengel, Op. Cit. P. 274

La energía que sale del cilindro hacia el exterior será²⁴⁹:

$$E_{pc} = h * A(T_o(t) - T_{\infty}) \quad Ec (195)$$

Dónde:

h = Coeficiente de transferencia de calor ($W/m^2\text{°C}$)

D = Diámetro del cilindro (91 mm; sección 3.6)

L = Longitud del husillo (1260 mm)

A = Área de la transferencia de calor²⁵⁰.

$$A = \pi * D * L \quad Ec (196)$$

$$A = \pi * (91 \text{ mm}) * (1260 \text{ mm})$$

$$A = 360215.014 \text{ mm}^2 \approx 0.3604 \text{ m}^2$$

$T_o(t)$ = Temperatura del cilindro, variable con el tiempo (°C)

T_{∞} = Temperatura del medio ambiente (15°C)

La temperatura almacenada por el husillo será²⁵¹:

$$E_{ah} = mh * C_{ph} * \frac{\delta Th}{\delta t} \quad Ec (197)$$

Dónde

mh = Masa del husillo (23.46 kg)

C_{ph} = Calor específico del material del husillo (0.11 Kcal/kg °C acero= 0.502 KJ/kg °K)

²⁴⁹ YUNUS, A. Cengel, Op. Cit. P. 274

²⁵⁰ HOLMAN, J.P, *Transferencia de calor*, Primera edición, Editorial Mc Graw Hill, México 1986, P 35

²⁵¹ YUNUS, A. Cengel, Op. Cit. P. 275

$$\frac{\delta Th}{\delta t} = \text{Variación de la temperatura respecto al tiempo}$$

Para facilitar la solución de las ecuaciones 191, se considerará que el husillo y el cilindro tienen las mismas temperaturas conforme varía el tiempo, consideración debida a que el termo par se lo coloca lo más cerca posible al polímero, en las cercanías del husillo, y dicho sensor indica la temperatura del interior del cilindro y del exterior del husillo.

Al combinar las ecuaciones (191-192) y reemplazando además las ecuaciones (194-195.197), se llegará a la siguiente expresión²⁵².

$$Eec = (mc * Cpc + mh * Cph) \frac{\delta T}{\delta t} + hA(T(t) - T\infty) \quad Ec (198)$$

Esta ecuación se resuelve haciendo las siguientes sustituciones:

$$Q = Eec$$

$$\Phi(t) = T(t) - T\infty$$

$$\delta\phi(t) = \delta t(t)$$

$$M = h A / (mh * Cpc + mh * Cph)$$

$$P = Q / (mc * Cpc + mh * Cph)$$

La siguiente expresión se demuestra de la siguiente manera²⁵³.

$$\delta\phi \frac{d(t)}{dt} + M\phi(t) = P \quad Ec (199)$$

²⁵² YUNUS, A. Cengel, Op. Cit. P. 275

²⁵³ YUNUS, A. Cengel, Op. Cit. P. 276

Las condiciones de borde para esta ecuación serán²⁵⁴:

$$\delta\phi \frac{d(t)}{dt} + M\phi(t) = P \quad \text{para } t > \quad \text{Ec (199. a)}$$

$$\phi(t) = \phi_0 \text{ para } t = 0 \quad \text{Ec (199. b)}$$

La solución general de esta ecuación²⁵⁵:

$$\phi(t) = C * e^{(-Mt)} \quad \text{Ec (199. c)}$$

Y la solución particular:

$$\Phi_p = P/M$$

Además

$$C = \phi_0 - \phi_p \quad \text{Ec (199. d)}$$

De esta manera la solución de la ecuación diferencial (198) quedará de la siguiente manera²⁵⁶:

$$\phi(t) = \phi_0 e^{(-Mt)} + (1 - e^{(-Mt)}) * \frac{P}{M} \quad \text{Ec (199. e)}$$

Sustituyendo los valores anterior, y considerando que $T_{(0)} = T_{\infty}$ la ecuación quedará²⁵⁷.

$$T(t) = \left(1 - e^{\left(-\frac{hAt}{mc*Cp_c + mh*Ch}\right)} \right) \frac{Q}{hA} + T \quad \text{Ec (200)}$$

²⁵⁴ YUNUS, A. Cengel, Op. Cit. P. 276

²⁵⁵ YUNUS, A. Cengel, Op. Cit. P. 276

²⁵⁶ YUNUS, A. Cengel, Op. Cit. P. 277

²⁵⁷ YUNUS, A. Cengel, Op. Cit. P. 277

En esta ecuación interviene el coeficiente de transferencia de calor, el cual se lo evaluará en la siguiente sección.

3.19.4.2.1. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor

Este coeficiente es igual a la suma del coeficiente de convección y del coeficiente de radiación²⁵⁸.

$$h = h_c + h_r \quad Ec (201)$$

Dónde

h_c = Coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m²°C)

h_r = Coeficiente de transferencia de calor por radiación (W/m²°C)

Los valores de h_c y de h_r se los calcularán a continuación.

3.19.4.2.1.1. Determinación del coeficiente de convección

La transferencia de calor por convección, está presente, siempre que un cuerpo sólido es colocado en la vecindad de un fluido que está a diferente temperatura que la superficie de dicho cuerpo.

La temperatura media de película²⁵⁹.

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad Ec (202)$$

Dónde

T_s = Temperatura de la superficie del cuerpo sólido (200°C; Tabla 1.2)

²⁵⁸ YUNUS, A. Cengel, Op. Cit. P. 133

²⁵⁹ HOLMAN, J.P, Op. Cit, P. 360

$$T_f = \frac{200\text{ }^\circ\text{C} + 15\text{ }^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_f = 107.5\text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_f = 381\text{ }^\circ\text{K}$$

A esta temperatura las propiedades del aire no se pueden determinar directamente de las tablas, y para este caso procedemos a realizar una interpolación para poder determinar las propiedades, que son las siguientes:

γ = Viscosidad cinemática ($2.387 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; Anexo F; Tabla F-8.2)

Pr = Número de Prandtl (0.701; Anexo F; Tabla F-8.3)

k = Conductividad térmica ($0.03148 \text{ W/m }^\circ\text{C}$; Anexo F; Tabla F-8.3)

β = Coeficiente de expansión térmica²⁶⁰

$$\beta = \frac{1}{T_f} \tag{Ec (203)}$$

$$\beta = \frac{1}{381\text{ }^\circ\text{K}}$$

$$\beta = \frac{2.61 \times 10^{-3}}{\text{ }^\circ\text{K}}$$

La longitud característica en el número de Grashof, del cilindro horizontal grande es su diámetro por lo tanto. Se determinará mediante la siguiente ecuación²⁶¹.

$$G_R = \frac{\beta * g * \Delta T * D^3}{\gamma^2} \tag{Ec (204)}$$

²⁶⁰ HOLMAN, P. Op. Cit. P. 301

²⁶¹ KERN, Donald, *Proceso de transferencia de calor*, Primera edición, Editorial Cecs, México, 1965, P 248

Dónde

$\Delta T =$ Variación de temperatura

$$\Delta T = T_s - T_\infty \quad Ec (205)$$

$$\Delta T = 200^\circ C - 15^\circ C$$

$$\Delta T = 185^\circ C$$

$$\Delta T = 458.15^\circ K$$

$g =$ Constante gravitacional (9.81 m/s^2)

$D =$ Diámetro del cilindro/camisa (91 mm; sección 3.6)

$$G_R = \frac{2.61 \times 10^{-3} \text{ }^\circ K^{-1} * 9.81 \text{ m/s}^2 * 458.15 \text{ }^\circ K * (0.091 \text{ m})^3}{(2.387 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})^2}$$

$$G_R = \frac{0.00884 \text{ m}^4/\text{s}^2}{(2.387 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})^2}$$

$$G_R = 1.55 \times 10^7$$

El producto²⁶²

$$G_R * Pr \quad Ec (206)$$

$$1.55 \times 10^7 * 0.701$$

$$1.09 \times 10^7$$

Permitirá encontrar las constantes (Anexo F; Tabla F-8.4)

$$C = 0.53$$

$$a = \frac{1}{4}$$

²⁶² HOLMAN, P. Op. Cit. P. 306

Para flujo laminar, dichas constantes se utilizará para evaluar el número adimensional de Nuseelt con la siguiente ecuación²⁶³.

$$Nud = C(G_R * Pr)^a \quad Ec (207)$$

$$Nud = 0.53(1.09 \times 10^7)^{1/4}$$

$$Nud = 30.44$$

El número de Nusselt para convección libre será²⁶⁴:

$$Nud = hc * D/k \quad Ec (208)$$

Despejando hc y reemplazando valores se obtendrá.

$$hc = \frac{Nud * k}{D} \quad Ec (209)$$

$$hc = \frac{30.44 * 0.03148 \text{ W/m}^\circ\text{C}}{0.091\text{m}}$$

$$hc = 10.529 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

3.19.4.2.1.2. Determinación del coeficiente de radiación

Las superficies metálicas oxidadas corrientes son buenos radiadores de calor, las pérdidas que se verifican dependen de la temperatura absoluta, del área de la superficie y de la emisividad de la misma.

²⁶³ HOLMAN, P. Op. Cit. P. 306

²⁶⁴ YUNUS, A. Cengel, Op. Cit. P. 336

Las pérdidas por radiación, se las determinará aplicando la ecuación²⁶⁵.

$$q = A * \epsilon_1 * \sigma (T_s^4 - T_\infty^4) \quad Ec (210)$$

Dónde

A = Área de transferencia de calor

ϵ = Emisividad de la superficie (0.61 Anexo F; Tabla F-8.5)

σ = Constante de Stefan Boltzman ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$)²⁶⁶

T_s = Temperatura absoluta de la superficie (473°K)

T_∞ = Temperatura absoluta ambiental (288°K)

El calor de pérdidas por radiación, considerando un coeficiente de pérdidas será²⁶⁷;

$$q = A * hr (T_s - T_\infty) \quad Ec (211)$$

De la ecuación (210-211); se igualará los términos y se despejará el coeficiente de radiación hr .

$$hr = \frac{\epsilon * \sigma (T_s^4 - T_\infty^4)}{T_s - T_\infty} \quad Ec (212)$$

$$hr = \frac{0.61 * 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4 (473^\circ \text{K}^4 - 288^\circ \text{K}^4)}{473 - 288}$$

$$hr = \frac{1493.29 \text{ W}}{185 \text{ m}^2 \text{ }^\circ \text{K}}$$

$$hr = 8.072 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ }^\circ \text{K}}$$

²⁶⁵ HOLMAN, P. Op. Cit. P. 30

²⁶⁶ HOLMAN, P. Op. Cit. P. 343

²⁶⁷ HOLMAN, P. Op. Cit. P. 34

El coeficiente de transferencia de calor total será²⁶⁸:

$$h = hc + hr \quad \text{Ec (213)}$$

$$h = 10.529 \frac{W}{m^2 \circ K} + 8.072 \frac{W}{m^2 \circ K}$$

$$h = 18.60 \frac{W}{m^2 \circ K}$$

3.19.4.2.2. Selección de la potencia de los calefactores

Remplazando las constantes conocidas de la ecuación 196 está se deduce a:

$$T(t) = \left(1 - e^{\left(-\frac{hAt}{mc \cdot C_{pc} + mh \cdot C_{ph}} \right)} \right) \frac{Q}{hA} + T_{\infty}$$

Dónde

$$T(t) = \left(1 - e^{\left(\frac{18.60 \frac{W}{m^2 \circ K} * 0.360 m^2 * t}{33.497 \text{ kg} * 0.459 \frac{KJ}{kg \circ K} + 23.460 \text{ kg} * 0.459 \frac{KJ}{kg \circ K}} \right)} \right) \frac{Q}{\left(18.60 \frac{W}{m^2 \circ K} * 0.360 m^2 \right)} + 15$$

$$T(t) = \left(1 - e^{(-0.000256t)} \right) 0.149 Q + 15^{\circ}C$$

En esta ecuación, Q se expresa en vatios, t en minutos y $T(t)$ en $^{\circ}C$. A continuación se darán los resultados obtenidos cuando se considera potencias de 9000 w, 13500 w, y 18000 w.

Este tipo de resistencias son las que se encuentran en el mercado local y son las recomendadas por proveedores de este tipo de máquinas.

²⁶⁸ KERN, Donald. Op. Cit. P. 14

Para la potencia (Q) de 9000 W, $t = 5$ minutos, de lo cual se tendrá:

$$T(t) = 0.149(9000 W)(1 - e^{(-0.000256(5 \text{ min}))}) + 15^\circ C$$

$$T(t) = 16.706 W$$

Potencia (Q) 13500 W, $t = 5$ minutos:

$$T(t) = 0.149(13500 W)(1 - e^{(-0.000256(5 \text{ min}))}) + 15^\circ C$$

$$T(t) = 40.583 W$$

Potencia (Q) 18000 W, $t = 5$ minutos:

$$T(t) = 0.149(18000 W)(1 - e^{(-0.000256(5 \text{ min}))}) + 15^\circ C$$

$$T(t) = 49.110 W$$

Realizando el mismo procedimiento, pero con diferente valor del tiempo hasta encontrar un estimado que llegue a fundir el polímero los resultados se muestran en la tabla 3.3.

Temperatura °C			
t (min)	9000 W	13500W	18000 W
5	16.7055412	40.5831187	49.110825
10	18,3893907	65,8408604	82,7878139
15	20,0518242	90,7773633	116,036484
20	21,6931142	115,396713	148,862284
25	23,3135296	139,702943	181,270591
26	23,6351311	144,526967	187,702622
27	23,9559104	149,338656	194,118208
28	24,2758695	154,138043	200,517391
29	24,5950106	158,92516	206,900213
30	24,9133358	163,700037	213,266716

Tabla 3. 3 Resumen de la selección de potencia de los calefactores

Fuente: Los autores

De estos resultados se escoge la potencia de 18000 W, con la cual en 27 minutos, el equipo alcanza la temperatura de 194 °C, que es la temperatura máxima que está en el rango a la que se funde el LDPE tabla 1.2.

Los 18000 W se consiguen colocando 3 bandas calefactoras de 6000 W cada una, ya que se suele acoplar varios elementos calefactores a los cilindros largos. “Dichas bandas trabajan conectadas a la red a 220V y la resistencia interna de cada banda es de 8Ω ”²⁶⁹.

Cada una de las zonas del cilindro tiene una temperatura recomendada para la elaboración del LDPE.

3.19.4.2.3. Determinación de la intensidad de corriente eléctrica

Para determinar la intensidad de corriente eléctrica que circular a través de las bandas calefactoras de cada zona, se debe determinar previamente la potencia calórica, que entrega cada banda para que llegue a tener la temperatura recomendada, para el proceso de peletización.

Para cada zona del cilindro, se calculará el coeficiente de convección, el coeficiente de radiación y el coeficiente total de transferencia de calor, de igual manera a como se lo realizó en la sección 3.19.1.2.1, para cada zona del husillo.

3.19.4.2.3.1. Determinación del coeficiente de convección zona de alimentación

Para determinar el coeficiente de calor se lo realizará tomando los mismos pasos que se hizo en la sección 3.19.1.2.1.1.

²⁶⁹ MINK. W, Op. Cit. P. 230

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad Ec (202. a)$$

Dónde

T_s = Temperatura en la zona de alimentación (140°C Anexo F; Tabla F-8.1)

$$T_f = \frac{140^\circ C + 15^\circ C}{2}$$

$$T_f = 77.5^\circ C$$

$$T_f = 351^\circ K$$

Las propiedades del aire se tendrán que realizar una interpolación a está temperatura.

γ = Viscosidad cinemática ($2.0715 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)

Pr = Número de Prandtl (0.7159)

k = Conductividad térmica ($0.02935 \text{ W/ m }^\circ\text{C}$)

β = Coeficiente de expansión térmica

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{351^\circ K} = \frac{2.85 \times 10^{-3}}{^\circ K} \quad Ec (203. a)$$

La longitud característica en el número de Grashof,

$$G_R = \frac{\beta * g * \Delta T * D^3}{\gamma^2} \quad Ec (204. a)$$

Dónde

ΔT = Variación de temperatura

$$\Delta T = T_s - T_\infty \quad Ec (205. a)$$

$$\Delta T = 140^\circ C - 15^\circ C$$

$$\Delta T = 125 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 398 \text{ }^\circ\text{K}$$

g = Constante gravitacional (9.81 m/s²)

D = Diámetro del cilindro/camisa (91 mm sección 3.6)

$$G_R = \frac{2.85 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{K}^{-1} * 9.81 \text{ m/s}^2 * 398 \text{ }^\circ\text{K} * (0.091 \text{ m})^3}{(2.745 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})^2}$$

$$G_R = \frac{0.00839 \text{ m}^4/\text{s}^2}{(2.0715 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})^2}$$

$$G_R = 1.955 \times 10^7$$

El producto

$$G_R * Pr$$

Ec (206. a)

$$1.955 \times 10^7 * 0.7159$$

$$1.40 \times 10^7$$

Permite encontrar las constantes

$$C = 0.53$$

$$a = \frac{1}{4}$$

El número a dimensional de Nuseelt será:

$$Nud = C(G_R * Pr)^a$$

Ec (207. a)

$$Nud = 0.53(1.40 \times 10^7)^{1/4}$$

$$Nud = 32.42$$

El número de Nusselt para convección libre será:

$$Nud = hc * D/k \quad Ec (208. a)$$

$$hc = \frac{Nud * k}{D} \quad Ec (209. a)$$

$$hc = \frac{32.42 * 0.02935 \text{ W/m}^\circ\text{C}}{0.091\text{m}}$$

$$hc = 10.456 \frac{W}{m^2^\circ K}$$

3.19.4.2.3.2. Determinación del coeficiente de radiación de la zona de alimentación

El desarrollo de la fórmula se lo realizó anteriormente así que use utilizará está directamente.

$$hr = \frac{\epsilon * \sigma (Ts^4 - T\infty^4)}{Ts - T\infty} \quad Ec (212. a)$$

Dónde

Ts = Temperatura absoluta superficie en la zona de alimentación (140 °C = 413 °K)

$$hr = \frac{0.61 * 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 (413^\circ\text{K}^4 - 288^\circ\text{K}^4)}{413 - 288}$$

$$hr = \frac{768.32 \text{ W}}{125 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{K}}$$

$$hr = 6.15 \frac{W}{m^2 \text{ }^\circ\text{K}}$$

El coeficiente de transferencia de calor total será:

$$h = hc + hr \quad Ec (213. a)$$

$$h = 10.456 \frac{W}{m^2 \cdot K} + 6.15 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$h = 16.60 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

3.19.4.2.3.3. Determinación del coeficiente de convección zona de transición

Se determinará la temperatura promedio.

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad Ec (202. b)$$

Dónde

T_s = Temperatura en la zona de transición (165°C, Anexo F; Tabla F-8.1)

$$T_f = \frac{165 \text{ }^\circ\text{C} + 15 \text{ }^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_f = 90 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_f = 363 \text{ }^\circ\text{K}$$

Las propiedades del aire se tendrán que realizar una interpolación a esta temperatura.

γ = Viscosidad cinemática ($2.201 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)

Pr = Número de Prandtl (0.7132)

k = Conductividad térmica ($0.03024 \text{ W/m }^\circ\text{C}$)

β = Coeficiente de expansión térmica

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{363^\circ\text{K}} = \frac{2.755 \times 10^{-3}}{^\circ\text{K}} \quad \text{Ec (203. b)}$$

El número de Grashof,

$$G_R = \frac{\beta * g * \Delta T * D^3}{\gamma^2} \quad \text{Ec (204. b)}$$

ΔT = Variación de temperatura

$$\Delta T = T_s - T_\infty \quad \text{Ec (205. b)}$$

$$\Delta T = 165^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 150^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 423^\circ\text{K}$$

g = Constante gravitacional (9.81 m/s²)

D = Diámetro del cilindro/camisa (91 mm)

$$G_R = \frac{2.755 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{K}^{-1} * 9.81 \text{ m/s}^2 * 423 \text{ }^\circ\text{K} * (0.091 \text{ m})^3}{(2.201 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})^2}$$

$$G_R = \frac{0.008614 \text{ m}^4/\text{s}^2}{(2.201 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})^2}$$

$$G_R = 1.778 \times 10^7$$

El producto

$$G_R * Pr \quad \text{Ec (206. b)}$$

$$1.778 \times 10^7 * 0.7132$$

$$1.268 \times 10^7$$

Permitirá encontrar las constantes

$$C = 0.53$$

$$a = \frac{1}{4}$$

El número adimensional de Nuseelt será:

$$Nud = C(G_R * Pr)^a \quad Ec (207. b)$$

$$Nud = 0.53(1.268 \times 10^7)^{1/4}$$

$$Nud = 31.628$$

El número de Nusselt para convección libre:

$$Nud = hc * D/k \quad Ec (208. b)$$

$$hc = \frac{Nud * k}{D} \quad Ec (209. b)$$

$$hc = \frac{31.628 * 0.03024 \text{ W/m}^\circ\text{C}}{0.091\text{m}}$$

$$hc = 10.510 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

3.19.4.2.3.4. Determinación del coeficiente de radiación de la zona de transición

$$hr = \frac{\epsilon * \sigma (T_s^4 - T_\infty^4)}{T_s - T_\infty} \quad Ec (212. b)$$

Dónde

T_s = Temperatura absoluta de la superficie en la zona de transición ($165\text{ }^\circ\text{C} = 438\text{ }^\circ\text{K}$)

$$h_r = \frac{0.61 * 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 (438\text{ }^\circ\text{K}^4 - 288\text{ }^\circ\text{K}^4)}{438 - 288}$$

$$h_r = \frac{1034.996 \text{ W}}{150 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{K}} = 6.899 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{K}}$$

El coeficiente de transferencia de calor total:

$$h = h_c + h_r \quad \text{Ec (213. b)}$$

$$h = 10.510 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{ }^\circ\text{K}} + 6.899 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{K}}$$

$$h = 17.409 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{ }^\circ\text{K}}$$

3.19.4.2.3.5. Determinación del coeficiente de convección zona de dosificado

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad \text{Ec (202. c)}$$

Dónde

T_s = Temperatura en la zona de alimentación ($190\text{ }^\circ\text{C}$, Anexo F; Tabla F-8.1)

$$T_f = \frac{190\text{ }^\circ\text{C} + 15\text{ }^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_f = 102.5\text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_f = 376\text{ }^\circ\text{K}$$

Las propiedades del aire se tendrán que realizar una interpolación a esta temperatura.

γ = Viscosidad cinemática ($2.333 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)

Pr = Número de Prandtl (0.7106)

k = Conductividad térmica ($0.031125 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$)

β = Coeficiente de expansión térmica

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{376^\circ\text{K}} = \frac{2.663 \times 10^{-3}}{^\circ\text{K}} \quad Ec (203. c)$$

La longitud característica en el número de Grashof,

$$G_R = \frac{\beta * g * \Delta T * D^3}{\gamma^2} \quad Ec (204. c)$$

Dónde

ΔT = Variación de temperatura

$$\Delta T = T_s - T_\infty \quad Ec (205. c)$$

$$\Delta T = 190^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 175^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 448^\circ\text{K}$$

g = Constante gravitacional (9.81 m/s^2)

D = Diámetro del cilindro/camisa (91 mm)

$$G_R = \frac{2.66 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1} * 9.81 \text{ m/s}^2 * 448 \text{ } ^\circ\text{K} * (0.091 \text{ m})^3}{(2.745 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})^2}$$

$$G_R = \frac{0.00881 \text{ m}^4/\text{s}^2}{(2.333 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})^2} = 1.620 \times 10^7$$

El producto

$$G_R * Pr$$

Ec (206. c)

$$1.955 \times 10^7 * 0.7106$$

$$1.150 \times 10^7$$

Permitirá encontrar las constantes

$$C = 0.53$$

$$a = \frac{1}{4}$$

El número adimensional de Nuseelt será:

$$Nud = C(G_R * Pr)^a$$

Ec (207. c)

$$Nud = 0.53(1.150 \times 10^7)^{1/4}$$

$$Nud = 30.865$$

El número de Nusselt para convección libre será:

$$Nud = hc * D/k$$

Ec (208. c)

$$hc = \frac{Nud * k}{D}$$

Ec (209. c)

$$hc = \frac{30.865 * 0.031125 \text{ W/m}^\circ\text{C}}{0.091\text{m}}$$

$$hc = 10.557 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

3.19.4.2.3.6. Determinación del coeficiente de radiación de la zona de dosificado

$$hr = \frac{\epsilon * \sigma (T_s^4 - T_{\infty}^4)}{T_s - T_{\infty}} \quad Ec (212. c)$$

Dónde

T_s =Temperatura absoluta de la superficie zona de alimentación (190°C= 463 °K)

$$hr = \frac{0.61 * 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 (463^{\circ}\text{K}^4 - 288^{\circ}\text{K}^4)}{463 - 288}$$

$$hr = \frac{1351.465 \text{ W}}{175 \text{ m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}} = 7.723 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}}$$

El coeficiente de transferencia de calor total será:

$$h = hc + hr \quad Ec (213. c)$$

$$h = 10.557 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}} + 7.723 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}}$$

$$h = 18.279 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}}$$

Los valores calculados se tabularán en la siguiente tabla 3.4.

Zona	Temp ° C	hc [W/m ² °K]	hr [W/m ² °K]	h [W/m ² °K]
I (Alimentación)	140	10.456	6.150	16.600
II (Transición)	165	10.510	6.899	17.409
III (Dosificado)	190	10.557	7.723	18.279

Tabla 3. 4 Resumen de los coeficientes de radiación

Fuente: Los autores

3.19.4.2.4. Potencia calorífica

Para mantener constante la temperatura deseada (valor nominal) dentro de una zona determinada, es necesario regular los elementos eléctricos. Hay que aportar al sistema calefactor el calor necesario para cubrir sus necesidades (incluidas las pérdidas de calor por radiación).

Para determinar la potencia calorífica que debe entregar las bandas, se deberá realizar el análisis para cada zona del cilindro, tomando en cuenta las temperaturas recomendadas para el polímero.

3.19.4.2.4.1. Potencia calorífica zona de alimentación

Reemplazando todas las constantes conocidas en la ecuación 192 se tendrá:

$$T(t) = \left(1 - e^{\left(-\frac{h_A * A_A * t}{m_{cA} * C_{pc} + m_{hA} * C_{ph}} \right)} \right) \frac{Q}{h_A * A_A} + T_{\infty} \quad Ec (200. a)$$

Dónde

h_A = Coeficiente de convección en la zona Alimentación (W / m²°C)

A_A = Área de transferencia de calor, zona Alimentación (0.18 m²)

m_{cA} = Masa del cilindro, zona Alimentación (16.74 Kg)

m_{hA} = Masa del husillo, zona Alimentación (11.74 Kg)

C_{pc} = Calor específico del material del cilindro (0.11 Kcal/kg °C = 0.456 KJ/kg °K
acero Anexo F; Tabla F-8.6)

C_{ph} = Calor específico del material del husillo (0.11 Kcal/kg °C = 0.456 KJ/kg °K
acero Anexo F; Tabla F-8.6)

$$T(t) = \left(1 - e^{\left(-\frac{(16.60)*(0.18)*t}{16.74*0.456+11.74*0.456} \right)} \right) \frac{Q}{16.60 \frac{W}{m^2 \cdot K} * 0.18 m^2} + T_{\infty}$$

$$T(t) = (1 - e^{-0.00023s^{-1} * t}) 0.335Q \left[\frac{W}{K} \right] + T_{\infty}$$

La zona de alimentación deberá alcanzar 140 °C (Anexo F; Tabla F-8.1), en 27 minutos entonces.

$$t = 27 \text{ min} = 1620 \text{ seg}$$

$$T(t) = 140^\circ\text{C}$$

$$T_\infty = 15^\circ\text{C}$$

Despejando de la ecuación 196.a se tendrá:

$$Q = \frac{T(t) - T_\infty}{(1 - e^{-0.0064t}) * 0.335 \left[\frac{W}{^\circ K} \right]} \quad \text{Ec (200. b)}$$

$$Q = \frac{140^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}}{(1 - e^{-0.00023 * 1620}) * 0.335 \left[\frac{W}{^\circ K} \right]}$$

$$Q = \frac{125^\circ\text{C}}{0.1042 \left[\frac{W}{^\circ K} \right]}$$

$$Q = \frac{398^\circ\text{K}}{0.1042 \left[\frac{W}{^\circ K} \right]}$$

$$Q = 3819.577 \text{ W}$$

La potencia calórica de los elementos calefactores, viene dada por:

$$Q = I^2 * R \quad \text{Ec (214)}$$

Dónde

Q = Potencia calórica (3819.577 W)

I = Intensidad de corriente (Amp)

R = Resistencia del elemento calefactor (8Ω)

Reemplazando los valores de Q y de R en la ecuación se obtendrá:

$$I = \sqrt{\frac{Q}{R}} \quad \text{Ec (214. a)}$$

$$I = \sqrt{\frac{3819.577 \text{ W}}{8\Omega}}$$

$$I = 21.85 \text{ amp}$$

3.19.4.2.4.2. Potencia calórica zona de transición

Reemplazando valores en la ecuación 200 se tendrá:

$$T(t) = \left(1 - e^{\left(\frac{hT \cdot A_T \cdot t}{m_{cT} \cdot C_{pc} + m_{hT} \cdot C_{ph}} \right)} \right) \frac{Q}{h_T \cdot h_T} + T_{\infty} \quad \text{Ec (200. b)}$$

Dónde

h_T = Coeficiente de convección en la zona Transición ($\text{W} / \text{m}^2\text{°C}$)

A_T = Área de transferencia de calor, zona Transición (0.09 m^2)

m_{cT} = Masa del cilindro, zona A Transición (8.37 Kg)

m_{hT} = Masa del husillo, zona Transición (5.87 Kg)

$$T(t) = \left(1 - e^{\left(\frac{(17.409) \cdot (0.09) \cdot t}{8.37 \cdot 0.456 + 5.87 \cdot 0.456} \right)} \right) \frac{Q}{17.409 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°K}} \cdot 0.09 \text{ m}^2} + T_{\infty}$$

$$T(t) = (1 - e^{-0.00024s^{-1} \cdot t}) 0.638Q \left[\frac{\text{W}}{\text{°K}} \right] + T_{\infty}$$

La zona transición deberá alcanzar 165 °C (AnexoF; Tabla F-8.1), en 27 minutos entonces.

$$t = 27 \text{ min} = 1620 \text{ seg}$$

$$T(t) = 165\text{°C}$$

$$T_{\infty} = 15\text{°C}$$

$$Q = \frac{T(t) - T_{\infty}}{(1 - e^{-0.00024t}) * 0.638 \left[\frac{W}{^{\circ}K} \right]} \quad Ec (200. b)$$

$$Q = \frac{165^{\circ}C - 15^{\circ}C}{(1 - e^{-0.00024 * 1620}) * 0.638 \left[\frac{W}{^{\circ}K} \right]}$$

$$Q = \frac{150^{\circ}C}{0.0921 \left[\frac{W}{^{\circ}K} \right]}$$

$$Q = \frac{423^{\circ}K}{0.0921 \left[\frac{W}{^{\circ}K} \right]}$$

$$Q = 4592.834 W$$

La potencia calórica de los elementos calefactores, viene dada por:

$$Q = I^2 * R \quad Ec (214)$$

$$I = \sqrt{\frac{Q}{R}} \quad Ec (214. b)$$

$$I = \sqrt{\frac{4592.834W}{8\Omega}}$$

$$I = 23.96 \text{ amp}$$

3.19.4.2.4.3. Potencia calórica zona de dosificación

Reemplazando todas las constantes conocidas para la zona de dosificación se tendrá:

$$T(t) = \left(1 - e^{\left(-\frac{h_D * A_D * t}{m c D * C_p c + m h D * C_p h} \right)} \right) \frac{Q}{h_D * A_D} + T_{\infty} \quad Ec (200. c)$$

Dónde

H_D = Coeficiente de convección en la zona Dosificación (W / m²°C)

A_D = Área de transferencia de calor, zona Dosificación (0.09 m²)

m_{cD} = Masa del cilindro, zona Dosificación (8.37 Kg)

m_{hD} = Masa del husillo, zona Dosificación (5.87 Kg)

$$T(t) = \left(1 - e^{\left(-\frac{(18.279)*(0.09)*t}{8.37*0.456+5.87*0.456} \right)} \right) \frac{Q}{18.279 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K} * 0.09 m^2} + T_\infty$$

$$T(t) = (1 - e^{-0.00025s^{-1}*t}) 0.608Q \left[\frac{W}{^\circ K} \right] + T_\infty$$

La zona de dosificación deberá alcanzar 190 °C (Anexo F; Tabla F-8.1), en 27 minutos entonces.

$$t = 27 \text{ min} = 1620 \text{ seg}$$

$$T(t) = 190^\circ C$$

$$T_\infty = 15^\circ C$$

$$Q = \frac{T(t) - T_\infty}{(1 - e^{-0.0064t}) * 0.608 \left[\frac{W}{^\circ K} \right]} \quad \text{Ec (200. c)}$$

$$Q = \frac{190^\circ C - 15^\circ C}{(1 - e^{-0.00023*1620}) * 0.608 \left[\frac{W}{^\circ K} \right]}$$

$$Q = \frac{175^\circ C}{0.0827 \left[\frac{W}{^\circ K} \right]}$$

$$Q = \frac{448^\circ K}{0.0827 \left[\frac{W}{^\circ K} \right]}$$

$$Q = 5419.58 W$$

La potencia calórica de los elementos calefactores, viene dada por:

$$Q = I^2 * R \quad Ec (214)$$

$$I = \sqrt{\frac{Q}{R}} \quad Ec (214.c)$$

$$I = \sqrt{\frac{5419.58 W}{8\Omega}}$$

$$I = 26.028 \text{ amp}$$

Los datos calculados se resumen en la tabla 3.5.

Zona	Temp (°C)	Q (Watt)	I (Amp)
I	140	3819.557	21.85
(Alimentación)	165	4592.83	23.96
II (Transición)	190	5511	26.028
III (Dosificado)			

Tabla 3. 5 Resumen de la potencia calórica

Fuente: Los autores

Una vez que se ha llegado a tener la temperatura recomendada para cada zona, se entra a una operación continua, en la cual ingresa la materia prima LDPE por la tolva de alimentación y sale pellets por el dado.

3.19.4.3. Balance energético en el estado estable

“Durante la operación continua de la peletizadora la cantidad de calor requerida, es la necesaria para compensar las pérdidas de calor por radiación y convección desde la peletizadora hacia el medio ambiente y los alrededores”²⁷⁰, para elevar la

²⁷⁰ MINK. W, Op. Cit. P. 226

temperatura del polímero hasta fundirlo. Considerando el cilindro y el husillo como un solo sistema. Al realizar el balance energético en el sistema de la figura 3.44.

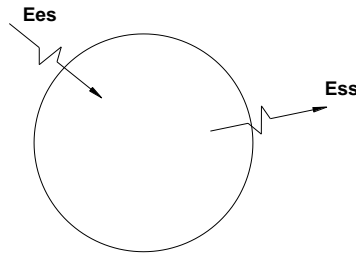


Figura 3. 44 Sistema de balance energético en estado estable

De lo cual se tendrá la siguiente expresión:

$$E_{s_s} = E e_s \quad E_c (215)$$

Dónde

$E e_s$ = Energía que entra al sistema (W)

E_{s_s} = Energía que sale del sistema (W)

La energía que entra al sistema, es la que proviene de los calentadores. La energía que sale del sistema lo hace en forma de pérdidas de calor y como un incremento en la energía interna del polímero.

3.19.4.3.1. Estimación de las pérdidas de calor

En todas las formas de transmisión se proceden pérdidas, que difieren considerablemente. La pérdida de calor efectiva puede alcanzar hasta un 60% y aumentan al elevarse las temperaturas.

Las pérdidas de calor son evaluadas para cada una de las zonas, y son de tres tipos:

3.19.4.3.2. Pérdidas por conducción

El cilindro transmite calor a la garganta y a los soportes con los cuales entra en contacto. En el diseño de estos elementos de la peletizadora se ha tratado de minimizar la conducción de calor entre las superficies, reduciendo al mínimo el contacto físico de la superficie del cilindro con los soportes y con la garganta. Estas pérdidas se desprecian.

3.19.4.3.3. Pérdidas por radiación

Muy a menudo la radiación se considera como un fenómeno perteneciente sólo a cuerpos calientes luminosos.

En este análisis se verá que éste no es el caso y que la radiación, como un tercer medio de transferencia de calor. Y se lo tendrá que determinar para cada zona de la máquina.

3.19.4.3.3.1. Pérdidas por radiación zona de alimentación

Las pérdidas por radiación, se las determinará aplicando la ecuación²⁷¹:

$$Q_R = S * \epsilon_1 * \sigma (T_s^4 - T_\infty^4) \quad Ec (216. a)$$

Dónde

S = Área zona de alimentación (0.18 m²)

ϵ = Emisividad de la superficie (0.61)

σ = Constante de Stefan Boltzman (5.67*10⁻⁸ W/m² K⁴)

T_s = Temperatura absoluta de la superficie (140°C = 413 °K)

T_∞ = Temperatura absoluta ambiental (288 °K)

²⁷¹ PITTS. D Sissom, "Transferencia de calor", Primera edición, Edición Mc Graw-Hill, Colección Schaum, México, 1979, P. 274

$$Q_R = (0.18m^2) * 0.61 * 5.67x10^{-8} \frac{W}{m^2K^4} (413^\circ K^4 - 288^\circ K^4)$$

$$Q_R = 138.297 W$$

3.19.4.3.3.2. Pérdidas por radiación zona de transición

$$Q_R = S * \epsilon_1 * \sigma (T_s^4 - T_\infty^4) \quad Ec (216. b)$$

Dónde

S = Área zona de transición (0.09 m²)

T_s = Temperatura absoluta de la superficie (165°C = 438 °K)

$$Q_R = (0.09m^2) * 0.61 * 5.67x10^{-8} \frac{W}{m^2K^4} (438^\circ K^4 - 288^\circ K^4)$$

$$Q_R = 93.149 W$$

3.19.4.3.3.3. Pérdidas por radiación zona de dosificación

$$Q_R = S * \epsilon_1 * \sigma (T_s^4 - T_\infty^4) \quad Ec (216. c)$$

Dónde

S = Área zona de dosificado (0.09 m²)

T_s = Temperatura absoluta de la superficie (190°C = 463 °K)

$$Q_R = (0.09m^2) * 0.61 * 5.67x10^{-8} \frac{W}{m^2K^4} (463^\circ K^4 - 288^\circ K^4)$$

$$Q_R = 121.632 W$$

La temperatura absoluta, de la superficie depende de la zona considerada, a continuación se tabularán las temperaturas de cada zona, y la cantidad de calor (pérdida por radiación) de dichas zona. Ver tabla 3.6.

Zona	Temperatura °C	Perdidas por radiación W
I (Alimentación)	140	138.297
II (Transición)	165	93.149
III (Dosificado)	190	121.632

Tabla 3. 6 Resumen de pérdidas por radiación

Fuente: Los autores

3.19.4.3.4. Pérdidas por convección

El aire caliente en contacto con la superficie lateral del cilindro tiende a elevarse a causa de su menor densidad comparada con el aire más frío.

“Este proceso establece un flujo de corriente de aire que se eleva al techo, llevando consigo una cantidad importante de calor desde las partes calientes de la peletizadora” ²⁷². Aplicando la ley de enfriamiento de Newton. Las pérdidas calóricas por convección, se las determinarán utilizando los coeficientes de convección calculados en la sección 3.19.1.2.3.1. Y se determinará para cada zona.

3.19.4.3.4.1. Pérdidas por convección zona de alimentación

Se calculará con la siguiente ecuación²⁷³:

$$Q_c = h * \Delta T * S \quad \text{Ec (217. a)}$$

Dónde

h = Coeficiente de convección zona de alimentación (10.456 W/m²°K)

ΔT = Variación de temperatura (473-288°K = 125°K)

S = Área zona alimentación (0.18 m²)

²⁷² PITTS. D Sissom, Op. Cit. P. 2

²⁷³ PITTS. D Sissom, Op. Cit. P. 2

$$Q_c = 10.456 \frac{W}{m^2 \cdot K} * 125 \text{ } ^\circ K * 0.18 m^2$$

$$Q_c = 235.26 W$$

3.19.4.3.4.2. Pérdidas por convección zona de transición

$$Q_c = h * \Delta T * S \quad \text{Ec (217.b)}$$

Dónde

h = Coeficiente de convección zona de transición (10.510 W/m²·K)

ΔT = Variación de temperatura (438-288°K = 150°K)

S = Área zona transición (0.09 m²)

$$Q_c = 10.510 \frac{W}{m^2 \cdot K} * 150 \text{ } ^\circ K * 0.18 m^2$$

$$Q_c = 141.885 W$$

3.19.4.3.4.3. Pérdidas por convección zona de dosificado

$$Q_c = h * \Delta T * S \quad \text{Ec (217.c)}$$

Dónde

h = Coeficiente de convección zona de dosificado (10.557 W/m²·K)

ΔT = Variación de temperatura (463-288°K = 175°K)

S = Área zona de dosificado (0.09 m²)

$$Q_c = 10.557 \frac{W}{m^2 \cdot K} * 175 \text{ } ^\circ K * 0.09 m^2$$

$$Q_c = 166.273 W$$

Y se resume en la siguiente tabla 3.7.

Zona	Temperatura °C	Perdidas por convección W
I (Alimentación)	140	235.26
II (Transición)	165	141.885
III (Dosificado)	190	166.273

Tabla 3. 7 Resumen de pérdidas por convección

Fuente: Los autores

3.19.4.3.5. Incremento de la energía interna del polímero

La siguiente relación, permite determinar la cantidad teórica de calor necesario para elevar una masa de material a determinada temperatura y se lo deberá determinar para cada zona.

3.19.4.3.5.1. Incremento de energía de la zona de alimentación

$$E_{sp} = \frac{\delta m}{\delta t} Cp(Ts - Te) \quad Ec (218. a)$$

Dónde

E_{sp} = Cantidad de calor agregada al polímero (W)

$\frac{\delta m}{\delta t}$ = Flujo másico de polímero en la zona (25.Kg/h Capacidad de producción)

Cp = Calor específico del polímero (0.454 Kcal/kg °C Tabla 1.5)

Ts = Temperatura del polímero a la salida de la zona (140°C)

Te = Temperatura del polímero a la entrada de la zona (15°C)

$$E_{sp} = \frac{25kg}{h} 0.454 \frac{Kcal}{kg \text{ } ^\circ C} (140^\circ C - 15^\circ C)$$

$$E_{sp} = 1418.75 \frac{Kcal}{h} * \frac{1000cal}{1Kcal} * \frac{4.184 J}{1cal} * \frac{1h}{3600s} = 1648 \frac{J}{s} [W]$$

3.19.4.3.5.2. Incremento de energía de la zona de transición

$$E_{sp} = \frac{\delta m}{\delta t} Cp(Ts - Te) \quad Ec (218. b)$$

Dónde

T_s = Temperatura del polímero a la salida de la zona (165°C)

T_e = Temperatura del polímero a la entrada de la zona (140°C)

$$E_{sp} = \frac{25kg}{h} 0.454 \frac{Kcal}{kg \text{ } ^\circ C} (165^\circ C - 140^\circ C)$$

$$E_{sp} = 283.75 \frac{Kcal}{h} * \frac{1000cal}{1Kcal} * \frac{4.184 J}{1cal} * \frac{1h}{3600s}$$

$$E_{sp} = 329.780 \frac{J}{s} [W]$$

3.19.4.3.5.3. Incremento de energía de la zona de dosificado

$$E_{sp} = \frac{\delta m}{\delta t} Cp(Ts - Te) \quad Ec (218. c)$$

Dónde

T_s = Temperatura del polímero a la salida de la zona (190°C)

T_e = Temperatura del polímero a la entrada de la zona (165°C)

$$E_{sp} = \frac{25kg}{h} 0.454 \frac{Kcal}{kg \text{ } ^\circ C} (190^\circ C - 165^\circ C)$$

$$E_{sp} = 283.75 \frac{Kcal}{h} * \frac{1000cal}{1Kcal} * \frac{4.184 J}{1cal} * \frac{1h}{3600s}$$

$$E_{sp} = 329.780 \frac{J}{s} [W]$$

El incremento de energía interna del polímero, se resume en la siguiente tabla 3.8.

Zona	Temperatura °C	Perdidas por convección W	Energía
I(Alimentación)	15	140	1648
II (Transición)	140	165	329.780
III (Dosificado)	165	190	329.780

Tabla 3. 8 Resumen de incremento de energía

Fuente: Los autores

3.19.4.3.6. Determinación de la intensidad de corriente eléctrica

3.19.4.3.6.1. Intensidad de corriente eléctrica zona de alimentación

Considerando la zona de alimentación como un sistema abierto, sistema a través del cual existe un flujo másico de polímero. Ver figura 3.45.

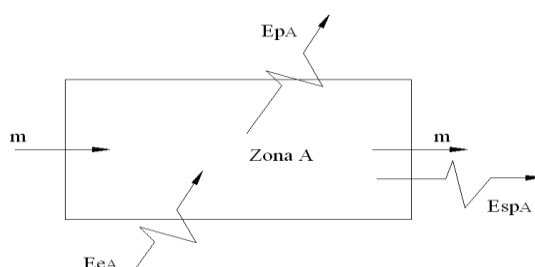


Figura 3. 45 Sistema de análisis para el balance energético de la intensidad de corriente

Al realizar el balance energético en el sistema de la figura, se tendrá la siguiente ecuación²⁷⁴.

$$E_{eA} = E_{PA} + E_{SPA} \quad Ec (219. a)$$

²⁷⁴ YANUS, A. Cengel, Op. Cit. P. 273

Dónde

E_{eA} = Energía que entra a la zona de alimentación (W)

E_{pA} = Energía que sale de la zona de alimentación al ambiente (W)

E_{spA} = Energía agregada al polímero en la zona de alimentación (1648 W; Tabla 3.8)

La energía que entra a la zona de alimentación proviene de los calefactores eléctricos.

La energía que sale de la zona de alimentación al ambiente, son pérdidas de calor por radiación y convección, las mismas que se calcularon en las secciones anteriores.

Entonces²⁷⁵:

$$E_{pA} = E_{PrA} + E_{PcA} \quad Ec \ (220. a)$$

Dónde

E_{prA} = Pérdidas de calor por radiación, zona de alimentación (138.297 W; Tabla 3.6)

E_{pc} = pérdidas de calor por convección, zona de alimentación (235.26 W; tabla 3.7)

$$E_{pA} = 138.297 W + 235.260 W$$

$$E_{pA} = 373.557 W$$

La energía agregada al polímero, se calculó en la sección 3.19.1.3.5, para la zona de alimentación de tal manera que:

$$E_{eA} = E_{pA} + E_{spA}$$

$$E_{eA} = 373.557 W + 1648 W$$

$$E_{eA} = 2020.557 W$$

²⁷⁵ YUNUS, A. Cengel, Op. Cit. P. 276

La intensidad de corriente que debe circular por la zona de alimentación en el estado estable será:

$$E_{eA} = I_A^2 * R \quad Ec (221)$$

$$I_A = \sqrt{\frac{E_{eA}}{R}} \quad Ec (221. a)$$

$$I_A = \sqrt{\frac{2020.557 W}{8\Omega}}$$

$$I_A = 15.892 Amp$$

3.19.4.3.6.2. Intensidad de corriente eléctrica zona de transición

$$E_{eT} = E_{pT} + E_{SPT} \quad Ec (219. b)$$

Dónde

E_{spT} = Energía agregada al polímero en la zona de transición (329.780 W; Tabla 3.8)

$$E_{pT} = E_{prT} + E_{pcT} \quad Ec (220. b)$$

Dónde

E_{prT} = Pérdidas de calor por radiación, zona de transición (93.149 W; Tabla 3.6)

E_{pcT} = Pérdidas de calor por convección, zona de transición (141.885 W; Tabla 3.7)

$$E_{pT} = 93.149 W + 141.885 W$$

$$E_{pT} = 235.034 W$$

$$E_{eT} = E_{pT} + E_{SPT}$$

$$E_{eT} = 235.034 W + 329.780 W$$

$$E_{eT} = 564.814 W$$

La intensidad de corriente para la zona de transición se determinará con la ecuación.

$$E_{eT} = I_T^2 * R \quad Ec (221)$$

$$I_T = \sqrt{\frac{E_{eT}}{R}} \quad Ec (221. b)$$

$$I_T = \sqrt{\frac{564.814 W}{8\Omega}}$$

$$I_T = 8.402 \text{ Amp}$$

3.19.4.3.6.3. Intensidad de corriente eléctrica zona de dosificado

$$E_{eD} = E_{PD} + E_{SPD} \quad Ec (219. c)$$

Dónde

E_{SPD} = Energía agregada al polímero en la zona de dosificación (329.780 W; tabla 3.8)

$$E_{pD} = E_{PrD} + E_{PcD} \quad Ec (220. c)$$

Dónde

E_{PrD} = Pérdidas de calor por radiación, zona de dosificación (121.632 W; Tabla 3.6)

E_{PcD} = Pérdidas de calor por convección, zona de dosificación (166.273 W; Tabla 3.7)

$$E_{pD} = 121.632 W + 166.273 W$$

$$E_{pD} = 287.905 W$$

$$E_{eD} = E_{PD} + E_{SPD}$$

$$E_{eD} = 287.905 W + 329.780 W$$

$$E_{eD} = 617.685 W$$

La intensidad de corriente de la zona de dosificación se establecerá con la siguiente ecuación:

$$E_{eD} = I_D^2 * R \tag{Ec (221)}$$

$$I_D = \sqrt{\frac{E_{eD}}{R}} \tag{Ec (221.c)}$$

$$I_D = \sqrt{\frac{617.685 W}{8\Omega}}$$

$$I_D = 8.787 \text{ Amp}$$

Los valores calculados se resumen en la siguiente tabla 3.9.

Zona	Energía W	Intensidad(Amp)
I (Alimentación)	2020.557	15.892
II (Transición)	564.814	8.402
III (Dosificado)	617.685	8.787

Tabla 3. 9 Resumen de intensidad de corriente eléctrica

Fuente: Los autores

Estas intensidades de corriente deben circular a través de las bandas calefactoras de cada una de las zonas del cilindro para tener un proceso continuo de peletizado.

3.19.4.4. Caja de control

El sistema eléctrico se refiere al panel de control y dispositivos eléctricos de la peletizadora.

En el interior del panel de control se encuentran contactores, bobinas, pirómetros, fusibles, cableados que distribuyen corriente a los componentes externos de la máquina, termo cuplas y dispositivos electrónicos. Ver figura 3.46.



Figura 3. 46 Caja eléctrica

3.19.4.4.1. Sistemas eléctricos

La importancia de los elementos eléctricos de mediación es incalculable, ya que mediante el uso de ellos se indican magnitudes eléctricas, como corrientes, carga, potencial y energía, o las características eléctricas de los circuitos, como la resistencia, la capacidad, y la inductancia.

Además que permite localizar las causas de una operación defectuosa en aparatos eléctricos, en los cuales, como es visto no es posible apreciar su funcionamiento en forma visual, como en el caso de aparato mecánico.

3.19.4.4.2. Resistencia tipo abrazadera

Este dispositivo permite la transferencia de energía térmica de un cuerpo a otro figura 3.47, necesario para lograr la función del plástico (LDPE), este elemento de la máquina se presenta como información complementaria ya que en la sección 3.19.1.2.1.3, se determinó la potencia (W) de las resistencias a utilizar.



Figura 3. 47 Resistencia tipo abrazadera

3.19.4.4.3. Termo cupla tipo J

Una termo cupla figura 3.48, es un transductor de la temperatura, es decir, un dispositivo que traduce una magnitud física en una señal eléctrica, está compuesta por dos alambres de metales diferentes, los que unidos convenientemente generan entre sus extremos libres una diferencia de potencia proporcional a la diferencia de temperatura entre ellos.



Figura 3. 48 Termo cupla tipo J

A partir de la información técnica recolectada en las etapas de revisión bibliográfica se ha recomendado para este caso un dispositivo con las siguientes especificaciones:

- Modelo AM 220/BM 220
- Ideam AM/BM 210 pero con el elementos de fijación alejado del cabezal.

3.19.4.4.4. Pirómetro análogo

Un pirómetro es un dispositivo capaz de medir la temperatura de una sustancia sin necesidad de estar en contacto con ella como se muestra en la figura 3.49.

El término se suele aplicar a aquellos instrumentos capaces de mediar temperaturas superiores a los 600 °C.

Con el mismo criterio aplicado en la etapa de selección de dispositivos se optó por un pirómetro análogo marca Murphy referencia 10-70514. Las especificaciones técnicas del mismo se presentan a continuación.

- Escala de la caratula sencilla 300 a 1300°F (150 a 700 °C)
- Dual 300 a 1200°F (150ª 649 °C)
- Alcance de la caratula :100°
- Exactitud 2% de la escala completa
- Iluminación: interna 12 ó 24 VCD
- Bisel : acero inoxidable
- Cuerpo: PVC



Figura 3. 49 Pirómetro análogo

3.19.4.4.5. Amperímetro

Es el instrumento que mide la intensidad de corriente eléctrica calculada en la sección 3.19.1.3.5.

Su unidad de medida es el Amperio y sus submúltiplos, el miliamperio y el microamperio los usos dependen del tipo de corriente, es decir, que cuando se mide corriente continua (CC), se usa un amperímetro de bobina móvil y para corriente alterna (CA), se usa electromagnéticos.

El amperímetro de CC puede medir CA, rectificando previamente la corriente esta función se puede destacar en un multímetro.

Los Amperímetros tienen resistencia de 1-10 Ohmios, con el fin de que no se disminuya la corriente a medir cuando se conecta a un circuito energizado.

Se sugiere la instalación de este dispositivo, ya que su finalidad principal es dar a conocer la cantidad de corriente que circula por un conductor en todo momento, y ayuda al buen funcionamiento de los equipos, detectando alzas y bajas repentinas durante el funcionamiento. Ver figura 3.50.



Figura 3. 50 Amperímetro

CAPITULO IV

4. COSTOS DE FABRICACIÓN

4.1. Estudio del mercado

Con el desarrollo del presente proyecto de titulación de pregrado se busca demostrar la viabilidad de invertir en una determinada actividad económica en este caso pellets de polietileno de baja densidad (LDPE), mediante el proceso de peletizado, cuyo producto pueden ser utilizados en posteriores aplicaciones de la industria, como la extrusión e inyección.

Además trata de que el riesgo de inversión sea calculado, partiendo del hecho evidente de que cualquier inversión entraña sea un riesgo. Con este estudio no se pretende eliminar el riesgo implícito que acarrea esta actividad, pero si cuantificar cuán grande o pequeño es el riesgo y hasta cierto punto tratar de minimizarlo.

4.2. Estudio de la oferta y la demanda

4.2.1. Oferta

En la actualidad los productos finales, pellets de LDPE son importados directamente al Ecuador por las empresas que los demandan; “la información específica de la cantidad total de importaciones de estos productos en el año 2011 fue de 45.000 toneladas de polietileno de acuerdo con datos del banco central”²⁷⁶.

De modo que la oferta internacional hacia nuestro país está regida por la demanda de las empresas nacionales.

²⁷⁶ http://www.elcomercio.com/negocios/empresas-industria-plastico-vilo-tributo_0_495550594.html

4.2.2. Demanda

Según diversas investigaciones realizadas se determinó, que la demanda de pellets en el país se incrementó de un 30 % y 60%, debido a la variedad en el precio del petróleo, este año la carestía de polietileno de baja densidad apunta a un 30%. Según el promedio de importación de los últimos tres años (2009-2011).

De acuerdo con la asociación de plásticos del Ecuador (ASEPLAS). Las empresas relacionadas al procesamiento del plástico reutilizado (pellets) son alrededor de 500, y unas 100 pequeñas y medianas empresas que reutilizan el producto (realizan el proceso de peletizado).

Una vez determinada la oferta nacional y demandas actuales se puede evidenciar que existe una demanda insatisfecha la cual pretende ser cubierta de alguna manera con la realización del presente proyecto.

4.2.2.1. Demanda insatisfecha por producción nacional

Permite establecer el balance entre la oferta nacional y la demanda actual del cliente, determinando la brecha existente, la cual fue la primera condición para determinar la realización de este proyecto.

4.2.3. Estudio técnico de la máquina peletizadora

El estudio técnico analizará la posibilidad de fabricar los sistemas de trasmisión de potencia y del cabezal, en función de un adecuado diseño para una producción óptima de pellets.

4.2.3.1. Localización del proyecto

El proyecto necesita estar ubicado lo más cerca del lugar de acopio, para evitar incrementos de transporte, de preferencia en un zona industrial por el tipo de transformador que se necesita para utilizar en esta máquina.

4.2.3.2. Determinación del tamaño

El tamaño del proyecto o capacidad instalada se expresará en unidades de producción por año.

Con la máquina que se va a diseñar, la capacidad instalada para la producción de pellets de LDPE será de 4 T.M/mes en un turno de 8 horas diarias durante 260 días al año de producción. Con esta capacidad la empresa auspiciadora, cubrirá una demanda de 48 T.M/año.

4.2.3.3. Ingeniería del proyecto

Existen varias etapas de la ingeniería que engloban la realización total de la producción de pellets, pero en este análisis se detallará lo relacionado a la producción de pellets en caliente.

4.2.3.4. Dotación de insumos

El desarrollo del proyecto se realizó de acuerdo a los materiales y partes existentes en el mercado local, con la finalidad que se tenga un normal abastecimiento de los mismos cuando se realice la construcción o una posterior reparación de los sistemas de la máquina.

4.2.3.5. Identificación del impacto ambiental

Existe la necesidad vital de proteger y preservar el ambiente ya que es, al mismo tiempo, materia prima y hábitat para el futuro desarrollo humano y productivo del país, con lo cual el desarrollo de este proyecto es un gran aporte en beneficio de la causa del cuidado del planeta, ya que en síntesis ecológica estos sistemas mecánicos pueden ser considerados como un reciclador de polímeros.

4.2.3.6. Personal requerido

El personal que se requerirá para una adecuada puesta en marcha de los sistemas de peletizado se detalla en la siguiente tabla 4.1:

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	NIVEL DE PREPARACIÓN	N° DE OPERADORES
Operador de maquinaria	Bachiller	1
Mantenimiento de maquinaria	Bachiller Técnico	1
Control de Calidad	Bachiller	1
Pruebas o Ensayos y Planificación	Ingeniero	1
	TOTAL :	4

Tabla 4. 1 Personal empleado para el proceso de peletizado

Fuente: Los autores

4.3. Análisis de costos

Los principales costos que intervienen en el presente proyecto se pueden desglosar de la siguiente manera:

- Costos por fabricación
- Costos de diseño

4.3.1. Costos por fabricación

De los costos por fabricación se pueden subdividir dos grandes grupos los cuales son: Costos directos y Costos por Carga Fabril.

4.3.1.1. Costos directos

Dentro de los costos directos o primos se encuentra el análisis de: Materia prima, Materiales directos, Mano de obra directa y Costos de máquinas herramientas.

4.3.1.1.1. Materia prima para la construcción

Los materiales que se adquirieron para la construcción de la máquina, se representan en la siguiente tabla 4.2

PROCESO DE PELETIZADO							
ELEMENTOS	MATERIAL	DIMENSIONES REQUERIDAS	PESO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO FINAL	FUENTE
			(kg)		USD/kg	USD	
Sistema de alimentación							
TOLVA DE ALIMENTACIÓN	Acero ASTM A-36 Plancha (e = 2 mm)	6000 x 5000 mm	20	1	1,15	A*	DIPAC

* Ver detalle P. 286

Sistema de transmisión de potencia (Caja - husillo)							
CHAVETA- EJE-HUSILLO	Acero AISI –SAE 1045 Barra cuadrada (12x12mm)	L= 75 mm	0.15	1	3.50	0,525	IBCA
EJE - MOTRIZ	Acero AISI- SAE 1018 Barra (Ø = 90mm)	L= 190 mm	4.73	1	2,56	13.00	IBCA
BRIDA MOTRIZ	Acero AISI-SAE 1018 Barra (Ø = 190mm)	L=25.4 mm	6.45	1	3.00	19.35	IBCA
FUNDA	Acero AISI –SAE 4140 Barra perforada (Ø ext= 200 Ø int= 160mm)	L=185 MM	8.33	1	7.38	61.48	IBCA
Sistema de descarga (Cabezal)							
PORTA MALLAS	Acero AISI-SAE 4140 Plancha e= 25.4	245 x 245 mm	14.43	2	4.35	125.54	DIPAC
MALLA	Acero AISI-SAE 4140 Plancha e= 25.4	150 x 500 mm	29.45	1	4.35	128.10	DIPAC
PLACA SEPARADORAS (GUÍAS)	Acero AISI-SAE 4140 Platina e= 25.4	245 x 50 mm	9.63	2	4.35	83.78	DIPAC
DADO	Acero AISI –SAE 4140 Platina e= 50	50 x 245 mm	4.905	1	4.35	21.34	DIPAC

TORNILLO CAMBIADOR DE MALLA	Acero AISI- SAE 1018 Barra (Ø = 50 mm)	L= 300 mm	4.77	1	2.56	12.21	IBCA
PLACA GUIA	Acero AISI –SAE 1045 Platina (60 x 60 mm)	L= 60 mm	1.69	1	3.50	5.90	IBCA
PLACA SOPORTE	Acero AISI-SAE 1045 Platina (60 x 60 mm)	L= 60 mm	2.95	1	3.50	10.30	IBCA
PLACA DE ARRASTRE	Acero AISI-SAE 1045 Platina (60 x 60 mm)	L= 60 mm	1.69	1	3.50	5.90	IBCA
MANIBELA	Acero AISI- SAE 1018 Barra (Ø = 20 mm)	L= 300 mm	0.66	1	2.56	1.69	IBCA
Estructura							
BASE	Perfil C 100 x 50 x 5 mm	2430 x 780 mm	57,0	1	1,20	B*	DIPAC
	Perfil en L (80x80x5 mm)	L= 780 mm	2,80	4	1,30	C*	DIPAC
MESA	Perfil en L (50x50x5 mm)	L= 550 mm	2,78	4	1,30	D*	DIPAC
APOYOS	AISI ASTM A-36 Plancha e= 25.4 mm	400 x 250	9.80	2	3.25	63.7	DIPAC

Tabla 4. 2 Costo de materia prima

Fuente: Los autores

Diversos materiales empleados fueron designados según un código específico para realizar un análisis de la cantidad total del elemento requerido, con lo cual el valor correspondiente por todo el conjunto puede ser evaluado de la siguiente manera.

- **A:** Se requiere una plancha completa de 2 mm (costo final= 77 USD)
- **B:** Se requiere 1 perfil en C de 100 x 50 x 5 mm (costo final= 95 USD)
- **C:** Se requiere 1 perfil en L de 50 x 50 x 5 mm (costo final= 89 USD)

Evaluando todos los valores pertinentes en esta sección se obtiene un subtotal de 905.82 USD.

4.3.1.1.2. Materiales directos (Comprados)

Los gastos efectuados directamente se muestran en la tabla 4.3.

DESCRIPCION	MATERIA NORMA	DIMENSIONES DESIGNACION	CANT .	VALOR UNIT	TOTAL (USD)	FUENTE
HUSILLO	AISI –SAE 4140	Ø = 63 mm L= 1260 mm	1	400	300	INDUSP
CILINDRO	AISI –SAE 4140	Øint = 63 mm Øext = 91 mm L= 1260 mm	1	490	400	INDUSP
MOTOR ELÉCTRICO	DIN 2098	15 HP/WEG	1	600	500	MHRQ
CAJA REDUCTORA	DIN 73517	20:1/SKF	1	800	600	MHRQ

POLEAS	Aluminio	Ø = 100 mm	1	22,00	22,00	INME
	Fundición	Ø = 205 mm	1	45,00	45,00	
BANDA EN V	Varios	B-63	2	9.10	18.2	INME
RODAMIENTOS	Acero/hierro		2	180	360	INME
RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	Varios	600 W	9	30	270	MHRQ
CAJA DE CONTROL	Varios	600 x 400 mm	1	100	100	MHRQ
CONTROLADOR DE TEMP	EBC	96x96	3	53.850	161.55	CECOIN
TERMOCUPLA	K/JEBC	2 mts. /Tornillo	3	6.90	20.70	CECOIN
CONTACTORES	LCI - D25	5 HP/220 V	3	15.00	45.00	CECOIN
PULSADOR	CSC R/V	22 mm MONO	6	1.85	11.10	CECOIN
LUZ ALARMA	CSC/SAS	Larga 220 V	6	2.00	12.00	CECOIN
ALAMBRE #12	Norma	20 mm	1	0.60	12.00	CECOIN
TORNILLERIA VARIA	ISO 8.8	M18 / M16/M20	30	20.8+14.28	42.00	KIWY
SUBTOTAL					2919.55	

Tabla 4. 3 Costo de materiales directos

Fuente: Los autores

4.3.1.1.2.1. Mano de obra directa

Los gastos se representan en la siguiente tabla 4.4

OPERARIO	COSTO H-H (USD/h)	FUENTE *
Tornero (To)	10,00	(J&M Hmns)
Fresador (F)	10,00	(J&M Hmns)
Soldador y armador (S)	10,00	(J&M Hmns)
Cortador (C)	10,00	(J&M Hmns)
Pintor (P)	10,00	(J&M Hmns)
Taladrador (T)	10,00	(J&M Hmns)

Tabla 4. 4 Costo de mano de obra directa

Fuente: Los autores

* Taller metal mecánico de la ciudad de Machachi, Calle Nueva España.

4.3.1.1.2.2. Costos de la máquina herramienta

Los gastos de máquina herramienta, se representan en la siguiente tabla 4.5, tomando como información proporcionada de talleres mecánicos industriales.

OPERARIO	COSTO H-M (USD/h)	FUENTE *
Torneado (To)	10,00	(J&M Hmns)
Fresado (F)	15,00	(J&M Hmns)
Soldadura y armado (S)	10,00	(J&M Hmns)
Amolado, corte (C)	5,00	DIPAC
Pintado (P)	10,00	(J&M Hmns)
Taladrado (T)	10,00	(J&M Hmns)
Limado (L)	3,00	(J&M Hmns)
Esmerilado (E)	2,00	(J&M Hmns)
Sierra manual (SM)	5,00	(J&M Hmns)
Taladro manual (TM)	5,00	(J&M Hmns)

Tabla 4. 5 Costo de máquinas herramientas

Fuente: Los autores

4.3.1.1.2.3.Costos de hora máquina (H-M) y hora hombre (H-H)

ELEMENTO	H.M EMPLEADAS										H.M EMPLEADAS										COSTO TOTAL (USD)	
	To	F	S	C	P	T	L	E	SM	TM	To	F	S	C	P	T	L	E	SM	TM	H.H	H.M
Tolva de alimentación	-	-	0.5	0.5	1	-	-	-	-	-	-	-	0.5	0.5	1	-	-	-	-	-	20	17.5
Chavetas	-	1	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	1	-	-	-	-	-	-	0.3	-	13.33	16.65
Eje motriz	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.00	10.00
Brida motriz	0.5	-	-	0.33	-	0.5	-	-	-	-	0.5	-	-	0.33	-	0.5	-	-	-	-	13.33	11.65
Funda	0.75	-	-	-	-	-	-	-	0.33	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-	0.33	-	10.80	9.15
Apoyos	-	-	0.33	0.5	0.33	0.5	-	-	-	-	-	-	0.33	0.5	0.33	0.5	-	-	-	-	16.60	11.60
Porta malla frontal	0.5	1	-	0.5	-	0.5	-	-	-	-	0.5	1	-	0.5	-	0.5	-	-	-	-	25.00	27.50
Malla	1.50	1.33	-	0.5	-	0.5	-	-	-	-	1.50	1.33	-	0.5	-	0.5	-	-	-	-	38.30	34.17
Porta malla inferior	0.5	1	-	0.5	-	0.5	-	-	-	-	0.5	1	-	0.5	-	0.5	-	-	-	-	25.00	27.50
Placas separadoras	-	0.5	-	0.5	-	0.5	-	-	-	-	-	0.5	-	0.5	-	0.5	-	-	-	-	17.50	17.50
Dado	0.5	0.5	0.33	0.17	-	1	-	-	-	-	0.5	0.5	0.33	0.17	-	1	-	-	-	-	25.00	26.56

Tornillo cambiador de malla	1	-	-	-	-	0.17	0.17	-	-	-	1	-	-	-	-	0.17	0.17	-	-	-	11.70	12.21
Placa guía	-	0.5	-	0.33	-	0.33	-	-	-	-	-	0.5	-	0.33	-	0.33	-	-	-	-	11.60	12.45
Placa soporte	-	0.5	0.5	0.33	-	0.33	-	-	-	-	-	0.5	0.5	0.33	-	0.33	-	-	-	-	16.60	17.45
Tuerca de arrastre	0.5	-	-	0.33	-	0.33	-	-	-	-	0.5	-	-	0.33	-	0.33	-	-	-	-	11.60	9.95
Manivela	0.75	-		0.17			-	-	-	-	0.75	-		0.17			-	-	-	-	9.20	8.35
Mesa	-	-	2	0.5	1	0.5	-	-	0.75	-	-	-	2	0.5	1	0.5	-	-	0.75	-	47.50	41.25
Base	-	-	3	0.75	1	0.5	-	-	1	-	-	-	3	0.75	1	0.5	-	-	1	-	62.5	53.75
SUBTOTAL																					390.96	362.17

Tabla 4. 6 Costo de hora máquina (H-M) y hora hombre (H-H)

Fuente: Los autores

DESCRIPCIÓN	COSTO (USD)
Materia prima	905.82
Materiales directos	2919.55
Mano de obra directa	390.96
Costo de Máquinas Herramientas	362.17
SUBTOTAL (USD)	4578.50

Tabla 4. 7 Resumen de costos directos

Fuente: Los autores

4.3.1.2. Costo por carga fabril

Dentro de los costos por carga fabril se encuentra el análisis de: Materiales indirectos, Mano de obra indirecta, Otros gastos indirectos, Depreciación y Mantenimiento.

Y se representa en la tabla 4.8 - 4.9.

DESCRIPCIÓN	COSTO (USD)
Materiales indirectos	50
Mano de obra indirecta (Calibración Trans)	100
SUBTOTAL (USD)	150

Tabla 4. 8 Costos indirectos por carga fabril

Fuente: Los autores

DESCRIPCIÓN	COSTO (USD)
Costo Directo o primo	4578.50
Carga Fabril	150
SUBTOTAL (USD)	4728.50

Tabla 4. 9 Costos directos por carga fabril

Fuente: Los autores

4.3.2. Costos por diseño

Considerando la guía del proyecto y el tiempo invertido en la investigación y análisis de la información, cálculos respectivos y elaboración de planos, se considera un monto de 1.000 USD. Los valores estimados para la construcción de la máquina peletizadora: Costos de fabricación, costos por diseño, se representan en la tabla 4.10.

DESCRIPCIÓN	COSTO (USD)
Costos de fabricación	4728.50
Costos de diseño	1.000
TOTAL (USD)	5728.50

Tabla 4. 10 Resumen del costo total del proyecto

Fuente: Los autores

Considerando el costo final es una muy buena opción la realización del proyecto ya que máquinas con funcionamientos relacionados tienen un valor promedio de 10.000 USD²⁷⁷.

²⁷⁷ http://venta.donkiz-co.com/venta/maquinas_peletizadoras_de_plastico.htm

CAPITULO V

5. MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD DE LA MÁQUINA

5.1. Plan de mantenimiento de la peletizadora

Llevar un eficiente plan de mantenimiento, es un factor muy importante en el proceso de peletizado.

El mantenimiento preventivo es una poderosa herramienta para minimizar las pérdidas de tiempo. No nos indica que no vamos a tener problemas con la máquina, pero si minimiza la oportunidad de mayores contratiempos que puedan producir paradas en la producción.

5.1.1. Chequear el aceite

La condición del aceite lubricante, es uno de los indicadores más claros de la salud de la caja reductora de la peletizadora.

La contaminación o un nivel bajo de aceite, pueden provocar fácilmente daño críticos en las partes de la máquina. No es común que las altas temperaturas y presiones del aceite caliente sean síntomas de detención del proceso.

Es una buena costumbre medir la temperatura y presión del aceite, para tener alarmas para estos parámetros. Niveles altos en la presión (700MPa- 900MPa) y temperatura no necesariamente son indicadores de algún mal funcionamiento en la caja reductora, debido a que pueden ser provocadas por algún filtro en mal estado, o simplemente por suciedad del aceite.

El aceite de la máquina debe ser cambiado periódicamente, o al menos cada 1500 horas de trabajo²⁷⁸.

Cuando se cambia el aceite, es importante revisar el remanente. Si se encuentran partículas de bronce o de metal, puede ser un indicador de que está fallando algo en el anillo de seguridad, mientras que las partes metálicas pueden indicar de que hay un problema en los rodamientos o en algún diente de los engranes.

5.1.2. Ruidos inusuales

Ruido excesivo en la entrada, en el medio o en los rodamientos del eje indican que alguna parte esta defectuosa, y que solamente causara más daño si no es cambiada rápidamente.

Lo mismo se aplica para sonidos inusuales en la caja, o en las bandas, si se escucha un sonido cíclico, contabilizar el número de ciclos por revolución del eje motriz.

Si el ruido tiene un aproximado de 20 ciclos por revolución del eje, indica un problema en el eje de entrada de alta velocidad. El monitoreo de vibraciones puede darnos un análisis más detallado del sistema motriz.

5.1.3. Monitoreo de Vibraciones

La técnica de monitoreo de vibraciones, es muy útil para el análisis de los problemas en las máquinas. Los sistemas de análisis de vibraciones analizan los sonidos de los rodamientos y de los engranes de la caja, para determinar los sonidos que están presentes, estos indican fallas independientes en los elementos de las máquinas.

²⁷⁸ SACRISTÁN, Francisco, *Manual de mantenimiento integral en la empresa*, Primera edición, Editorial Fundación Confemetal, Madrid España, P. 359

Los sistemas de monitoreo de vibraciones, son útiles para al menos dos propósitos:

Primero pueden alertar al personal de la empresa, sobre algún rodamiento roto, antes de que una falla catastrófica ocurra, lo que ayuda a minimizar el costo de reparación y las paradas de la producción. Es posible detectar problemas en la caja un mes antes de que el problema sea fatal.

Segundo, el monitoreo permite realizar las tareas de mantenimiento cuando son necesarias. No se pierde tiempo de producción en el desmonte de la caja cuando no es necesario reemplazar ninguna parte.

Considerando el alto costo de las paradas de producción en peletizadora grandes, en el rango de diámetro 200 a 400 mm, puede ser económico usar un sistema de monitoreo de vibraciones para minimizar las paradas en el sistema de producción.

5.1.4. Motores y Bandas

Los motores de corriente directa, necesitan más mantenimiento que los de corriente alterna. Los primeros síntomas de problemas en el motor, son ruido excesivo, daño en las bujías, decoloración en la carcasa, alta temperatura, flujo de aire inadecuado, y vibración.

Muchos motores pueden estar tapados con polvo, estar pendiente sobre la revisión de acumulación de polvo en la carcasa del motor. Si la máquina no está ventilada, se puede adherir una película pegajosa en el motor, reduciendo su eficiencia, y causando su falla posteriormente.

Una manera rápida de revisar la tensión en las bandas, es deflectándolas en media vuelta con el pulgar. Si la tensión de las bandas es correcta, no se debe deflectar más de 12 mm.

Revisar todas las bandas en busca de rajaduras, roturas o dobladuras, y reemplazar las bandas dañadas; asegurarse de cambiar todo el juego. Una banda operando en condiciones normales tiene una vida útil de 1000 horas de trabajo.

Una vez instaladas las nuevas bandas deben ajustarse durante el primer mes de operación, hasta constatar el buen funcionamiento.

5.1.5. Partes Sueltas

Es usualmente buena idea, tener un husillo extra disponible, es importante tener en bodega relés para el motor (para motores de corriente directa), bandas, y fusibles. Otras partes importantes que se deben tener disponibles son, aceite extra, calentador del cabezal, sensores de temperatura del cilindro-cabezal.

5.1.6. Husillo y Cilindro

Los daños en el husillo o en el cilindro, comúnmente son una pérdida considerable en la producción, el desgaste de estos, usualmente es reflejado como un incremento en la temperatura de la mezcla y fluctuaciones en la presión.

Los husillos usualmente se desgastan más rápidamente que los cilindros, cuando se trabaja con compuestos abrasivos (HDPE, PVC), el husillo y el cilindro se deben revisar más frecuentemente.

La parte trasera del tornillo se asienta en un agujero de seguridad, en el ensamble de la caja, recuerde que también se debe limpiar este acoplamiento.

La contaminación en este lugar, cause que el husillo trabaje de una manera excéntrica, y que desgaste los acoplamientos, la sección de alimentación y la línea del cilindro, se deba lubricar esta área antes de instalar el nuevo husillo.

5.2. Plan de Mantenimiento Integral de la peletizadora.

Es de gran importancia para la educación y para la industria en general, la introducción de las principales tareas de mantenimiento que se deben llevar a cabo con el fin de preservar el mayor tiempo posible los activos.

Dentro de este capítulo, en base a una revisión bibliográfica y de experiencia, se decidió subdividir las tareas de mantenimiento en 3 partes: Mensual, Cuatrimestral y Anual²⁷⁹.

Estas tareas de mantenimiento tienen la intención de especificar las principales partes o elementos que suelen fallar a lo largo del ciclo de vida de las peletizadoras; por otro lado, se complementan con los formularios de requerimientos de mantenimiento, que es un documento en el que se solicitarán materiales o insumos luego de realizar los chequeos o revisiones especificados en los Check list. (Anexo G)

Estas listas de mantenimiento deberán ser llenadas en las fechas especificadas de manera que se garantice la confiabilidad del equipo en todo momento.

5.2.1. Check list Mensual.

Para el desarrollo de esta sección hemos considerado las siguientes tareas:

- a) Verificar visualmente la ausencia de materiales extraños en la camisa del motor; el fundido de pellets de plástico dentro de la carcasa del motor puede ocasionar daños en el aislamiento del motor.

²⁷⁹ SACRISTÁN, Francisco, Op. Cit. P. 537

- b) Asegurarse de que las bandas estén colocadas correctamente y con la tensión necesaria; esto puede ocasionar una baja en la eficiencia de transmisión de potencia y falla prematura de las bandas.
- c) Verificar que la temperatura de la zona de alimentación no exceda los 140°C; una excesiva temperatura en la zona de alimentación puede causar el fundido repentino del material y el bloqueo del canal de alimentación.
- d) Verificar la productividad normal de la peletizadora, esta variable, puede llevarnos al análisis de fallas integrales de la máquina. Es de suma importancia tomar el registro de la productividad de la peletizadora para los diferentes materiales con las que se trabaje, a fin de que sea el punto de referencia de posibles desgastes o fallos en el equipo.
- e) Limpiar el filtro o toma de aire del ventilador del motor; esto puede causar problemas de calentamiento en el motor eléctrico.
- f) Verificar que las botoneras de encendido y apagado esté junto al equipo y perfectamente legible; revisar que la guía de encendido y apagado del equipo se encuentren disponibles para cualquier persona que use el equipo y del mismo modo que se encuentre en excelente estado.
- g) Asegurarse que los sensores de las termocuplas estén haciendo contacto de manera correcta; verificar que éstas hagan el contacto necesario para garantizar una medida más correcta de la temperatura.

En el (Anexo G); se puede observar el formulario del Check list Mensual, así como el formulario de Requerimientos de Mantenimiento, en caso de necesitarse insumos o elementos de reposición. Estos documentos quedarán establecidos en los procedimientos de Mantenimiento de la peletizadora.

5.2.2. Check list Cuatrimestral.

Las tareas encargadas de chequeo cuatrimestral son las siguientes:

- a) Chequear el funcionamiento correcto del ventilador del motor eléctrico
Revisar esto para evitar el calentamiento excesivo del motor.
- b) Verificar que no se produzcan chispas en las escobillas del motor; si es que el motor es de corriente directa.
- c) Chequear la temperatura del motor, no debe exceder los 65 °C; si excede esta temperatura, probablemente se tenga problemas con el aislamiento del motor, falla en los rodamientos.
- d) Asegurarse que la vibración del motor no sea excesiva; una vibración excesiva, generalmente es señal de que los rodamientos están comenzando a tener problemas. Con esto se puede planificar para que el cambio de los mismos no interrumpa tareas de producción importantes.
- e) Verificar el amperaje de todas las resistencias eléctricas; este amperaje tiene que ser el mismo indicado en la placa del calentador.
- f) Inspección visual del estado de los engranajes de la caja reductora en busca de engranes picados o fallas puntuales en la superficie de los mismos.
- g) Revisar el aceite de la caja reductora de velocidad en busca de partículas extrañas; para esto se debe tomar 2 muestras y realizar el análisis en busca de partículas metálicas o de otros materiales extraños.

- h) Lubricar el acople del tornillo con el eje hueco del reductor de velocidad; se debe realizar esta labor cada vez que se desmonta el husillo para registrar el desgaste; la presencia de material extraño en esta zona puede causar excentricidad en el giro del husillo y aumentar el desgaste.
- i) Revisar la placa rompedora en busca de fallas por fatiga; monitorear si existe una deflexión considerable en este elemento que al fallar puede causar taponamiento del canal de flujo y mucho tiempo muerto de producción.
- j) Limpieza general del panel de control con el fin de evitar cortocircuitos o incrementar la resistencia de los elementos.
- k) Revisar el ajuste de los empalmes eléctricos, contactores y fusibles para asegurar el correcto contacto de los elementos.
- l) Revisar el sistema de cableado de calentadores, termocuplas generalmente este cableado suele aflojar sus uniones debido a la manipulación externa o pequeños accidentes en la reparación de otros elementos externos de la peletizadora.
- m) Revisar el sistema de tuberías de agua de enfriamiento para reparar cualquier tipo de fuga o daño externo que tengan las tuberías de agua.

Los Check list cuatrimestrales y los insumos en caso de ser necesarios se encuentran en (Anexo G).

5.2.3. Check list Anual.

Para el mantenimiento anual, se consideran oportunas las siguientes tareas:

- a) Desmontaje de sellos y rodamientos del reductor de velocidad; cada año se aconseja desmontar el reductor de velocidad, para inspeccionar el estado de los rodamientos y sellos. En caso de observarse daños significativos, se deben reemplazar y llevar un registro del número de horas de trabajo de cada uno de los rodamientos a fin de llevar un estimado del tiempo en que se deben reemplazar para propósitos de mantenimiento predictivo.
- b) Desmontaje de transmisión del motor de cortadora de pellets; realizar esta tarea cada año para verificar el estado de los engranajes y rodamientos.
- c) Cambio de aceite del reductor de velocidad según las especificaciones del fabricante.
- d) Cambio de rodamientos del motor eléctrico y lubricación; se aconseja realizar esta labor al menos una vez al año, ya que los rodamientos del motor son los que están más expuestos a las cargas cíclicas.
- e) Verificar el ajuste de los terminales del motor y revisar el estado del aislamiento.
- f) Inspección visual del grado de desgaste en la zona de alimentación del cilindro de la peletizadora.
- g) Desmontaje y registro de las medidas del cilindro y el husillo; Inspeccionar también el husillo en busca de zonas picadas o imperfecciones en la superficie, todas estas mediciones deben ser colocadas en un orden cronológico en la bitácora de la máquina.
- h) Cambio de resistencias eléctricas dañadas; luego de realizar la verificación del amperaje de la máquina, cambiar las resistencias que no cumplen con la lectura especificada en placa. Los puntos fríos causan una caída de presión excesiva, castigando de esta manera la productividad general de la máquina.

- i) Limpieza del asentamiento de los sensores de temperatura; el óxido depositado anualmente en la zona de asentamiento de los sensores puede afectar gravemente la exactitud de la lectura realizada por lo que se recomienda que estos asentamientos sean limpiados y lijados una vez al año.
- j) Verificar que todos los pernos del cabezal estén correctamente ajustados; Realizar un ajuste general y lubricación de las conexiones empernadas.
- k) Reemplazar contactores dañados y verificar el ajuste de las conexiones del panel de control.
- l) Revisar el correcto funcionamiento de los breakers de seguridad de la máquina.

El resumen de todas las tareas anuales de mantenimiento se encuentra como un Check list de mantenimiento Anual. (Anexo G);

Se recomienda que luego de cada chequeo, ya sea mensual, cuatrimestral o anual, se proceda al llenado del formulario de requerimientos de mantenimiento a fin de realizar los trámites necesarios para la compra de los insumos o elementos necesarios para garantizar la confiabilidad de la maquinaria. Todos estos documentos se pueden encontrar en los anexos de esta tesis.

5.3. Sugerencias de seguridad en operación

En procesos de peletizado, las altas presiones y temperaturas, pueden provocar ciertas precauciones respecto a la seguridad personal.

Es muy importante tener procedimientos escritos, para el encendido, arranque, apagado y limpieza de la peletizadora, estos procedimientos deben ser comunicados claramente a todo el personal y operadores, y debe ser seguido estrictamente.

Los peligros de seguridad más comunes son el calor, las partes móviles, electricidad, pesos y altas presiones.

5.3.1. Calor

Cuando se trabaja con partes calientes, se deben utilizar guantes resistentes al calor y otras protecciones como lentes y zapatos de seguridad, hay que ser muy cuidadoso con el plástico caliente, debido a que el plástico se enfría muy lentamente, este puede causar quemaduras si se tiene contacto con la piel, las superficies calientes deben estar señaladas con barreras o avisos de seguridad.

5.3.2. Partes Móviles

Las partes móviles deben estar protegidas del contacto del operador con estas. Estas partes deben estar conectadas a un sensor el cual apague la máquina cuando se quite la protección.

Todas las peletizadoras deben estar equipadas con paradas de emergencia, que apaguen el tornillo, medidas similares se deben tomar para drenar la máquina.

Se debe tener cuidado con las parte móviles, como es las poleas del motor y de la caja para lo cual se utilizara protección para estas partes.

5.3.3. Electricidad

Cuando se va a instalar o construir un sistema eléctrico, estos deben cumplir con códigos eléctricos, toda instalación eléctrica debe mantenerse en buen estado, deben evitar el contacto con partes de plástico caliente, con cables resistentes.

Los calentadores deben estar sellados, todos los cables deben estar encerrados, y la integridad de la superficie debe ser revisada periódicamente.

5.3.4. Pesos

Los componentes de la peletizadora como husillo, cilindro y cabezal, son pesados, tratar el manejo de estos con maquinaria necesaria, en caso de necesitarla.

5.3.5. Presión

Bajo ciertas condiciones, se puede desarrollar una presión excesiva en la peletizadora, esto puede pasar si el husillo no está girando. Algunos plástico, liberan gases cuando son dejados en la máquina a altas temperaturas, cuando la presión del gas no puede escapar, el cilindro puede explotar.

Es importante darse cuenta que las temperaturas de los plásticos dentro de la máquina, pueden mantenerse por mucho más tiempo después que se baja la temperatura, especialmente en husillos de gran diámetro.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones y recomendaciones se realizaron en base a los estudios realizados, y los resultados obtenidos en el desarrollo de este proyecto.

Conclusiones

- El diseño y la construcción de la máquina peletizadora, se la hizo a partir del estudio del polietileno de baja densidad, cumple con los requerimientos planteados, con una producción de 25 kg /h, con un rango de tolerancia de 2kg/h, la primera hora de trabajo es donde se debe calibrar la máquina para poder conseguir una producción constante.
- Debido al movimiento relativo entre el tornillo y el cilindro, el material se mezcla íntimamente, se calienta por efecto, no sólo del calor aplicado al cilindro, sino, sobre todo, por la energía disipada por los esfuerzos internos.
- En la construcción de la máquina peletizadora se utiliza material (AISI-SAE 4140), en elementos como el cilindro, husillo , y cabezal que van a soportar una presión de 750MPa y temperatura de 190 °C.
- El sistema de transmisión de potencia, está basado en la reducción de velocidad y número de revoluciones por minuto para aumentar el torque requerido en la peletización del polietileno de baja densidad.

Recomendaciones

- Para conseguir la producción deseada se debe tener la materia prima suficiente en la bodega de acopio, ya que si la máquina deja de trabajar, el tiempo perdido es un gasto para la empresa por la cantidad de energía que se necesita para su funcionamiento y sobre todo no se obtendría la producción planteada.
- Es muy importante el método teórico para la selección de las resistencias eléctricas, tipo abrazadera, para evitar sobredimensionamientos y gastos innecesarios para procesos en los que no es necesaria una excesiva carga calorífica.
- Para un buen funcionamiento de la máquina peletizadora, es necesario que el cilindro alcance una temperatura interior de 190°C, esto garantiza una perfecta homogenización y fusión del polietileno, que se verificara al salir los pellets del dado peletizador.
- Después de una jornada de trabajo la máquina, debe quedar sin material en el interior del cilindro, ya que como se analizó el material se enfría y se solidifica, y al tratar de poner en marcha al día siguiente, el husillo puede romperse por la potencia del motor, para resolver este inconveniente se utiliza un soplete y se calienta el cilindro hasta que el husillo pueda girar fácilmente.

GLOSARIO

Carbonización.- Se denomina carbonización al proceso en virtud del cual restos orgánicos acumulados en estratos de la corteza terrestre en épocas pasadas, van perdiendo hidrógeno, oxígeno y nitrógeno y aumentando su proporción de carbono.

Coladura.- Acción y efecto de colar líquidos.

Degradación.- La degradación es un proceso simple antrópico que afecta negativamente la biofísica del suelo para soportar vida en un ecosistema.

Durómetros.- Un durómetro es un aparato que mide la dureza de los materiales, existiendo varios procedimientos para efectuar esta medición. Los más utilizados son los de Rockwell, Brinell, Vickers y Microvickers.

Fluidos reopécticos.- Son propiedad de algunos fluidos no newtonianos de mostrar variaciones dependientes con el tiempo de su viscosidad; así, cuanto más tiempo se encuentra el fluido en cuestión bajo la influencia de esfuerzos cortantes, mayor es su viscosidad.

Hebra.- Fibra o filamento de una materia que tiene forma de hilo.

Heterogeneidad.- La heterogeneidad se refiere a la variabilidad que existe entre los resultados de los distintos estudios incluidos.

Hidrocarburos alifáticos.- Los hidrocarburos alifáticos son compuestos orgánicos constituidos por carbono e hidrógeno cuyo carácter no es aromático.

Olefínicos.- Los hidrocarburos olefínicos (o no saturados) tienen características muy diferentes de los parafínicos. Se caracterizan por su contenido de hidrógeno ligeramente

más bajo y por un doble enlace entre los átomos de carbono que, a diferencia de las parafinas, permite añadir otras sustancias y eliminar la insaturación.

Pigmentos.- Un pigmento es un material que cambia el color de la luz que refleja como resultado de la absorción selectiva del color.

Plástico higroscópico.- Son higroscópicos todos los compuestos que atraen agua en forma de vapor o de líquido de su ambiente, por eso a menudo son utilizados como desecantes.

Polidispersidad.- La polidispersidad indica el grado de variación, o amplitud de una campana gaussiana que representa los pesos moleculares de un polímero.

Polimerización.- La polimerización es un proceso químico por el que los reactivos, monómeros (compuestos de bajo peso molecular) se agrupan químicamente entre sí, dando lugar a una molécula de gran peso, llamada polímero, o bien una cadena lineal o una macromolécula tridimensional.

Poliolefinas.- Las poliolefinas, igual que el resto de los polímeros, no son productos definidos por unas especificaciones concretas sino que cada fabricante oferta una amplia gama de grados con propiedades diferentes adaptadas a las aplicaciones concretas en que van a ser usados. Es importante, por ello, no pensar en las poliolefinas como sustancias químicas sino como materiales, tan variados en sus propiedades como puedan serlo la madera o el acero.

Presurización: Elevación de la presión en el interior de un recipiente o un recinto cerrado por encima de la presión exterior

Reología: estudio de la deformación y el flujo de la materia.

Resina.- Nombre de diversas sustancias orgánicas, de origen vegetal, sólidas o semisólidas, transparentes o traslúcidas, insolubles en agua, que arden produciendo humo.

Termoendurecibles.- Los termoestables son cadenas de polímeros con enlaces altamente cruzados, que forman una estructura de red tridimensional. Ya que las cadenas no pueden girar ni deslizarse, estos polímeros poseen buena resistencia, rigidez y dureza.

Termoplásticos.- Un termoplástico es un plástico que, a temperaturas relativamente altas, se vuelve plástico, deformable o flexible, se derrite cuando se calienta y se endurece en un estado de transición vítrea cuando se enfría lo suficiente.

Torque.- Cuando se aplica una fuerza en algún punto de un cuerpo rígido, dicho cuerpo tiende a realizar un movimiento de rotación en torno a algún eje.

Toxicidad.- La toxicidad es una medida usada para medir el grado tóxico o venenoso de algunos elementos.

Viabilidad económica.- El análisis de la viabilidad económica pretende determinar la racionalidad de las transferencias desde este punto de vista. Para ello es necesario definir el coste de la solución óptima, entendiendo por tal la que minimiza el coste de satisfacción de todas las demandas.

Viscosidad.- La viscosidad es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal.

SIMBOLOGÍA

H_a :	Altura del filete al inicio de la zona de alimentación (mm).
H_d :	Altura del filete al final de la zona de dosificación (mm).
H_t :	Altura del filete en la zona de transición (mm).
L :	Longitud del husillo (mm).
θ :	Ángulo del filete (grados).
γ :	Velocidad de cortadura (1/s).
P :	Presión (Mpa).
μ_a :	Viscosidad aparente (Mpa*s)
Q_f :	flujo de fricción (m ³ /s).
Q_p :	flujo de presión (m ³ /s).
Q_T :	Flujo total (m ³ /s).
ΔP :	Variación de presión (Mpa).
P_F :	Potencia en base al flujo (KW).
Z_e :	Pérdidas por instalaciones eléctricas (KW).
Z_m :	Pérdidas en motores y generadores (KW).
P_T :	Potencia en base al flujo (KW).
P_R :	Potencia real en base al flujo (KW).
P_D :	Potencia de diseño (KW).
P_{RM} :	Potencia real del motor (KW).
R_t :	Relación de transmisión.
n_e :	Velocidad de entrada al reductor (rpm).
n_s :	Velocidad de salida del reductor (rpm).
d_1 :	Diámetro de la polea conductora (mm).
d_2 :	Diámetro de la polea conducida (mm).
V :	Velocidad de la polea conducida (m/s).
C :	Distancia aproximada entre los centros de la polea (mm).
L_b :	Longitud de la banda (mm).
N_b :	Número de bandas.
P_r :	Potencia requerida operación (KW).

P_n : Potencia nominal de cada banda (KW).
 C_1 : Factor de corrección por ángulo de abrazamiento.
 C_2 : Factor de corrección por sobrecargas.
 C_3 : Factor de corrección por longitud.
 W : Velocidad angular (rpm).
 f_{rb} : Coeficiente de rozamiento para bandas.
 θ_{b2} : Ángulo de envolvente de la banda con la polea conductora.
 Kc : Factores de corrección de la tensión centrífuga de bandas trapeziales.
 f_b : Factor de correa o cadena.
 T : Torque (N*m).
 ρ : Densidad del acero (Kg/m³).
 P_i : Presión interna (MPa).
 σ_T : Esfuerzo máximo de fluencia del material (MPa).
 k' : Constante geométrica (mm³).
 S_y : Límite de fluencia del material (MPa).
 Q : Flujo volumétrico (mm³/s).
 q : Carga distribuida (KN/ mm).
 ΔP : Gradiente de presión (N/mm²).
 $T_{m\acute{a}x}$: Esfuerzo cortante máximo (MPa).
 J_p : Momento polar de inercia (m⁴).
 α : Ángulo de torsión (rad).
 G : Módulo de rigidez del material (GPa).
 N_s : Factor de seguridad.
 $\sigma'x \acute{m}ax.$: Esfuerzo normal máximo (KN/mm²).
 $\tau_{xy} \acute{m}ax.$: Esfuerzo cortante máximo (KN/mm²).
 σ_{xm} : Esfuerzo de compresión medio (KN/mm²).
 σ_{xa} : Esfuerzo alternante (KN/mm²).
 τ_{xym} : Esfuerzo de torsión medio (KN/mm²).
 τ_{xya} : Esfuerzo de torsión alternante (KN/mm²).
 I : Momento de inercia (mm⁴).
 S_e : Límite de resistencia a la fatiga (MPa).

Se' : Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria (MPa).
 Ka : Factor de modificación de la condición superficial,
 Kb : Factor de modificación del tamaño.
 Kc : Factor de modificación de la carga.
 Kd : Factor de modificación de la temperatura.
 Kc : Factor de confiabilidad.
 Kf : Factor de modificación de efectos varios.
 KL/r : Razón de esbeltez.
 KL : Longitud Efectiva (mm).
 E : Módulo de elasticidad.
 Ssy : Resistencia al cortante (KN/mm^2).
 f_s : Factor de esfuerzo estáticos.
 Co : Capacidad de carga estática (KN).
 Po : Carga estática equivalente (KN).
 Fr : Carga radial (KN).
 Yo : Factor axial.
 Fa : Carga axial (KN).
 f_L : Factor de esfuerzo dinámico.
 C' : Capacidad de carga dinámica teórico.
 f_n : Factor de velocidad.
 Sp : Resistencia de prueba (120K).
 Fp : Carga de prueba (N).
 Fi : Fuerza de precarga (N).
 τ : Tensión cortante media (N/mm^2).
 δ : Densidad del material (kg/m^3).
 σ : Esfuerzo de tensión (Mpa).
 kb : Constante de rigidez (N/mm).
 km : Constante de resorte (N/mm).
 Eec : Energía que entra al cilindro (W).
 Eac : Energía almacenada por el cilindro (W).
 Epc : Energía que sale del cilindro hacia el exterior (W).

- Esc*: Energía que sale del cilindro hacia el husillo (W).
- Eeh*: Energía que entra al husillo, proveniente del cilindro (W).
- Eah*: Energía almacenada por el husillo (W).
- Cp*: Calor específico del material (Kcal/kg °C).
- $\frac{\delta T_c}{\delta t}$: Variación de temperatura respecto al tiempo.
- T ∞* : Temperatura del medio ambiente (°C).
- h_c*: Coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m²°C).
- h_r*: Coeficiente de transferencia de calor por radiación (W/m²°C).
- T_s*: Temperatura de la superficie del cuerpo sólido (°C).
- γ* : Viscosidad cinemática (m²/s).
- Pr*: Número de Prandtl.
- K*: Conductividad térmica (W/ m °C).
- β* : Coeficiente de expansión térmica (1/°K).
- ΔT* : Variación de temperatura (°C).
- A*: Área de transferencia de calor (m²).
- ϵ* : Emisividad de la superficie.
- σ* : Constante de Stefan Boltzman (W/m² K⁴).
- Q*: Potencia calórica (W).
- I*: Intensidad de corriente (Amp).
- E_{e,s}*: Energía que entra al sistema (W).
- E_{s,s}*: Energía que sale del sistema (W).
- $\frac{\delta m}{\delta t}$: Flujo másico del polímero.

BIBLIOGRAFIA

LIBROS:

- ASTIVERA. Armando, Metodología de la Investigación, Edit. Kapelusk, Cap. III, Buenos Aires.
- CARVAJAL. Lizardo, Metodología de la investigación, Edit. Futuro, Cali, 1994.
- DECKER. K, Elementos de máquinas, Primera edición, Editorial Urmo, México, 1970.
- FAIRES. V.M, Diseño de elementos de máquinas, Cuarta edición, Editorial Montaner y Simón S.A, Barcelona.
- FRANK. Handle. Extrusion in ceramics, Segunda edición, Editorial Springer, New York, 2007.
- GARZA. Mercado Ario, Manual de técnicas de investigación, México, DF. 1979.
- GROOVER. Mikell, Funcionamiento de manufactura moderna: Material, proceso, y sistema, Primera edición, Editorial Pearson Prentice hall, México, 2005.
- HOLMAN. J.P, Transferencia de calor, Primera edición, Editorial Mc Graw Hill, México 1986.

- McDONALD. Fox, Mecánica de los fluidos, Segunda edición, Editorial McGraw Hill, México, 1970.
- MINK. W, El plástico en la industria, Volumen 2 Inyección de plástico, Editorial G Gili S.A, México 1990.
- MOTT. Robert, Diseño de elementos de máquinas, Cuarta edición, Editorial Pearson, México, 2006.
- NORTON. L Robert, Diseño de máquinas, Primera edición, Editorial Pearson, México, 1994.
- NURIA. María, Tecnología de procesos y transformación de materiales. Primera edición, Editorial Virtuals, España, 2005.
- PRIBBLE. Dubois, Enciclopedia de la química industrial, Tomo 5, Editorial Bilbao, 1972.
- RAVANET. J, Silos, Editores Técnicos Asociados, Barcelona 1977, P. 9
- SACRISTÁN. Francisco, Manual de mantenimiento integral en la empresa, Primera edición, Editorial Fundación Confemetal, Madrid España.
- SHIGLEY. J.E, Diseño en Ingeniería Mecánica, Cuarta edición, Editorial Mc Graw Hill, Mexico, 1985.
- SHIGLEY. J.E, Diseño en Ingeniería Mecánica, Octava edición, Editorial Mc Graw Hill, USA, 2006.
- VAN-DALEN Y MEYER, Manual de Técnicas de la Investigación Educativa, Edit. Paidòs, Buenos Aires, 1981.

- WAGANOFF. N, Transformación de los termoplásticos, Segunda edición, Editorial Mitre, Buenos Aires, 1969.
- WYLIE. Benjamín. Mecánica de los fluidos, Octava edición, Editorial, McGraw Hill, México, 1988.
- YUFERA. Eduardo, Química orgánica básica y aplicada de la molécula a la industria. Volumen 1, Editorial Reverte, Valencia, 1996.
- YUNUS. A. Cengel, Transferencia de calor, Segunda edición, Editorial McGraw Hill, México, 2003.

CATÁLOGOS

- CATÁLOGO DE BANDAS MARTIN
- CATÁLOGO SIN FIN CORONA
- CATÁLOGO DE MATERIALES IVAN BOHMAN C.A
- CATÁLOGO FAG

PORTALES ELECTRÓNICOS

- <http://www.grin.com/es/e-book/extrusion-y-peletizado-de-lamina>
- <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/123456789/1110/1/3G633d.pdf>
- <http://es.scribd.com/doc/59470391/32/maquina-peletizadora>.
- <http://www.bliss-industries.com/system/resources/0000/0047/speltml.pdf>

ANEXO A

CRONOGRAMA

ANEXO B

PLANO GENERAL Y CIRCUITO

ELÉCTRICO

ANEXO C

DESPIECE

ANEXO D

PROPIEDADES DEL LDPE

Ramificación (CH ₃ por 100 CH ₂)	Densidad a 20 °C	Cristalinidad (%)
0 (polietileno)	0.99	95
1	0.96	80
2	0.94	72
3	0.92	60
4	0.91	55

Tabla D- 1 Propiedades mecánicas del polietileno.

Fuente: <http://www.textoscientificos.com/polimeros/polietileno/propiedades>.

Absorción de Agua - en 24 horas (%)	<0,015
Densidad (g cm ⁻³)	0,92
Índice Refractivo	1,51
Índice de Oxígeno Límite (%)	17
Inflamabilidad	Si
Resistencia a los Ultra-violetas	Aceptable

Tabla D- 2 Propiedades físicas LDPE.

Fuente: <http://www.goodfellow.com/S/Polietileno-Baja-Densidad.html>

Alargamiento a la Rotura (%)	400
Dureza - Rockwell	D41 - 46 - Shore
Módulo de Tracción (GPa)	0,1 - 0,3
Resistencia a la Tracción (MPa)	5 - 25
Resistencia al Impacto Izod (J m ⁻¹)	>1000

Tabla D- 3 Propiedades mecánicas LDPE.

Fuente: <http://www.goodfellow.com/S/Polietileno-Baja-Densidad.html>

Ácidos - concentrados	Aceptable
Ácidos - diluidos	Buena
Álcalis	Buena
Alcoholes	Buena
Cetonas	Buena
Grasas y Aceites	Mala
Halógenos	Mala
Hidrocarburos Aromáticos	Mala

Tabla D- 4 Reacciones químicas LDPE.

Fuente. http://www.ads-chile.com/pdf/desempeno_pdf/2.108ch.pdf

Proceso	Velocidad de deformación
Sedimentación	10^{-6} - 10^{-4}
Moldeo por compresión	10^0 -10
Calandrado	10^1 - 10^2
Flujo a través de tubos	10^0 - 10^3
Extrusión	10^3 - 10^2
Inyección	$>10^3$

Tabla D- 5 Rango de velocidades de cizalla en diversos procesos.

Fuente: <http://avibert.blogspot.com/2010/04/sinergias.html>

ANEXO E

ELEMENTOS DE LA MÁQUINA

DESCRIPCION DE LA DIMENSION	UNIDADES METRICAS RANGO TOLERANCIAS (mm)	
	RANGO	TOLERANCIA
La mayoría de las dimensiones lineales	Hasta 300	$\pm 0,25$
	300-1500	$\pm 0,75$
	1500-3000	$\pm 1,00$
	3000-5000	$\pm 1,50$
	Sobre 5000	$\pm 2,25$
Longitud del macho centrador	Todos los tamaños $\pm 0,125$	
Agujeros	0 - 38	+0,025 - 0,000
	3 - 75	+0,050 - 0,000
	25 - 75	+0,038 - 0,000
	75 - 140	+0,051 - 0,000
	75 - 140	+0,063 - 0,000
	140 - 200	+0,076 - 0,000
	200 - 315	+0,076 - 0,000
200 - 315	+0,102 - 0,000	
Diámetros exteriores	Todos los tamaños y longitudes $\pm 0,102$	
Diámetros de anchos centradores	todos los tamaños +0,038	

Tabla E- 1 Tolerancia del husillo.

Fuente: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1110/1/668413G633d.pdf>

Diámetro nominal (mm)	Diámetro del cilindro L/D	Diámetro del husillo	Tolerancia diametral cilindro/husillo
30	30.00+0.02/-0.00	29.93/29.92	0.06/0.10
35	35.00+0.02/-0.00	34.93/34.91	0.08/0.11
38	38.00+0.02/-0.00	37.92/37.90	0.08/0.13
40	40.01+0.02/-0.00	39.93/39.90	0.08/0.13
50	50.01+0.02/-0.00	49.91/49.89	0.10/0.13
60	59.99+0.02/-0.00	59.87/59.84	0.13/0.18
65	65.00+0.02/-0.00	64.87/64.85	0.13/0.18
70	70.00+0.02/-0.00	69.88/69.85	0.13/0.18
75	75.01+0.02/-0.00	74.85/74.83	0.15/0.20

Tabla E- 2 Tolerancia y parámetros geométricos del husillo/cilindro.

Fuente: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1110/1/668413G633d.pdf>

DESCRIPCION DE LA DIMENSION	UNIDADES METRICAS RANGO TOLERANCIAS (mm)	
	RANGO	TOLERANCIA
Principales dimensiones lineales	Hasta 300	$\pm 0,25$
	300-1500	$\pm 0,75$
	1500-3000	$\pm 1,00$
	3000-5000	$\pm 1,50$
	Sobre 5000	$\pm 2,25$
Ancho del filete	Hasta 12	$\pm 0,38$
	12,25	$\pm 0,50$
	Sobre 25	$\pm 0,75$
Profundidad del canal	Hasta 2,5	$\pm 0,08$
	2,5-13,0	$\pm 0,18$
	Sobre 13,0	$\pm 0,30$
Chavetero	Profundidad	$\pm 0,13$
Agujeros	Longitud	$\pm 0,76$
Macho centrador roscado	Longitud	$\pm 0,4$

Tabla E- 3 Tolerancia del husillo.

Fuente: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1110/1/668413G633d.pdf>







Características del tornillo	Diseño adecuado	Diseño defectuoso
Número de filetes	Sencillo 	Doble 
Ángulo del filete	Grande 	Pequeño 
Radio del flanco del filete	Grande 	Pequeño 

Tabla E- 4 Diseño del husillo para producir el coeficiente de fricción entre el material y el husillo.

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>

Item	Descripción	Cantidad	Observación
1	Eje (entrada) d=80 (mm)	1	A 98-50
2	Eje Central d=85 (mm)	1	A 98-50
3	Eje (salida) d=120 (mm)	1	A 98-50
4	Engranaje Recto (Piñón 1)	1	A 51-40
5	Engranaje Recto (Rueda 1)	1	A 51-40
6	Engranaje Helicoidal (Piñón 2)	1	A 51-40
7	Engranaje Helicoidal (Rueda 2)	1	A 51-40
8	Rodamiento Rodillos Cónico FAG d=80 (mm)	4	30316K11A120.160
9	Rodamiento Rodillos Cónico FAG d=85 (mm)	4	32317AK11A80.120
10	Rodamiento Rodillos Cónico FAG d=120 (mm)	4	31324XK11A140.180
11	Chaveta 28x16x120 (mm)	1	A 91-40
12	Chaveta 32x18x110 (mm)	1	A 91-40
13	Chaveta 32x18x160 (mm)	1	A 91-40
14	Chaveta 40x22x150 (mm)	1	A 91-40
15	ArOsello Viton 2-39 (In)	1	Comercial

Tabla E- 5 Componentes internos de una caja reductora.

Fuente: <http://www.cotransa.net/>

ANEXOS F

TABLAS Y DIAGRAMAS

Anexo F-1

Material	Diámetro del husillo (plg)					
	1 ½	2 ½	3 ½	4 ½	6	8
ABS	28	40	83	135	227	410
Acrílico	32	47	90	150	270	475
PC	21	32	68	103	185	320
PP	28	40	825	135	227	410
HIPS	34	56	110	180	325	575
PVS, rígido	31	53	500	800	145	230
LDPE	18	25	105	175	300	550
LLDPE	20	30	60	100	180	326
HDPE	22	33	73	118	215	375

Nota: La capacidad de producción se encuentra en Kg/ hr

Se selecciona el siguiente husillo:

Diámetro del husillo	Tipo de polimero	Produccion (Kg/hr)
2 ½ (63.5mm)	Polietileno de baja densidad (LDPE)	25

Tabla F-1. 1 Capacidad de producción de un husillo.

Fuente: www.grin.com/es/e-book/extrusion-y-pelletizado-de-lamina

Diámetro D (mm)	Paso t	Profundidad del canal en la zona de alimentación, h1	Profundidad del canal en la zona de extrusión, h2	Anchura de la cresta, e
32	32	6	1,9	3,8
45	45	8	2,1	5
63	63	9,6	2,4	6,3
90	90	11,2	2,8	9

Tabla F-1. 2 Tabla de parámetros del husillo.

Fuente: www.grin.com/es/e-book/extrusion-y-pelletizado-de-lamina

Anexo F-2

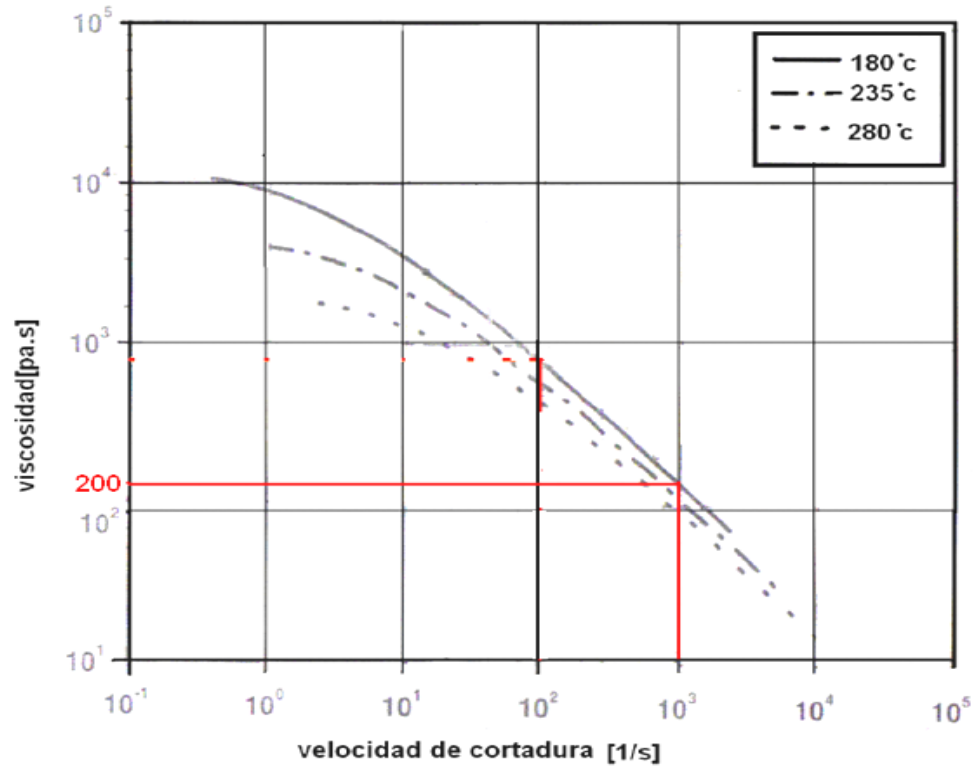


Tabla F-2. 1 Diagrama de Velocidad de cortadura vs viscosidad.

Fuente: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/123456789/1110/1/3G633d.pdf>

Hp	kW	RPM	Carcasa	No. de Catálogo	Amperios		Par a Pl. Carga Lb. Pie	% Eficiencia			% Factor Potcia.			Cojinetes		Dim. "C"	Diag. Con. No.
					Plena Carga	Rotor Bloq.		1/2	3/4	Plena Carga	1/2	3/4	Plena Carga	DE	ODE		
5	3.7	3500	184T	EM3663T-8	13.0	141	7.5	88.2	89.8	89.5	77	86	90	6206	6205	15.24	CD0006
	3.7	1750	184T	EM3665T-8	14.9	124	15	89.7	90.7	90.2	62	74	80	6206	6205	15.24	CD0006
7 1/2	5.6	3525	213T	EM3769T-8	19.8	173	11.2	90.0	91.4	91.0	79	87	90	6307	6206	18.45	CD0006
	5.6	1770	213T	EM3770T-8	21.4	148	22.1	91.5	92.1	91.7	68	78	81	6307	6206	18.45	CD0006
10	7.5	3500	213T	EM3771T-8	26.5	276	15	92.7	92.9	91.7	82	89	92	6307	6206	18.45	CD0006
	7.5	1765	215T	EM3774T-8	28.4	207	29.7	92.9	92.9	92.4	66	77	82	6307	6206	18.45	CD0006

Tabla F-2. 2 Cátalo de motores

Fuente: CATÁLOGO DE MOTORES, P 9

TABLE 4—SERVICE FACTORS

<p>THE CORRECT SERVICE FACTOR IS DETERMINED BY:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. The extent and frequency of peak loads. 2. The number of operating hours per year, broken down into average hours per day of continuous service, 3. The proper service category, (intermittent, normal or continuous). Select the one that most closely approximates your application conditions. 		<p>INTERMITTENT SERVICE—SERVICE FACTOR 1.0 TO 1.5</p> <ul style="list-style-type: none"> a Light Duty—Not more than 6 hours per day. b Never exceeding rated load. <p>NORMAL SERVICE—SERVICE FACTOR 1.1 TO 1.6</p> <ul style="list-style-type: none"> a Daily service 6 to 16 hours per day. b Where occasional starting or peak load does not exceed 200% of the full load. <p>CONTINUOUS SERVICE—SERVICE FACTOR 1.2 TO 1.8</p> <ul style="list-style-type: none"> a Where starting or peak load is in excess of 200% of the full load or where starting or peak loads and overloads occur frequently. b Continuous service 16 to 24 hours per day. 													
TYPICAL SERVICE FACTORS															
DRIVEN MACHINE TYPES		DRIVER TYPES													
<p>Driven Machine Types noted below are representative samples only. Select a category most closely approximating your application from those listed below.</p> <p>IF IDLERS ARE USED, ADD THE FOLLOWING TO THE SERVICE FACTOR.</p> <table border="0"> <tr> <td>Idler on slack side (inside)</td> <td>None</td> </tr> <tr> <td>Idler on slack side (outside)</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>Idler on tight side (inside)</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>Idler on tight side (outside)</td> <td>0.2</td> </tr> </table>		Idler on slack side (inside)	None	Idler on slack side (outside)	0.1	Idler on tight side (inside)	0.1	Idler on tight side (outside)	0.2	<p>ELECTRIC MOTORS:</p> <p>AC Normal Torque Squirrel Cage and Synchronous</p> <p>AC Split Phase</p> <p>DC Shunt Wound</p> <p>Internal Combustion Engines</p>			<p>ELECTRIC MOTORS:</p> <p>AC Hi-Torque</p> <p>AC Hi-Slip</p> <p>AC Repulsion-Induction</p> <p>AC Single Phase Series Wound</p> <p>AC Slip Ring</p> <p>DC Compound Wound</p>		
		Idler on slack side (inside)	None												
Idler on slack side (outside)	0.1														
Idler on tight side (inside)	0.1														
Idler on tight side (outside)	0.2														
INTERMITTENT SERVICE	NORMAL SERVICE	CONTINUOUS SERVICE	INTERMITTENT SERVICE	NORMAL SERVICE	CONTINUOUS SERVICE										
<p>Agitators for Liquids</p> <p>Blowers and Exhausters</p> <p>Centrifugal Pumps and Compressors</p> <p>Fans up to 10 HP</p> <p>Light Duty Conveyors</p>		1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3								
<p>Belt Conveyors For Sand, Grain, etc.</p> <p>Dough Mixers</p> <p>Fans Over 10 HP</p> <p>Generators</p> <p>Line Shafts</p> <p>Laundry Machinery</p> <p>Machine Tools</p> <p>Punches-Presses-Shears</p> <p>Printing Machinery</p> <p>Positive Displacement Rotary Pumps</p> <p>Revolving and Vibrating Screens</p>		1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4								
<p>Brick Machinery</p> <p>Bucket Elevators</p> <p>Exciters</p> <p>Piston Compressors</p> <p>Conveyors (Drag-Pan-Screw)</p> <p>Hammer Mills</p> <p>Paper Mill Beaters</p> <p>Piston Pumps</p> <p>Positive Displacement Blowers</p> <p>Pulverizers</p> <p>Saw Mill and Woodworking Machinery</p> <p>Textile Machinery</p>		1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6								
<p>Crushers (Gyratory-Jaw-Roll)</p> <p>Mills (Ball-Rod-Tube)</p> <p>Holts</p> <p>Rubber Calenders-Extruders-Mills</p>		1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8								
<p>Chokable Equipment</p>		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0								

FOR A GOOD COMMERCIAL DRIVE SELECTION, USE CONTINUOUS SERVICE FACTOR

Tabla F-2. 3 Factor de corrección por sobrecargas.

*Fuente: CATÁLOGO DE BANDAS MARTIN (52*40085*2); P. D-43*

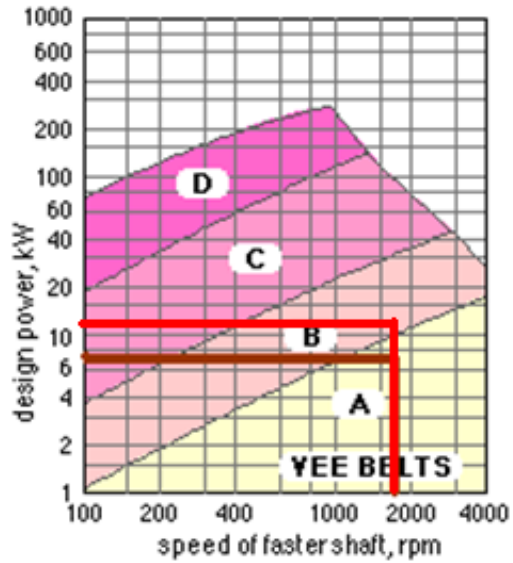


Tabla F-2. 4 Diagrama de selección de banda tipo “V”.

Fuente: CATÁLOGO DE BANDAS MARTIN (52*40085*2); P. D-44

Reductor: REM110						
i	n1	n2	M2(Nm)	Kw1	RD	sf
7,5	900	120	398	5,5	91,1	1,2
10		90	522	5,5	89,6	1,0
15		60	549	4	86,3	1,0
20		45	531	3	83,5	1,0
25		36	641	3	80,6	0,9
30		30	543	2,2	77,6	1,1
40		22,5	465	1,5	73,1	1,2
50		18	547	1,5	68,8	1,0
60		15	459	1,1	65,6	1,1
80		11,3	377	0,75	59,5	1,1
100	9	450	0,75	56,6	0,9	

Tabla F-2. 5 Tabla de selección de caja reductora.

Fuente: CATÁLOGO SIN FIN CORONA, P 22

MOTOR HORSE-POWER	MOTOR RPM					
	575	695	870	1160	1750	3450
.50	2.50	2.50	2.50	—	—	—
.75	3.00	2.50	2.50	2.50	—	—
1.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25	—
1.50	3.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25
2.00	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50	2.50
3.00	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50
5.00	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50
7.50	4.25	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00
10.00	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75	3.00
15.00	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75
20.00	8.25	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50
25.00	9.00	8.25	6.75	6.00	4.50	4.50*
* 30.00	10.00	9.00	6.75	6.75	5.25	—
40.00	10.00	10.00	8.25	6.75	6.00	—
50.00	11.00	10.00	9.00	8.25	6.75	—
60.00	12.00	11.00	10.00	9.00	7.50	—
75.00	14.00	13.00	10.00	10.00	9.00	—
100.00	18.00	15.00	13.00	13.00	10.00	—
125.00	20.00	18.00	15.00	13.00	11.00	—
150.00	22.00	20.00	18.00	13.00	—	—
200.00	22.00	22.00	22.00	—	—	—
250.00	22.00	22.00	—	—	—	—
300.00	27.00	27.00	—	—	—	—

*NOTE: Data above the line are from National Electrical Manufacturers Association Standard MG1-3.16 and MG1-3.16A. Data below the line are a composite of Electrical Motor Manufacturers data. They are generally conservative, and specific motors and bearings may permit the use of a smaller motor sheave. Consult the motor manufacturer.

Tabla F-2. 6 Valores de diámetros de poleas.

Fuente: CATÁLOGO DE BANDAS MARTIN (52*40085*2); P. D-44



Stock Drive Selection **B**

Nominal Center Distances And Arc-Length Correction Factor														Sheave Combination		Speed Ratio	
B/BX Belt Length Designation														DriveR P.D.	DriveN P.D.		
68	75	81	85	90	97	105	112	120	128	158	180	210	240	300			
18.6	22.1	25.1	27.2	29.7	33.2	37.2	40.7	44.7	48.8	63.8	74.8	89.8	104.1	134.1	6.8	13.6	2.00
15.5	19.1	22.2	24.2	26.8	30.3	34.3	37.8	41.9	45.9	60.9	71.9	87.0	101.2	131.2	8.0	16.0	2.00
23.8	27.3	30.3	32.3	34.8	38.3	42.3	45.8	49.8	53.9	68.9	79.9	94.9	109.1	139.1	4.6	9.4	2.04
21.8	25.4	28.4	30.4	32.9	36.4	40.4	43.9	47.9	51.9	67.0	78.0	93.0	107.2	137.2	5.4	11.0	2.04
24.7	28.3	31.3	33.3	35.8	39.3	43.3	46.8	50.8	54.8	69.8	80.8	95.8	110.1	140.1	4.2	8.6	2.05
0.91	0.94	0.96	0.97	0.98	1.00	1.02	1.04	1.06	1.08	1.13	1.17	1.20	1.24	1.30			

Tabla F-2. 7 Distancia entre centros y selección del tipo de banda.

Fuente: CATÁLOGO DE BANDAS MARTIN (52*40085*2); P. D-118

B Stock Drive Selection



Speed Ratio	Sheave Combination		DriveN Speeds and HP Per Belt									Nominal Center Distance And Arc-Length Correction Factors					
			3500 RPM DriveR			1750 RPM DriveR			1160 RPM DriveR			B/BX Belt Length Designation					
	DriveR P.D.	DriveN P.D.	DriveN RPM	HP Per Belt B	HP Per Belt BX	DriveN RPM	HP Per Belt B	HP Per Belt BX	DriveN RPM	HP Per Belt B	HP Per Belt BX	35	38	42	46	51	60
2.00	6.8	13.6	1750	14.09	19.51	875	10.97	13.00	580	8.16	9.38	—	—	—	—	—	14.5
2.00	8.0	16.0	+	+	+	875	13.75	16.04	580	10.30	11.63	—	—	—	—	—	—
2.04	4.6	9.4	1713	7.09	10.98	856	5.31	6.98	568	4.01	5.05	—	—	10.6	12.7	15.2	19.8
2.04	5.4	11.0	1718	10.09	14.45	859	7.45	9.24	569	5.56	6.66	—	—	—	10.7	13.2	17.8
2.05	4.2	8.6	1709	5.42	9.11	855	4.21	5.83	567	3.23	4.24	—	9.6	11.6	13.7	16.2	20.7
ARC-LENGTH CORRECTION FACTOR												0.0	0.74	0.77	0.80	0.83	0.87

Tabla F-2. 8 Potencia nominal de cada banda.

Fuente: CATÁLOGO DE BANDAS MARTIN (52*40085*2); P. D-119

$\frac{D-d}{C}$	θ , grados	VV	K_1 Plana en V
0.00	180	1.00	0.75
0.10	174.3	0.99	0.76
0.20	166.5	0.97	0.78
0.30	162.7	0.96	0.79
0.40	156.9	0.94	0.80
0.50	151.0	0.93	0.81

Tabla F-2. 9 Factor de corrección por ángulo de abrazamiento.

Fuente: SHIGLEY, J.E; Diseño en Ingeniería Mecánica, Octava Edición, P. 882

Factor de longitud	Longitud nominal de la banda, pulg				
	Bandas A	Bandas B	Bandas C	Bandas D	Bandas E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Hasta 195
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-300
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390

Tabla F-2. 10 Factor de corrección por longitud.

Fuente: SHIGLEY, J.E; *Diseño en Ingeniería Mecánica*, Octava Edición, P. 882

Sección de la banda	K_b	K_c
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1 600	1.716
D	5 680	3.498
E	10 850	5.041
3V	230	0.425
5V	1 098	1.217
8V	4 830	3.288

Tabla F-2. 11 Factores de corrección de la tensión centrífuga de bandas trapeciales.

Fuente: SHIGLEY, J.E; *Diseño en Ingeniería Mecánica*, Octava Edición, P. 883

Factor de correa o cadena	f_b
Cadena (sencilla)	1.2~1.5
Correa en V	1.5~2.0
Correa de tiempo	1.1~1.3
Correa Plana (con polea tensora)	2.5~3.0
Correa Plana	3.0~4.0

Tabla F-2. 12 Factor de correa o cadena.

Fuente: *Catálogo de rodamientos de bolas y de rodillos NTN*, P 26

Anexo F-3

ACERO AISI-SAE 4140 (UNS G41400)

1. *Descripción:* es un acero medio carbono aleado con cromo y molibdeno de alta templabilidad y buena resistencia a la fatiga, abrasión e impacto. Este acero puede ser nitrurado para darle mayor resistencia a la abrasión. Es susceptible al endurecimiento por tratamiento térmico

2. *Normas involucradas:* ASTM 322

3. *Propiedades mecánicas:* Dureza 275 - 320 HB (29 - 34 HRc)
Esfuerzo a la fluencia: 690 MPa (100 KSI)
Esfuerzo máximo: 900 - 1050 MPa (130 - 152 KSI)
Elongación mínima 12%
Reducción de área mínima 50%

4. *Propiedades físicas:* Densidad 7.85 g/cm³ (0.284 lb/in³)

5. *Propiedades químicas:* 0.38 - 0.43% C
0.75 - 1.00% Mn
0.80 - 1.10% Cr
0.15 - 0.25% Mo
0.15 - 0.35% Si
0.04% P máx
0.05% S máx

6. *Usos:* se usa para piñones pequeños, tijeras, tornillo de alta resistencia, espárragos, guías, seguidores de leva, ejes reductores, cinceles.

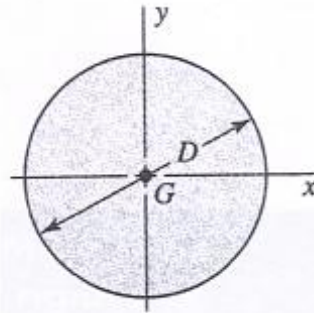
7. *Tratamientos térmicos:* se austeniza a temperatura entre 830 - 850 °C y se da temple en aceite. El revenido se da por dos horas a 200°C para obtener dureza de 57 HRc y si se da a 315°C la dureza será de 50 HRc. Para recocido se calienta entre 680 - 720°C con dos horas de mantenimiento, luego se enfría a 15°C por hora hasta 600°C y se termina enfriando al aire tranquilo. Para el alivio de tensiones se calienta entre 450 - 650°C y se mantiene entre ½ y 2 horas. Se enfría en el horno hasta 450°C y luego se deja enfriar al aire tranquilo.

NOTA:

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

Tabla F-3. 1 Propiedades ACERO AISI 4140.

Fuente: CATÁLOGO DE MATERIALES IVAN BOHMAN C.A, P 27



$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad I_x = I_y = \frac{\pi D^4}{64} \quad I_{xy} = 0 \quad J_G = \frac{\pi D^4}{32}$$

Tabla F-3. 2 Propiedades de las secciones transversales.

Fuente: SHIGLEY, J.E; *Diseño en Ingeniería Mecánica*, Octava Edición, P. 1016

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Relación de Poisson ν	Peso específico w		
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lbf/pulg ³	lbf/ft ³	kN/m ³
Abeto Douglas	1.6	11.0	0.6	4.1	0.33	0.016	28	4.3
Acero al carbono	30.0	207.0	11.5	79.3	0.292	0.282	487	76.5
Acero al níquel	30.0	207.0	11.5	79.3	0.291	0.280	484	76.0
Acero inoxidable (18-8)	27.6	190.0	10.6	73.1	0.305	0.280	484	76.0

Tabla F-3. 3 Modulo de rigidez del Acero AISI 4140.

Fuente: SHIGLEY, J.E; *Diseño en Ingeniería Mecánica*, Octava Edición, P. 987

CLASE DE CARGA	ACERO, METALES DÚCTILES		HIERRO FUNDIDO, METALES QUEBRADIZOS	MADERA DE CONS- TRUCCIÓN
	Basado en la resistencia máxima	Basado en la resistencia de fluencia	Basado en la resistencia máxima	
Carga permanente, $N =$	3-4	1,5-2	5-6	7
Repetida, una dirección, gradual (choque suave) *, $N =$	6	3	7-8	10
Repetida, invertida, gradual (choque suave) *, $N =$	8	4	10-12	15
Choque *, $N =$	10-15	5-7	15-20	20

Tabla F-3. 4 Rango de factor de seguridad estático de distintas cargas.

Fuente: FAIRES, V.M, *Diseño de elementos de máquinas*, Cuarta edición, Editorial

Montaner y Simón S.A, Barcelona, P 24

Propiedades mecánicas de algunos aceros de aleación y para herramienta							
Datos de varias fuentes. * Valores aproximados. Consulte a los fabricantes de los materiales para información más precisa							
Número SAE/AISI	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Elongación en 2 in %	Dureza Brinell o Rockwell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa		
4140	recocido @ 1 450°F	61	421	95	655	26	197HB
	normalizado @ 1 650°F	95	655	148	1 020	18	302HB
	templado y revenido @ 1 200°F	95	655	110	758	22	230HB
	templado y revenido @ 800°F	165	1 138	181	1 248	13	370HB
	templado y revenido @ 400°F	238	1 641	257	1 772	8	510HB

Tabla F-3. 5 Esfuerzo ultimo de torcimiento del acero AISI 4140.

Fuente: NORTON. L Robert, *Diseño de máquinas*, Primera edición, Editorial Pearson,

México, 1994, P. 999

Acabado superficial	MPa		kpsi	
	A	b	A	b
Rectificado	1.58	-0.085	1.34	-0.085
Maquinado o estirado en frío	4.51	-0.265	2.7	-0.265
Rolado en caliente	57.7	-0.718	14.4	-0.718
Forjado	272	-0.995	39.9	-0.995

Tabla F-3. 6 Factor de superficie.

Fuente: NORTON. L Robert, *Diseño de máquinas*, Primera edición, Editorial Pearson, México, 1994, P. 378

para $T \leq 450^{\circ}\text{C}$ (840°F):	$C_{temp} = 1$
para $450^{\circ}\text{C} < T \leq 550^{\circ}\text{C}$:	$C_{temp} = 1 - 0.0058(T - 450)$
para $840^{\circ}\text{F} < T \leq 1020^{\circ}\text{F}$:	$C_{temp} = 1 - 0.0032(T - 840)$

Tabla F-3. 7 Factor de Temperatura.

Fuente: NORTON. L Robert, *Diseño de máquinas*, Primera edición, Editorial Pearson, México, 1994, P. 381

Confiabilidad %	$C_{confiabilidad}$
50	1.000
90	0.897
99	0.814
99.9	0.753

Tabla F-3. 8 Factor de confiabilidad.

Fuente: NORTON. L Robert, *Diseño de máquinas*, Primera edición, Editorial Pearson, México, 1994, P. 381

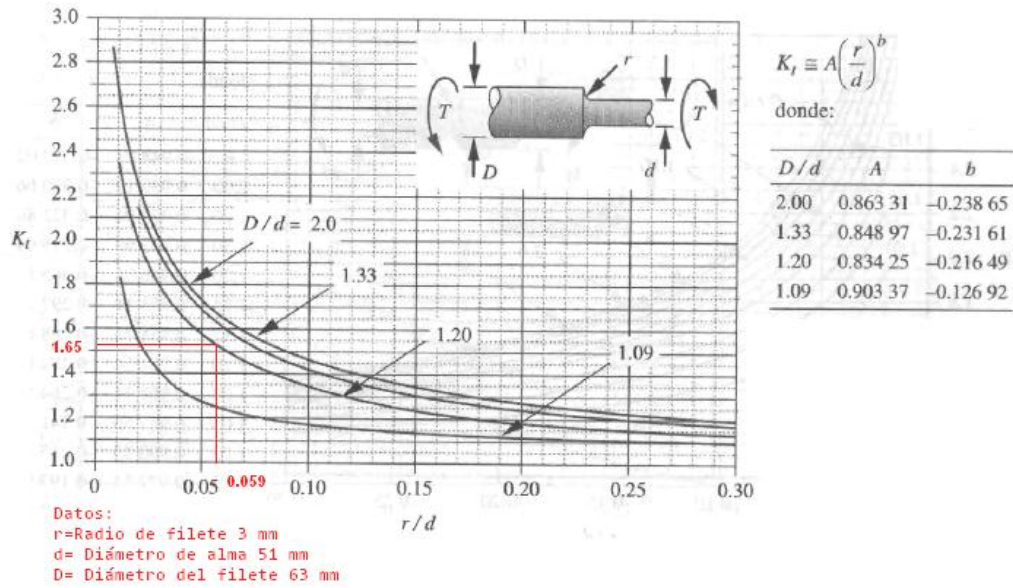


Tabla F-3. 9 Factor de concentración de esfuerzos geométricos K_t .

Fuente: NORTON. L Robert, *Diseño de máquinas*, Primera edición, Editorial Pearson, México, 1994, P. 1007

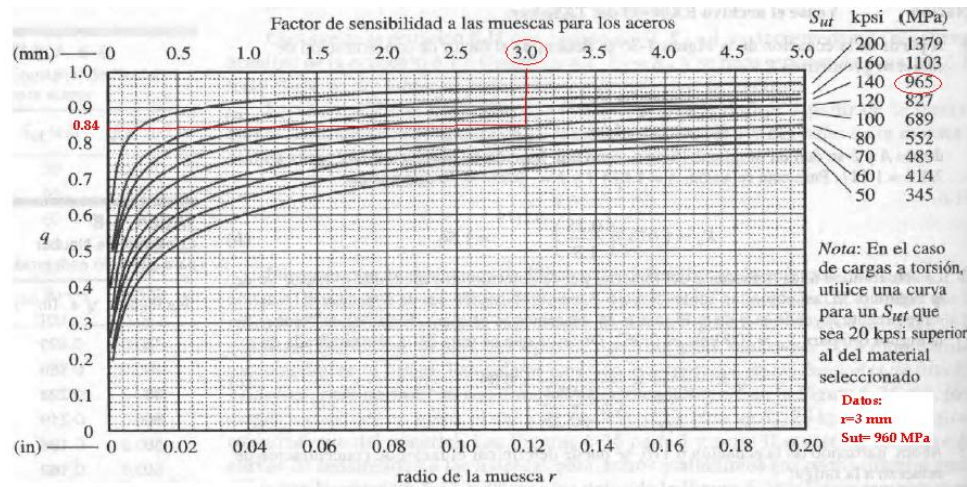


Tabla F-3. 10 Factor de sensibilidad a la muesca para aceros (q).

Fuente: NORTON. L Robert, *Diseño de máquinas*, Primera edición, Editorial Pearson, México, 1994, P. 392

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Razón de Poisson ν	Peso específico γ lb/in ³	Densidad de masa ρ Mg/m ³	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa				
Acero al carbono	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de acero	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero inoxidable	27.5	189.6	10.7	74.1	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de titanio	16.5	113.8	6.2	42.4	0.34	0.16	4.4	4.4

Tabla F-3. 11 Propiedades físicas de algunos materiales.

Fuente: NORTON. L Robert, *Diseño de máquinas*, Primera edición, Editorial Pearson,

México, 1994, P. 994

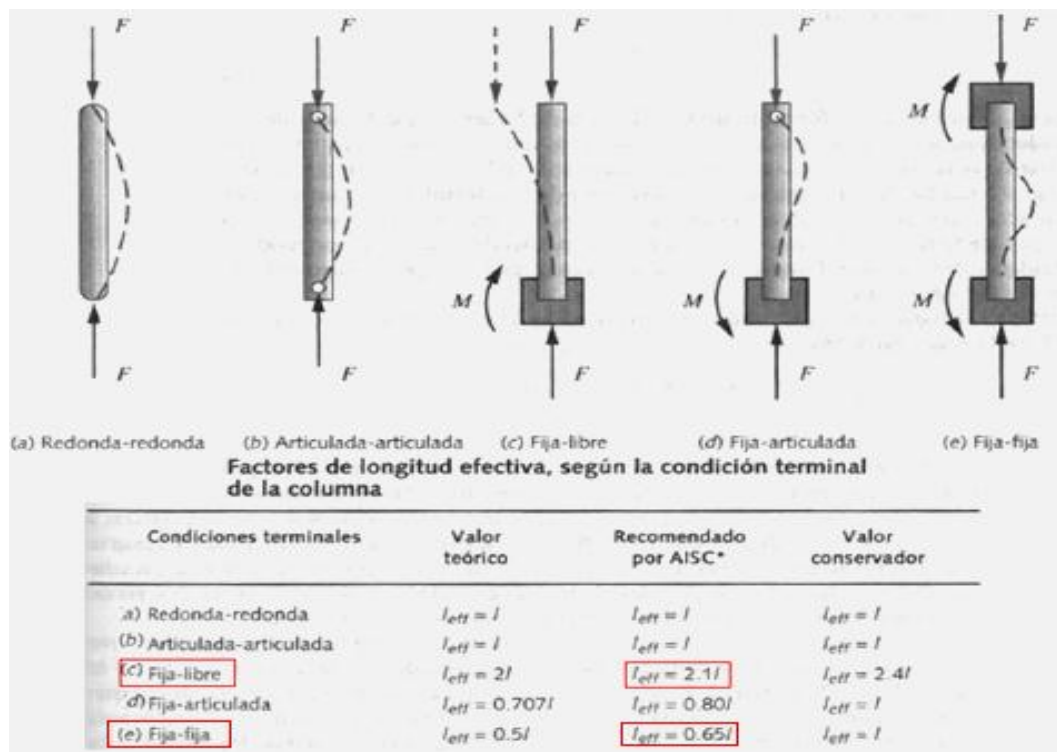


Tabla F-3. 12 Factores de longitud efectiva

Fuente: NORTON. L Robert, *Diseño de máquinas*, Primera edición, Editorial Pearson,

México, 1994, P. 240-241

Anexo F-4

ACERO AISI-SAE 1045 (UNS G10450)

1. *Descripción:* es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarios en condición de suministro. Este acero medio carbono puede ser forjado con martillo. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Cuando se hacen prácticas de soldadura adecuadas, presenta soldabilidad adecuada. Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria.

2. *Normas involucradas:* ASTM A108

3. *Propiedades mecánicas:* Dureza 163 HB (84 HRb)
Esfuerzo de fluencia 310 MPa (45000 PSI)
Esfuerzo máximo 565 MPa (81900 PSI)
Elongación 16% (en 50 mm)
Reducción de área (40%)
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)
Maquinabilidad 57% (AISI 1212 = 100%)

4. *Propiedades físicas:* Densidad 7.87 g/cm³ (0.284 lb/in³)

5. *Propiedades químicas:* 0.43 – 0.50 % C
0.60 – 0.90 % Mn
0.04 % P máx
0.05 % S máx

6. *Usos:* los usos principales para este acero es piñones, cuñas, ejes, tornillos, partes de maquinaria, herramientas agrícolas y remaches.

7. *Tratamientos térmicos:* se da normalizado a 900°C y recocido a 790°C

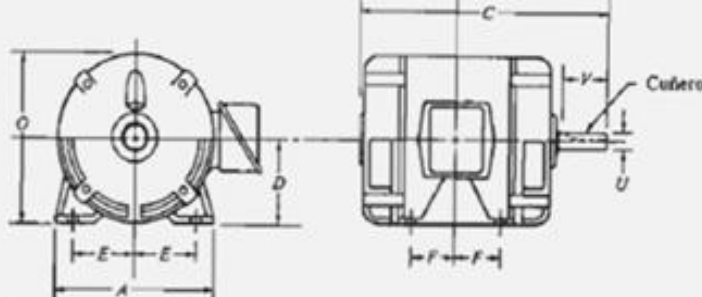
Tabla F-4. 1 Propiedades del acero AISI 1045.

Fuente: CATÁLOGO DE MATERIALES IVAN BOHMAN C.A, P 23

Dímetros de las flechas (in)	Ancho nominal de la cuña (in)
$1.375 < d \leq 1.750$	0.375
$1.750 < d \leq 2.250$	0.500 12.7 mm
$2.250 < d \leq 2.750$	0.625

Tabla F-4. 2 Ancho nominal de la cuña.

Fuente: NORTON. L Robert, *Diseño de máquinas*, Primera edición, Editorial Pearson, México, 1994, P. 587



Tamaños de armazones de motor

		Dimensiones (pulgadas)								
HP	Tamaño de armazón	A	C	D	E	F	O	U	V	Cuñero
10	215T	10.50	17.25	5.25	4.25	3.50	10.56	1.375	3.13	5/16 × 5/32
15	254T	12.50	22.25	6.25	5.00	4.13	12.50	1.625	3.75	3/8 × 3/16
20	256T	12.50	22.25	6.25	5.00	5.00	12.50	1.625	3.75	3/8 × 3/16

Tabla F-4. 3 Características técnicas del motor seleccionado.

Fuente: MOTT, Robert, *Diseño de elementos de máquinas*, Cuarta edición, Editorial Pearson, México, 2006, P 811

ACERO ASI-SAE 1020 (UNS G10200)

1. *Descripción:* acero de mayor fortaleza que el 1018 y menos fácil de conformar. Responde bien al trabajo en frío y al tratamiento térmico de cementación. La soldabilidad es adecuada. Por su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para elementos de maquinaria.

2. *Normas involucradas:* ASTM A108

3. *Propiedades mecánicas:* Dureza 111 HB
 Esfuerzo de fluencia 205 MPa (29700 PSI)
 Esfuerzo máximo 380 MPa (55100 PSI)
 Elongación 25%
 Reducción de área 50%
 Módulo de elasticidad 205 GPa (29700 KSI)
 Maquinabilidad 72% (AISI 1212 = 100%)

4. *Propiedades físicas:* Densidad 7.87 g/cm³ (0.284 lb/in³)

5. *Propiedades químicas:* 0.18 – 0.23 % C
 0.30 – 0.60 % Mn
 0.04 % P máx
 0.05 % S máx

6. *Usos:* se utiliza mucho en la condición de cementado donde la resistencia al desgaste y el tener un núcleo tenaz es importante. Se puede utilizar completamente endurecido mientras se trate de secciones muy delgadas. Se puede utilizar para ejes de secciones grandes y que no estén muy esforzados. Otros usos incluyen engranes ligeramente esforzados con endurecimiento superficial, pines endurecidos superficialmente, piñones, cadenas, tornillos, componentes de maquinaria, prensas y levas.

Tabla F-4. 4 Propiedades del acero AISI 1020.

Fuente: CATÁLOGO DE MATERIALES IVAN BOHMAN C.A, P 35

Núm. de estrías	W, para todos los ajustes	A: Ajuste permanente		B: Para deslizar sin carga		C: Para deslizar bajo carga	
		h	d	h	d	h	d
Cuatro	0.241D	0.075D	0.850D	0.125D	0.750D	0.100D	0.800D
Seis	0.250D	0.050D	0.900D	0.075D	0.850D	0.095D	0.810D
Diez	0.156D	0.045D	0.910D	0.070D	0.860D	0.095D	0.810D
Dieciséis	0.098D	0.045D	0.910D	0.070D	0.860D	0.095D	0.810D

Tabla F-4. 5 Características de las estrías

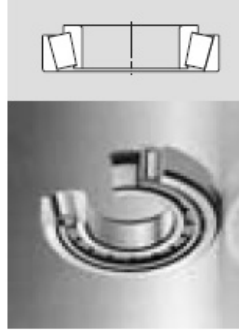
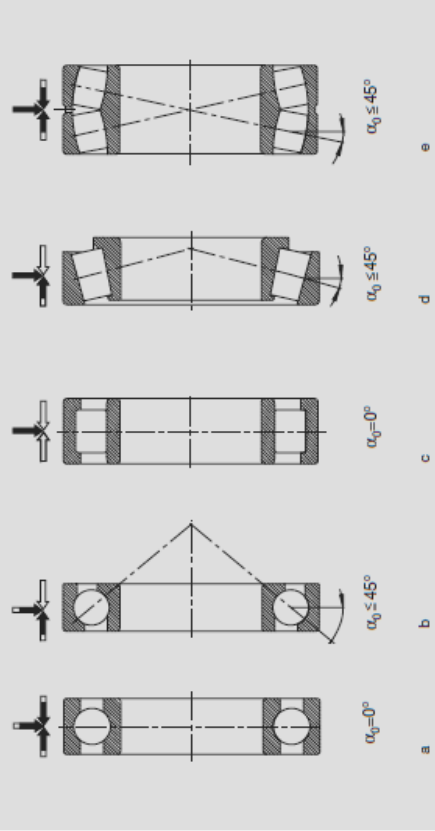
Fuente: MOTT, Robert, *Diseño de elementos de máquinas*, Cuarta edición, Editorial

Pearson, México, 2006, P 504

Anexo F-5

Tipo de rodamiento	Características:		Carga radial	Carga axial en ambas direcciones	Compenso en rodamiento en el rodamiento	Compenso en rodamiento con ajuste deslizante	Rodamientos desplazables	Compenso de desalineaciones	Evita la preclon	Aptitud para evitar vibraciones	Funcionamiento silencioso	Agiro conico	Centrado a uno o ambos lados	Evita rigidez	Bajo rozamiento	Rodamientos fijos	Rodamientos libres	
	Apertud muy buena	limitada																
Rodamientos rígidos de bolas	buena	no adecuada / no aplicable	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Rodamientos de bolas de contacto angular	normal / aceptable		●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Rodamientos de bolas de contacto angular, de doble fila			●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○


▼ Rodamientos radiales con un ángulo de contacto nominal $\alpha_0 \leq 45^\circ$ principalmente para cargas radiales a = rodamiento rígido de bolas, b = rodamiento de bolas de contacto angular, c = rodamiento de rodillos cilíndricos NU, d = rodamiento de rodillos cónicos, e = rodamiento oscilante de rodillos



Rodamiento de rodillos cónicos


Tabla F-5. 1 Selección del tipo de rodamiento.

Fuente: CATÁLOGO FAG (WL 41 520/3 SB); P. 22



Rodamiento de rodillos cónicos
Serie de anchuras 0
Serie de diámetros 2
Agujero 09.5 Δ 45 mm

30209A



Rodamiento de rodillos cilíndricos
Rebordes en el aro exterior
Serie de anchuras 2
Serie de diámetros 3
Agujero 14.5 Δ 70 mm

NU2314E

▼ Denominación de rodamientos de rodillos cónicos con dimensiones métricas según DIN ISO 355

Ejemplo: T 3 D B 045

Letra para rodamientos de rodillos cónicos

Rango del ángulo de contacto

Serie del ángulo	Rango del ángulo de contacto
	más de hasta
1	reservado
2	10° ... 13°52'
3	13°52' ... 15°59'
4	15°59' ... 18°55'
5	18°55' ... 23°
6	23° ... 27°
7	27° ... 30°

Agujero en mm

Razón entre la anchura del rodamiento y el alto de sección

Serie de anchuras $\frac{T}{(D-d) 0,95}$

más de hasta

A	reservado
B	0,50 ... 0,68
C	0,68 ... 0,80
D	0,80 ... 0,88
E	0,88 ... 1,00

Razón entre diámetro exterior y agujero

Serie de diámetros $\frac{D}{d 0,77}$

más de hasta

A	reservado
B	3,40 ... 3,80
C	3,80 ... 4,40
D	4,40 ... 4,70
E	4,70 ... 5,00
F	5,00 ... 5,60
G	5,60 ... 7,00

Tabla F-5. 2 Selección del tipo de rodamiento.

Fuente: CATÁLOGO FAG (WL 41 520/3 SB); P 51

Carga radial equivalente del rodamiento dinámico

$$P_r = XF_r + YF_a$$

$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
X	Y	X	Y
1	0	0.4	Y ₂

estática

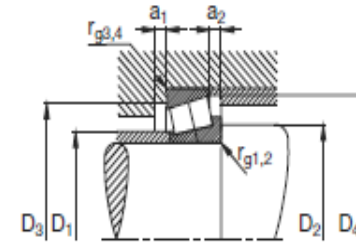
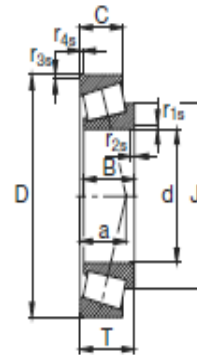
$$P_{0r} = 0.5F_r + Y_0F_a$$

Cuando $P_{0r} < F_r$, use $P_{0r} = F_r$

Los valores de e , Y_2 y Y_0 se muestran en la tabla debajo.

Los rodamientos pueden alcanzar una duración de vida ilimitada, si $C_0/P_0 \geq 8$.

Rodamientos FAG de rodillos cónicos



Eje	Dimensiones										Peso kg	Capacidad · Factor de carga					Velocidad límite min ⁻¹	Velocidad de referencia	Denominación abreviada Rodamiento FAG
	d	D	B	C	T	r _{1s} , r _{2s} min	r _{3s} , r _{4s} min	a mm	J mm	C		e	Y	estát. C ₀	Y ₀				
75	75	160	37	31	40	3	2,5	32	114	3,64	250	0,35	1,74	300	0,96	4500	3600	30315A	
	75	160	37	26	40	3	2,5	50	115,8	3,36	204	0,83	0,73	240	0,4	4500	3600	31315	
	75	160	55	45	58	3	2,5	39	114	5,37	360	0,35	1,74	475	0,96	4500	3200	32315A	
	75	160	55	45	58	3	2,5	47	120,4	5,7	335	0,55	1,1	475	0,6	4500	3200	32315B	

Tabla F-5. 3 Características del rodamiento seleccionado.

Fuente: CATÁLOGO FAG (WL 41 520/3 SB); p. 334

Valores de orientación para f_L y valores usuales de cálculo

Lugar de aplicación	Valor f_L que debe alcanzarse	Valores usuales de cálculo
Transmisiones de maquinaria en general		
Transmisiones universales	2 ... 3	Potencia nominal; velocidad nominal
Motoreductores	2 ... 3	Potencia nominal; velocidad nominal
Grandes transmisiones estacionarias	3 ... 4,5	Potencia nominal; velocidad nominal

Tabla F-5. 4 Factor de esfuerzos dinámicos (f_L).

Fuente: CATÁLOGO FAG (WL 41 520/3 SB); P 38

▼ Valores f_n para rodamientos de rodillos

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{10}{n} \cdot 33 \frac{1}{2}}$$

n	f_n	n	f_n	n	f_n	n	f_n	n	f_n
min ⁻¹		min ⁻¹		min ⁻¹		min ⁻¹		min ⁻¹	
40	0,947	220	0,568	1200	0,341	6500	0,206	38000	0,121
42	0,933	240	0,553	1300	0,333	7000	0,201	40000	0,119
44	0,92	260	0,54	1400	0,326	7500	0,197	42000	0,117
46	0,908	280	0,528	1500	0,319	8000	0,193	44000	0,116
48	0,896	300	0,517	1600	0,313	8500	0,19	46000	0,114

Tabla F-5. 5 Factor de velocidad (f_n).

Fuente: CATÁLOGO FAG (WL 41 520/3 SB); P 35

Condiciones			Tipo de ajuste del alojamiento	Observaciones	
Alojamiento	Tipos de carga				Desplazamiento [®] axial del anillo exterior
Alojamiento sólido o partido	Carga estacionaria del anillo exterior	Todos los tipos de cargas	Puede moverse	H7	G7 bastará para grandes rodamientos o rodamiento con gran diferencia de temperatura entre el anillo exterior y el alojamiento.
		Carga liviana ^① o normal ^②	Puede moverse	H8	—
		Calentamiento del eje y del anillo interior	Puede moverse fácilmente	G7	F7 bastará para rodamientos grandes o rodamientos con gran diferencia de temperatura entre el anillo exterior y el alojamiento.
Alojamiento sólido	Carga de dirección indeterminada	Se requiere precisión de rotación con cargas livianas o normales	Como regla, no puede moverse	K6	Aplica principalmente para rodamientos de rodillos.
		Se requiere una operación estable	Puede moverse	JS6	Aplica principalmente para rodamientos de bolas.
		Se requiere una operación estable	Puede moverse	H6	—
	Carga de dirección indeterminada	Carga liviana o normal	Puede moverse	JS7	Si se requiere precisión JS6 y K6 deben utilizarse en lugar de JS7 y K7.
		Carga normal o pesada ^③	Como regla, no puede moverse	K7	
	Carga rotatoria del anillo exterior	Grandes cargas de impacto	No puede moverse	M7	—
		Carga liviana o fluctuante	No puede moverse	M7	—
Carga normal o pesada		No puede moverse	N7	Aplica principalmente para rodamientos de bolas.	
	Carga pesada o grandes cargas de impacto con alojamiento delgado	No puede moverse	P7	Aplica principalmente para rodamientos de rodillos.	

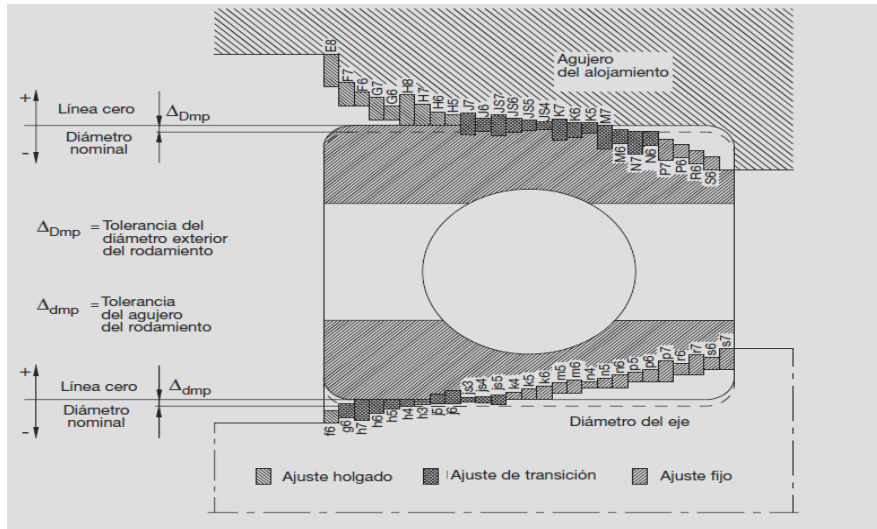
Tabla F-5. 6 Tolerancia de los alojamientos.

Fuente: CATÁLOGO FAG (WL 41 520/3 SB); P 103

Rodamientos radiales con agujero cilíndrico				
Tipo de carga	Tipo de rodamiento	Diámetro del eje	Desplazabilidad axial Carga	Tolerancia
Carga puntual para el aro interior	Rodamientos de bolas y de rodillos	Todas las dimensiones	Rodamientos libres con aro interior desplazable	g6 (g5)
			Rodamientos de bolas de contacto angular y de rodillos cónicos, con aros interiores ajustados	h6 (j6)
Carga circunferencial para el aro interior o carga indeterminada	Rodamientos de bolas	hasta 40 mm	Carga normal	j6 (j5)
		hasta 100 mm	Carga pequeña	j6 (j5)
			Carga normal y elevada	k6 (k5)

Tabla F-5. 7 Tolerancia de los ejes.

Fuente: CATÁLOGO FAG (WL 41 520/3 SB); P 105



Tolerancias de los rodamientos de rodillos cónicos con dimensiones métricas

Aro interior

Dimensiones en mm

Diámetro nominal del agujero	más de hasta	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500	630	800	1000
Clase de tolerancia PN (tolerancia normal)															
Tolerancias en micras (0,001 μm)															
Diferencia	Δ_{Dmp}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		-12	-12	-12	-12	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	-75	-100
Variación	V_{Dp}	12	12	12	15	20	25	30	35	40	45	50	75	100	
	V_{dmp}	9	9	9	11	15	19	23	26	30					
Diferencia de anchuras	Δ_{Bs}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		-120	-120	-120	-150	-200	-250	-300	-350	-400	-450	-500	-500	-750	-1000
Salto radial	K_{sa}	15	18	20	25	30	35	50	60	70	70	85	100	120	
Diferencias de Anchuras	Δ_{Tb}	+200	+200	+200	+200	+200	+350	+350	+350	+400	+400	+500	+600	+750	
		0	0	0	0	0	-200	-250	-250	-400	-400	-500	-600	-750	
	Δ_{T1s}	+100	+100	+100	+100	+100	+150	+150	+150	+150	+200				
	0	0	0	0	0	-100	-150	-150	-150	-200					
	Δ_{T2s}	+100	+100	+100	+100	+100	+200	+200	+200	+200					
		0	0	0	0	-100	-100	-100	-100	-200					

Aro interior

Dimensiones en mm

Diámetro exterior nominal	más de hasta	18	30	50	80	120	150	180	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
Clase de tolerancia PN (tolerancia normal)																	
Tolerancia en micras (0,001 μm)																	
Diferencia	Δ_{Dmp}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		-12	-14	-16	-18	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	-75	-100	-125	-160	
Variación	V_{Dp}	12	14	16	18	20	25	30	35	40	45	50	75	100	125	160	
	V_{dmp}	9	11	12	14	15	19	23	26	30	34	38					
Diferencia de anchuras	Δ_{Cs}	Las tolerancias de anchura Δ_{Cs} son idénticas a Δ_{Bs} para el aro interior correspondiente.															
Salto radial	K_{sa}	18	20	25	35	40	45	50	60	70	80	100	120	120	120	120	

Tabla F-5. 8 Ajustes recomendados para el tipo de rodamiento seleccionado.

Fuente: CATÁLOGO FAG (WL 41 520/3 SB); P 80

Anexo F-6

SERIES EXTRAFINAS (NEF y UNEF)					SERIES DE 8 HILOS (8 N y 8 UN) (TAMAÑOS PRIMARIOS)							
Designación del tamaño	Diámetro mayor básico		Hilos por pulg (tpi)	Diámetro menor Rosca exterior		Área para esfuerzo A_s		Designación del tamaño	Diámetro menor Rosca exterior		Área para esfuerzo A_s	
	mm	pulg		mm	pulg	cm ²	pulg ²		mm	pulg	cm ²	pulg ²
1 1/4	28,575	1,1250	18	26,842	1,0568	5,813	0,901					
1 3/8	30,163	1,1875	18	28,429	1,1193	6,510	1,099	4	97,703	3,8466	76,19	11,81
1 1/2	31,750	1,2500	18	30,017	1,1818	7,245	1,123	4 1/4	104,053	4,0966	86,32	13,38
1 5/8	33,338	1,3125	18	31,605	1,2443	8,026	1,244	4 1/2	110,403	4,3466	97,40	15,1
1 3/4	34,925	1,3750	18	33,192	1,3068	8,839	1,370	4 3/4	116,753	4,5966	108,40	16,8
1 7/8	36,513	1,4375	18	34,779	1,3693	9,697	1,503	5	123,103	4,8466	120,60	18,7
1 1/2	38,100	1,5000	18	36,367	1,4318	10,58	1,64	5 1/4	129,453	5,0966	133,50	20,7
1 7/8	39,688	1,5625	18	37,954	1,4943	11,55	1,79	5 1/2	135,803	5,3466	146,50	22,7
1 3/8	41,275	1,6250	18	39,542	1,5568	12,52	1,94	5 3/4	142,153	5,5966	160,60	24,9
1 11/8	42,863	1,6875	18	41,129	1,6193	13,55	2,10	6	148,503	5,8466	174,80	27,1

Tabla F-6. 1 Valores de roscas extrafinas y de tamaño primario.

Fuente: FAIRES, V.M, *Diseño de elementos de máquinas*, Cuarta edición, Editorial Montaner y Simón S.A, Barcelona, P. 203

Número de grado SAE	Rango de dimensión del diámetro exterior (in)	Resistencia de prueba mínima (kpsi)	Límite de fluencia elástico mínimo (kpsi)	Resistencia mínima a tensión (kpsi)	Material
5	1.125-1.5	74	81	105	medio carbono, T y R
5.2	0.25-1.0	85	92	120	martensita de bajo carbono, T y R
7	0.25-1.5	105	115	133	aleación de bajo carbono, T y R
8	0.25-1.5	120	130	150	aleación de medio carbono, T y R
8.2	0.25-1.0	120	130	150	martensita de bajo carbono, T y R

Tabla F-6. 2 Especificaciones y resistencias SAE, para pernos de acero.

Fuente: NORTON. L Robert, *Diseño de máquinas*, Primera edición, Editorial Pearson,

México, 1994, P. 914

Diámetro mayor d (mm)	Roscas bastas			Roscas finas		
	Paso p (mm)	Diámetro menor d_r (mm)	Área de esfuerzo a tensión A_t (mm ²)	Paso p (mm)	Diámetro menor d_r (mm)	Área de esfuerzo a tensión A_t (mm ²)
12.0	1.75	9.85	84.27	1.25	10.47	92.07
14.0	2.00	11.55	115.44	1.50	12.16	124.55
16.0	2.00	13.55	156.67	1.50	14.16	167.25
18.0	2.50	14.93	192.47	1.50	16.16	216.23
20.0	2.50	16.93	244.79	1.50	18.16	271.50

Tabla F-6. 3 Dimensiones principales de las roscas para tornillos métrico ISO.

Fuente: NORTON. L Robert, *Diseño de máquinas*, Primera edición, Editorial Pearson, México, 1994, P. 896

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259

Tabla F-6. 4 Diámetros y roscas de roscas métricas.

Fuente: SHIGLEY, J.E; *Diseño en Ingeniería Mecánica*, Cuarta Edición., P. 382

Diámetro mayor (in)	Hilos por pulgada	Paso de rosca (in)	Diámetro de paso (in)	Diámetro menor (in)	Área de esfuerzo a tensión (in ²)
1.375	4	0.250	1.250	1.125	1.108
1.500 (38 mm)	4	0.250	1.375	1.250	1.353
1.750	4	0.250	1.625	1.500	1.918

Tabla F-6. 5 Diámetros de roscas ACME.

Fuente: NORTON. L Robert, *Diseño de máquinas*, Primera edición, Editorial Pearson, México, 1994, P. 896

Anexo F-7

Programa A: carga permisible para varios tamaños de soldadura de filete							
Nivel de resistencia del metal de aporte (EXX)							
	60*	70*	80	90*	100	110*	120
Esfuerzo cortante permisible en la garganta, ksi (1 000 psi) de soldadura de filete o soldadura de muesca de penetración parcial							
$\tau =$	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0	33.0	36.0
Fuerza unitaria permisible en soldadura de filete, kip/pulg lineal							
$f =$	12.73h	14.85h	16.97h	19.09h	21.21h	23.33h	25.45h
Tamaño del cateto h, pulg	Fuerza unitaria permisible para varios tamaños de soldaduras de filete kip/pulg lineal						
1	12.73	14.85	16.97	19.09	21.21	23.33	25.45
7/8	11.14	12.99	14.85	16.70	18.57	20.41	22.27
3/4	9.55	11.14	12.73	14.32	15.92	17.50	19.09
5/8	7.96	9.28	10.61	11.93	13.27	14.58	15.91
1/2	6.37	7.42	8.48	9.54	10.61	11.67	12.73
7/16	5.57	6.50	7.42	8.35	9.28	10.21	11.14
3/8	4.77	5.57	6.36	7.16	7.95	8.75	9.54
5/16	3.98	4.64	5.30	5.97	6.63	7.29	7.95
1/4	3.18	3.71	4.24	4.77	5.30	5.83	6.36
3/16	2.39	2.78	3.18	3.58	3.98	4.38	4.77
1/8	1.59	1.86	2.12	2.39	2.65	2.92	3.18
1/16	0.795	0.930	1.06	1.19	1.33	1.46	1.59

* Las soldaduras de filete en realidad se ensayaron por el AISC-AWS Test Committee.
 $f = 0.707h \tau_{perm}$

Tabla F-7. 1 Fuerzas unitarias permisibles.

Fuente: SHIGLEY, J.E; *Diseño en Ingeniería Mecánica*, Octava Edición., P. 473

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
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

Tabla F-7. 2 Resistencias mínimas determinísticas a la tensión y a la fluencia.

Fuente: SHIGLEY, J.E; *Diseño en Ingeniería Mecánica*, Octava Edición., P.1020

Número de electrodo AWS*	Resistencia a la tensión, kpsi (MPa)	Resistencia a la fluencia, kpsi (MPa)	Elongación porcentual
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	n*
Tensión	A tope	0.60S _y	1.67
Aplastamiento	A tope	0.90S _y	1.11
Flexión	A tope	0.60-0.66S _y	1.52-1.67
Compresión simple	A tope	0.60S _y	1.67
Cortante	A tope o de filete	0.30S _v †	

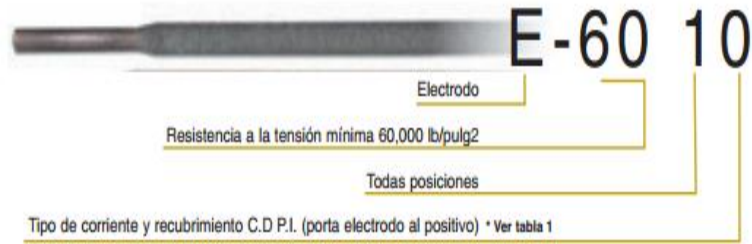
*El factor de seguridad n se ha calculado mediante la teoría de la energía de distorsión.

†El esfuerzo cortante en el metal base no debe exceder de 0.40S_v del metal base.

Tabla F-7. 3 Esfuerzos permisibles del código AISC para metales de aporte.

Fuente: SHIGLEY, J.E; *Diseño en Ingeniería Mecánica*, Octava Edición., P. 472

Clasificación de electrodos según la AWS para proceso SMAW para aceros al carbono



Para electrodo de baja aleación

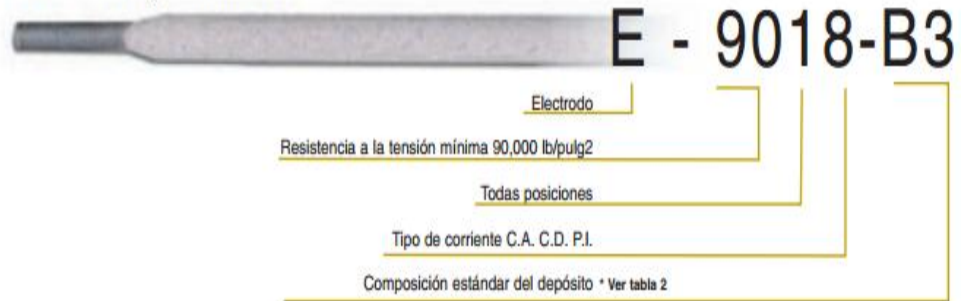


Tabla 1. Tipos de recubrimiento y corriente

DIGITO	TIPO DE RECUBRIMIENTO	CORRIENTE PARA SOLDAR
0	Sodio celulosa	CDPI
1	Potasio celulosa	CA o CDPI
2	Sodio titanio	CA o CDPD
3	Potasio titanio	CA o CD ambas polaridades
4	Titanio polvo fierro	CA o CD ambas polaridades
5	Sodio bajo hidrógeno	CDPI
6	Potasio bajo hidrógeno	CA o CDPI
7	Oxido de fierro polvo Fe	CA o CDPD
8	Bajo hidrógeno polvo Fe	CA o CDPI

POSICION
1. Toda posición
2. Plano y filete horizontal
4. Toda posición más vertical descendente.

CA = Corriente alterna
 CDPI = Corriente directa polaridad invertida (electrodo positivo)
 CDPD = Corriente directa polaridad directa (electrodo negativo)

Tabla F-7. 4 Nomenclatura de los electrodos revestidos.

Indura 90	Clasificación AWS: E-6011
<ul style="list-style-type: none"> • Electrodo para acero al carbono • Toda posición • Corriente continua. ambas polaridades • Corriente alterna 	<ul style="list-style-type: none"> • Revestimiento: Gris • Aprobado anualmente por el American Bureau of Shipping.

Descripción

El electrodo 90 tiene un revestimiento que produce escoria abundante y un depósito muy parejo. Su arco es muy suave y estable aunque de baja penetración. Tiene muy buenas características de trabajo, aun con miquimas soldaduras de corriente alterna con bajo voltaje en vacío. Aunque especialmente formulado para corriente alterna, se puede usar también con corriente continua.

Aplicaciones típicas

- Cerrajería
- Muebles metálicos
- Estructuras livianas

Procedimiento para soldar

Puede utilizarse corriente alterna o continua, ambas polaridades.

Los electrodos 90 producen depósitos uniformes y lisos con poca pérdida por salpicaduras, y la escoria puede eliminarse fácilmente.

En soldaduras verticales de tope o filetes se recomienda soldar de abajo hacia arriba. No es necesario realizar movimientos de vaivén hacia adelante con tanta frecuencia como en los tipos E-6010.

Usos

Este electrodo es especialmente recomendado para trabajos en láminas metálicas delgadas y en toda clase de acero dulce, en los cuales se tenga como requisito principal la facilidad de aplicación, siempre que no se exijan características mecánicas elevadas en las uniones. Debido a su baja penetración, se recomienda para soldar planchas de espesores menores de 1/4".

Composición química (típica del metal depositado):

C 0,10%; Mn 0,60%; P 0,02%; S 0,02%; Si 0,25%

Características típicas del metal depositado:

Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte (según norma AWS: A5.1-91):

Resistencia a la tracción :	73.000 lb/pulg ² (453 MPa)
Límite de fluencia :	68.500 lb/pulg ² (384 MPa)
Alargamiento en 50 mm. :	24%

Requerimientos según norma AWS: A5.1-91:

60.000 lb/pulg ² (414 MPa)
48.000 lb/pulg ² (331 MPa)
17%

Amperajes recomendados:

Diámetro pulg.	Electrodo mm.	Longitud pulg.	Electrodo mm.	Amperaje		Electrodos x kg. aprox.
				min.	max.	
3/32	2,4	12	300	40	90	52
1/8	3,2	14	350	70	120	35
5/32	4,0	14	350	120	190	22
*3/16	4,8	14	350	160	240	17

Indura 7018 - AR

Clasificación AWS: E-7018

- Electrodo para acero al carbono
- Con hierro en polvo
- Toda posición
- Corriente continua. Electrodo positivo
- Revestimiento: Gris

- Aprobado anualmente por el Lloyd's Register of Shipping, American Bureau of Shipping, Bureau Veritas, Germanischer Lloyd y Det Norske Veritas.

Descripción

El electrodo 7018-AR es de bajo contenido de hidrógeno y resistente a la humedad. Está especialmente diseñado para soldaduras que requieren severos controles radiográficos en toda posición. Su arco es suave y la pérdida por salpicadura es baja.

Aplicaciones típicas

- Aceros Cor-Ten, Mayari-R
- Luken 45 y 50
- Yole y otros aceros estructurales de baja aleación.

Usos

El 7018-AR es recomendado para trabajos donde se requiere alta calidad radiográfica, particularmente en calderas y cañerías. Por sus buenas propiedades físicas es ideal para ser usado en astilleros.

Procedimiento para soldar

Para soldaduras de filetes, horizontales y trabajo de soldadura en sentido vertical descendente, se debe usar un arco corto. No se recomienda la técnica de arrastre.

En la soldadura en posición de sobrecabeza debe usarse un arco corto con ligero movimiento oscilatorio en dirección de avance. Debe evitarse la oscilación brusca del electrodo.

Composición química (típica del metal depositado):

C 0,06%; Mn 1,00%; P 0,012%; S 0,015%; Si 0,48%

Características típicas del metal depositado:

Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte (según norma AWS: A5.1-91):

Resistencia a la tracción : 73.000 lb/pulg² (453 MPa)
 Límite de fluencia : 63.300 lb/pulg² (384 MPa)
 Alargamiento en 50 mm. : 30%

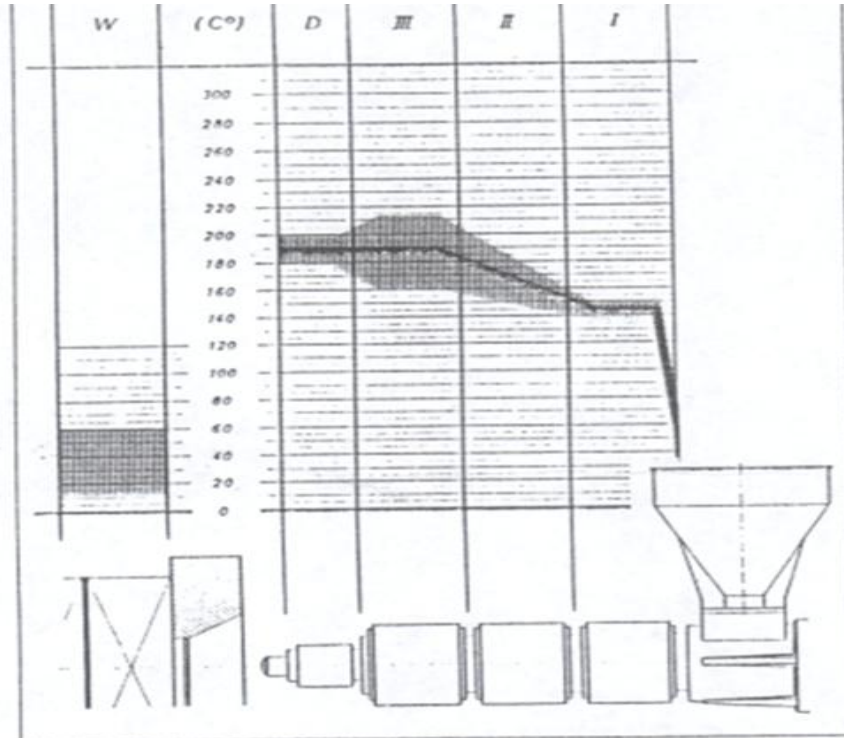
Requerimientos según norma AWS: A5.1-91:
 70.000 lb/pulg² (414 MPa)
 58.000 lb/pulg² (331 MPa)
 22%

Amperajes recomendados:

Diámetro pulg.	Electrodo mm.	Longitud pulg.	Electrodo mm.	Amperaje		Electrodos x kg. aprox.
				min.	max.	
3/32	2,4	12	300	70	120	65
1/8	3,2	14	350	120	150	32
5/32	4,0	14	350	140	200	19
3/16	4,8	14	350	200	275	14
1/4	6,4	18	450	275	400	7

Tabla F-7. 5 Características de los electrodos.

Anexo F-8



Las zonas de este diagrama se establecieron de acuerdo con conocidos fabricantes de estos materiales, pero hay que tener en cuenta que precisamente en el proceso de pelletizado se hace notable la influencia de otras magnitudes (geometría del husillo de la unidad de dosificado sistema de accionamiento de la máquina. etc)

Tabla F-8. 1 Zona s de temperaturas recomendadas para LDPE.

Altitud	Temperatura	Presión	Gravedad	Velocidad del sonido	Densidad	Viscosidad	Conductividad térmica
m	°C	kPa	gm/s ²	m/s	kg/m ²	u kg/m*s	W/m°C°
0	15.00	101.33	9.807	340.3	1.225	1.789X10 ⁻⁵	0.0253
200	13.70	98.95	9.806	339.5	1.202	1.783X10 ⁻⁵	0.0252
400	12.40	96.61	9.805	338.8	1.179	1.777X10 ⁻⁵	0.0252

Tabla F-8. 2 Propiedad de la atmosfera a gran altitud.

Fuente: YUNUS, A. Cengel, *Transferencia de calor*, Segunda edición, Editorial Mc Graw Hill, México, 2003, P. 739

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $C_p, \text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974

Tabla F-8. 3 Propiedades del aire a la presión de 1 atm.

Fuente: YANUS, A. Cengel, *Transferencia de calor*, Segunda edición, Editorial Mc Graw Hill, México, 2003, P. 736

Geometría	Gr_f , Pr.	c	m	Ref(s).
Planos y cilindros verticales	$10^{-1}-10^4$	la Fig. 7-7	la Fig. 7-7	4
	10^4-10^9	0.59	$\frac{1}{4}$	4
	10^9-10^{13}	0.021	$\frac{2}{5}$	30
	10^9-10^{13}	0.10	$\frac{1}{3}$	22, 16t
Cilindros horizontales	$0-10^{-5}$	0.4	0	4
	$10^{-5}-10^4$	la Fig. 7-8	la Fig. 7-8	4
	10^4-10^9	0.53	$\frac{1}{4}$	4
	10^9-10^{12}	0.13	$\frac{2}{5}$	4
Superficie superior de placas ca- lientes o superficie inferior de	$2 \times 10^4-8 \times 10^6$	0.54	3	44, 52

Tabla F-8. 4 Constantes c y m para determinar el número de Nusselt.

Fuente: HOLMAN, J.P, *Transferencia de calor*, Primera edición, Editorial Mc Graw Hill, México 1986, P 310

Material	Temperatura, K	Emisividad, ϵ
Hierro		
Intensamente pulido	300-500	0.05-0.07
Hierro fundido	300	0.44
Hierro forjado	300-500	0.28
Aherrumbrado	300	0.61
Oxidado	500-900	0.64-0.78

Tabla F-8. 5 Valores de emisividad

Fuente: YANUS, A. Cengel, *Transferencia de calor*, Segunda edición, Editorial Mc Graw Hill, México, 2003, P. 740

Material	Espesor, L mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · °C	Calor específico, C_p kJ/kg · °C	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), °C · m ² /W
Metales					
Aluminio (1 100)	—	2 739	222	0.896	—
Acero dulce	—	7 833	45.3	0.502	—
Acero inoxidable	—	7 913	15.6	0.456	—

Tabla F-8. 6 Calor específico del material del cilindro y husillo.

Fuente: YANUS, A. Cengel, *Transferencia de calor*, Segunda edición, Editorial McGraw Hill, México, 2003, P. 725

ANEXO G

CHECK LIST DE LA MÁQUINA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
PLASTIVAS S.A
Procesamiento para el encendido y operación de la peletizadora de polietileno de baja densidad

ENCENDIDO Y OPERACIÓN

Ítems	Descripción	Verificado
1	Encender el breaker principal de la máquina.	
2	Encender el sistema de calentamiento eléctrico.	
3	Programar el perfil de temperatura determinados para el proceso.	
4	Dejar calentar por lo menos una hora para que el material que se encuentra en el interior se funda por completo.	
5	Encender la bomba de la tina de enfriamiento	
6	Encender la cortadora de pellets	
7	Cargar la tolva de la peletizadora con el material a procesar.	
8	Pulsar la botonera de encendido de la peletizadora	
9	Se deberá tener una secuencia de los pellets a la salida para calibrar la máquina.	

Nota: Cualquier funcionamiento anormal de la máquina se deberá presionar el botón de apagado.

Operario

Técnico de mantenimiento

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
PLASTIVAS S.A
Procesamiento para el encendido y operación de la peletizadora de polietileno de baja densidad

APAGADO

Ítems	Descripción	Verificado
1	Verificar que no quede material en la tolva	
2	Presionar la botonera de apagado OFF	
3	Apagar la bomba de la tina de enfriamiento	
4	Apagar la cortadora de pellets	
5	Apagar el sistema de calentamiento eléctrico de la peletizadora	
6	Bajar el breaker principal de la máquina.	

Operario

Técnico de mantenimiento

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
PLASTIVAS S.A
Proceso de mantenimiento preventivo para la peletizadora de polietileno de baja densidad

Fecha:

Nombre:

MANTENIMIENTO MENSUAL

Ítems	Descripción	Verificado
1	Verificar visualmente la ausencia de materiales extraños en el interior de la caja reductora	
2	Asegurarse que las bandas estén colocadas correctamente y con la tensión necesaria	
3	Verificar que la temperatura en la zona de alimentación no exceda los 140°C	
4	Asegurarse que el nivel de agua de la torre de enfriamiento este a nivel de la válvula de retención	
5	Verificar la productividad normal de la peletizadora 25 kg/h	
6	Limpiar el filtro o toma de aire del ventilador del motor	
7	Verificar que las botoneras de encendido ON y apagado OFF estén cerca y perfectamente legibles.	
8	Asegurarse que los sensores de las termocuplas estén haciendo contacto de la manera correcta	

Observaciones.....

.....

Operario

Técnico de mantenimiento

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
PLASTIVAS S.A
Proceso de mantenimiento preventivo para la peletizadora de polietileno de baja densidad

Fecha:.....

Nombre:

**REQUISITOS DE INSUMOS PARA MANTENIMIENTO
MENSUAL/CUATRIMESTRAL/ANUAL**

Ítems	Descripción

Operario

Técnico de mantenimiento

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
PLASTIVAS S.A
Proceso de mantenimiento preventivo para la peletizadora de polietileno de baja densidad

Fecha:

Nombre:

MANTENIMIENTO CUATRIMESTRAL

Ítems	Descripción	Verificado
1	Chequear el funcionamiento correcto del ventilador del motor eléctrico	
2	Verificar que no se produzcan chispas en las escobillas del motor	
3	Chequear la temperatura del motor, no debe exceder los 65°C	
4	Verificar que la temperatura de la zona de alimentación no exceda los 140°C, que es la °T a la que se funde el LDPE	
5	Asegurarse que la vibración del motor no sea excesiva	
6	Verificar el amperaje de todos los calentadores eléctricos (Debe ser el mismo que indica la placa)	
7	Inspección visual de estado de los engranajes del reductor de velocidad	
8	Revisar el aceite del reductor de velocidad en busca de partículas extrañas, reemplazar en caso de cumplirse el tiempo de recomendado	
9	Verificar el registrar el desgaste del tornillo y la camisa de la extrusora	
10	Lubricar el acople del tornillo con el eje hueco del reductor de velocidad	
11	Revisar la placa rompedora en busca de fallas por fatiga	

12	Limpieza general del panel de control	
13	Revisar el ajuste de los empalmes eléctricos, contactores y fusibles	
14	Verificar el correcto funcionamiento del ventilador del panel de control	

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
PLASTIVAS S.A
Proceso de mantenimiento preventivo para la peletizadora de polietileno de baja densidad

Fecha:

Nombre:

MANTENIMIENTO ANUAL

Ítems	Descripción	Verificado
1	Desmontaje de sellos y rodamientos del reductor de velocidad. Reemplazar rodamientos en caso de daños.	
2	Desmontaje de transmisión de motor de cortadora de pellets. Cambiar rodamientos en caso de daños	
3	Cambio de aceite del reductor de velocidad	
4	Cambio de rodamientos del motor eléctrico y lubricación	
5	Verificar los seguros del motor tornillos, rodelas de presión.	
6	Revisar el estado del aislamiento del motor	
7	Inspección visual del grado de desgaste en la zona de alimentación del cilindro de la peletizadora.	
8	Desmontaje y Registro de las medidas del cilindro y el husillo de la peletizadora	
9	Inspección visual en el tornillo de fallas de contacto puntuales	
10	Cambio de resistencias eléctricas dañadas. Medir amperaje en todo el sistema	
11	Cambio de agua de la cisterna de enfriamiento	
12	Limpieza del asentamiento de los sensores de temperatura	
13	Verificar que todos los pernos del cabezal estén correctamente ajustados	

14	Reemplazar contactores dañados y verificar el ajuste de las conexiones del panel de control	
15	Calibración de sensor de temperatura según recomendaciones del tipo de material	

ANEXO H

PROTOCOLO DE PRUEBAS

Protocolo de pruebas

Construcción de una máquina peletizadora de polietileno de baja densidad para la empresa PLASTIVAS.

El presente protocolo de pruebas consiste en una serie de evaluaciones, verificaciones y detalles que deben ser tomados en cuenta por parte del director y los estudiantes, tanto en su fabricación como al momento de su entrada.

De esta manera se puede garantizar el buen funcionamiento de la máquina llegando a concluir en forma exitosa el proyecto.

Con este trabajando que es teórico - práctico es una guía sobre la construcción de la peletizadora, y para la debida utilización dentro de la industria.

Para evaluar y verificar del trabajo se tomará en cuenta de los siguientes aspectos importantes.

- Evaluación dimensional
- Prueba de apariencia
- Prueba de desempeño

Las siglas que se han utilizado son:

CPM= Características principales de la máquina.

CPP= Características principales del producto.

CPC= Características principales del control.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

PROTOCOLO DE PRUEBAS

Construcción de una máquina peletizadora para procesar el polietileno de baja densidad.

PRUEBAS DIMENSIONALES

Fabricantes	Cumbajin Bayron – Vásquez Marco					
Descripción	Medidas externas de la Peletizadora					
Fecha	Enero del 2013					
ITEM	Datos Preliminares		Intrum. de medida	Tolerancia (mm)	Pasa	No Pasa
	CPM	CPC				
1	Largo Total	2435	Flexómetro	±5		
2	Ancho Total	785	Flexómetro	±5		
3	Alto Total	655	Flexómetro	±5		

Observaciones:.....

.....

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

PROTOCOLO DE PRUEBAS

Construcción de una máquina peletizadora para procesar el polietileno de baja densidad.

PRUEBAS DIMENSIONALES

Fabricantes	Cumbajin Bayron – Vásquez Marco					
Descripción	Medidas externas de la mesa que soporte la caja reductora					
Fecha	Enero del 2013					
ITEM	Datos Preliminares		Intrum. de medidas	Tolerancia (mm)	Pasa	No Pasa
	CPM	CPC				
1	Largo	420	Flexómetro	±5		
2	Alto	550	Flexómetro	±5		
3	Ancho	375	Flexómetro	±5		

Observaciones:.....

.....

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

PROTOCOLO DE PRUEBAS

Construcción de una máquina peletizadora para procesar el polietileno de baja densidad.

PRUEBAS DIMENSIONALES

Fabricantes	Cumbajin Bayron – Vásquez Marco					
Descripción	Porta Mallas					
Fecha	Enero del 2013					
ITEM	Datos Preliminares		Intrum. de medidas	Tolerancia (mm)	Pasa	No Pasa
	CPM	CPC				
1	Alto	245	Flexómetro	±0.5		
2	Ancho	245	Flexómetro	±0.5		
3	Espesor	25.4	Calibrador	±0.5		

Observaciones:.....

.....

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

PROTOCOLO DE PRUEBAS

Construcción de una máquina peletizadora para procesar el polietileno de baja densidad.

PRUEBAS DIMENSIONALES

Fabricantes	Cumbajin Bayron – Vásquez Marco					
Descripción	Tolva					
Fecha	Enero del 2013					
ITEM	Datos Preliminares		Intrum. de medidas	Tolerancia (mm)	Pasa	No Pasa
	CPM	CPC				
1	Ancho	600	Flexómetro	±5		
2	Alto	535	Flexómetro	±5		
3	Largo	600	Flexómetro	±5		

Observaciones:.....

.....

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

PROTOCOLO DE PRUEBAS

Construcción de una máquina peletizadora para procesar el polietileno de baja densidad.

PRUEBA DE APARIENCIA

Fabricantes	Cumbajin Bayron – Vásquez Marco			
Descripción	Presentación Final de la máquina peletizadora			
Fecha	Enero del 2013			
Ítems	Elemento	Especificaciones	Pasa	No Pasa
1	Caja reductora	Relación 20:1		
2	Motor	15 HP Trifasico		
3	Estructura	Perfil Estructural C 100x50x5mm		
4	Transmisión de potencia	Bandas B 63		
5	Resistencias eléctricas	900 W		
6	Pintura	Anticorrosiva		
7	Los cordones de soldadura	sin aristas vivas y uniformes		

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

PROTOCOLO DE PRUEBAS

Con el proceso de peletizado expuesto anteriormente, se funde y comprimir el polietileno de baja densidad en forma de pellets, el material es arrastrado, comprimido y dosificado por el husillo, que se encuentra dentro del cilindro, a lo largo del mismo se colocan las resistencias eléctricas que ayudan a que el polietileno se funda en el tiempo determinado con los cálculos.

PRUEBA DE DESEMPEÑO

Fabricantes	Cumbajin Bayron – Vásquez Marco			
Descripción	Presentación Final de la máquina peletizadora			
Fecha	Enero del 2013			
Ítems	Especificaciones	Verificación	Pasa	No Pasa
1	Previo encendido de la máquina de 30 min. Observar Temperaturas de funcionamiento	Forma visual tablero de control		
2	Producción aproximada de la máquina 4.5kg en 10 minutos	Balanza electrónica		
3	Forma cilíndrica de los pellets	Visual		

Observaciones:.....
.....

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

Para poder tener un patrón de producción de la máquina realizamos varios ensayos para comprobar la capacidad de producción.

ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

Número de muestra	Tiempo de calentamiento	Capacidad de producción Kg/h	Conclusión
1	5 min	2.00	No pasa
2	10 min	4.5	Pasa
3	25 min	6.24	Pasa
4	45 min	8.32	Pasa

Nota. Para cumplir con la hipótesis planteada de 25 kg/h, la máquina debe tener una producción aproximada de 4.5 kg en 10 minutos, por lo tanto valores inferiores a este no son aceptables.

La producción menor a 4.5 kg, es producto de un mal pre-calentamiento de las resistencias, por cálculos realizados se determinó que el tiempo mínimo de calentamiento de 30 minutos.

Observaciones:.....
.....

ANEXO I

FOTOGRAFÍAS DE LA MÁQUINA