



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**“DISEÑO VALIDADO MEDIANTE SOFTWARE DE UNA
MÁQUINA PARA LA ELABORACIÓN DE CUERDAS A PARTIR
DE BOTELLAS PET”**

Trabajo de integración curricular

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para obtener el grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR:

SANTIAGO PATRICIO AGUAS VILLACRÉS

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**“DISEÑO VALIDADO MEDIANTE SOFTWARE DE UNA
MÁQUINA PARA LA ELABORACIÓN DE CUERDAS A PARTIR
DE BOTELLAS PET”**

Trabajo de integración curricular

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para obtener el grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR: SANTIAGO PATRICIO AGUAS VILLACRÉS

DIRECTOR: ING. SANTIAGO ALEJANDRO LÓPEZ ORTIZ

Riobamba – Ecuador

2022

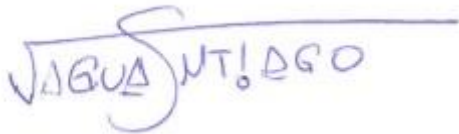
©2022, Santiago Patricio Aguas Villacrés

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el derecho de autor.

Yo, Santiago Patricio Aguas Villacrés, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y que los resultados de este son auténticos, los textos mencionados en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los cambios de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 14 de enero de 2022

A handwritten signature in blue ink. The name 'SANTIAGO' is written in a large, stylized font with a long horizontal line extending from the top of the 'G'. Below it, 'AGUAS VILLACRÉS' is written in a smaller, more standard font.

Santiago Patricio Aguas Villacrés
180327480-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

El tribunal del trabajo de integración curricular certifica que el trabajo de integración curricular; tipo: proyecto técnico, “**DISEÑO Y VALIDACIÓN MEDIANTE SOFTWARE DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA LA ELABORACIÓN DE CUERDAS A PARTIR DE BOTELLAS PET**” realizado por el señor **AGUAS VILLACRÉS SANTIAGO PATRICIO**, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del trabajo de integración curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el tribunal autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing.Msc. Edwin Fernando Viteri Núñez

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

2022 - 01 - 14

Ing. Msc. Santiago Alejandro López Ortiz

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

2022 - 01 - 14

Ing. Msc. Sócrates Miguel Aquino Arroba

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

2022 - 01 - 14

DEDICATORIA

A mi hija, Violetta Rafaella Aguas Mayorga.

Nunca debes olvidar que lo más valioso que una persona posee es la lectura, nunca te canses de leer, sonreír, vivir y soñar, existirán momentos en los que vas a querer salir corriendo y dejarlo todo, pero es normal mi pequeña, levántate las veces que sean necesarias y recuerda que para llegar al éxito debes hacer innumerables intentos sin darte por vencida, has sido y siempre serás la fuerza que necesitaré cuando me encuentre en mis momentos más oscuros. Yo creo en ti y siempre lo haré, si haces algo porque te gusta serás feliz toda la vida y el dinero vendrá por añadidura, pero jamás olvides que primero hay que ser buena persona luego un excelente profesional, recuerda: ayuda a quién lo necesite, enseña a quién lo pida, conversa más y usa menos la tecnología, cuestiona todo lo que mires y escuches, saca tus propias conclusiones, sé una persona íntegra y aunque duela siempre sonríe.

AGRADECIMIENTO

A mi madre, María Elena Aguas Villacrés.

Los demonios que existen bajo tu cama han ganado muchas batallas, pero al final tú ganaste la guerra, demostrando que jamás te dejaste vencer a pesar de las cruentas luchas que mantuviste en tu infancia, juventud y madurez, duendes, hadas, brujas y magos han gritado de envidia al unísono pidiendo explicación por tu fuerza y el valor que has tenido para sacar adelante a un pequeño hijo en tu vientre sin la ayuda de compañía a ese pequeño hijo que entregaste todo aún a cuesta de tu alegría, de tu bienestar y de tu sacrificio, al pequeño muchacho que jamás dejaste solo cuando necesitaba un consejo, al hombre que formaste como una persona íntegra, humilde y responsable. Jamás van a existir las suficientes palabras para agradecerte por tu demostración de valentía, coraje y sacrificio, jamás podré recompensar lo que has hecho por mí, pero si te juro que haré lo mejor que pueda para que tu nieta sea feliz y crezca con los valores que me has inculcado.

Gracias, madre

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	21
1.1	Antecedentes	21
1.2	Delimitación	22
1.2.1	<i>Delimitación espacial</i>	22
1.2.2	<i>Delimitación sectorial</i>	22
1.3	Formulación del problema	22
1.4	Objetivos	23
1.4.1	<i>Objetivo general</i>	23
1.4.2	<i>Objetivos específicos</i>	23

CAPÍTULO II

2.	REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS	24
2.1	El diseño mecánico	24
2.1.1	<i>Etapas del diseño</i>	25
2.2.2.1	<i>Identificación de la necesidad</i>	25
2.1.1.2	<i>Definición de las especificaciones</i>	27
2.1.1.3	<i>Diseño del prototipo</i>	28
2.1.1.4	<i>Creación del prototipo</i>	31
2.1.1.5	<i>Evaluación del diseño</i>	12
2.1.1.6	<i>Presentación de la máquina</i>	132
2.1.2	<i>Niveles de diseño</i>	132

2.1.3	<i>Consideraciones de diseño</i>	14
2.2	Polímeros	14
2.2.1	<i>Estructura de los polímeros</i>	15
2.2.2	<i>Características de los polímeros</i>	15
2.2.3	<i>Clasificación de los polímeros</i>	15
2.3	Tereftalato de polietileno (pet)	17
2.3.1	<i>Propiedades del pet</i>	17
2.3.2	<i>Datos técnicos del pet</i>	18
2.3.3	Aplicaciones del pet	18
2.3.3.1	<i>Botellas a partir del pet</i>	19
2.4	Tendencias actuales del reciclaje de botellas pet	20
2.4.1	<i>Reciclaje destinado a uso directo</i>	21
2.4.1.1	<i>Reciclaje destinado a construcciones ecológicas</i>	21
2.4.1.2	<i>Reciclaje destinado a obtener cuerdas a partir de botellas pet</i>	21
2.4.2	Reciclaje destinado a obtener subproductos	22
2.4.2.1	<i>Reciclaje destinado a vestimenta</i>	22
2.4.2.2	<i>Para uso agropecuario</i>	243
2.4.2.3	<i>Alfombras</i>	25
2.4.2.4	<i>Escobas</i>	25
2.5	Marco teórico del diseño de una máquina para la elaboración de cuerdas a partir de botellas pet	27
2.5.1	<i>Selección del motor</i>	27
2.5.2	<i>Transmisión de potencia</i>	27
2.5.2.1	<i>Transmisión por cadenas</i>	27
2.5.2.2	<i>Transmisión por cables</i>	29
2.5.2.3	<i>Transmisión por correas</i>	29
2.5.2.4	<i>Parámetros para la selección de correas de transmisión</i>	32
2.5.2.5	<i>Consideraciones para el diseño de correas</i>	32
2.5.3	Relaciones básicas	33
2.5.3.1	<i>Relación de transmisión</i>	33
2.5.3.2	<i>Factor de diseño</i>	34
2.5.3.3	<i>Potencia de diseño</i>	36
2.5.3.4	<i>Selección del perfil de la correa</i>	36

2.5.3.5	<i>Identificación de la correa</i>	36
2.5.3.6	<i>Distancia entre ejes</i>	37
2.5.3.7	<i>Longitud primitiva de la banda</i>	37
2.5.3.8	<i>Distancia entre centros de las poleas</i>	37
2.5.3.9	<i>Ángulo de contacto menor</i>	38
2.5.3.10	<i>Cantidad de correas necesarias</i>	38
2.5.3.11	<i>Velocidad de la correa</i>	39
2.5.3.12	<i>Verificación de los ciclos de flexión por segundo</i>	39
2.5.3.13	<i>Factor de seguridad</i>	40
2.5.3.14	<i>Tensiones en las poleas</i>	40
2.5.3.15	<i>Ecuación de potencia en función de la velocidad</i>	40
2.5.3.16	<i>Torque producido por la correa</i>	41
2.6	Diseño de ejes	41
2.6.1	Esfuerzos en ejes	41
2.6.1.1	<i>Esfuerzo por flexión</i>	41
2.6.1.2	<i>Esfuerzo por torsión</i>	42
2.6.1.3	<i>Variación de esfuerzos</i>	43
2.6.1.4	<i>Ecuación de los esfuerzos combinados</i>	43
2.6.1.5	<i>Límite de resistencia a la fatiga</i>	44
2.6.1.6	<i>Criterio de Soderberg</i>	46
2.7	Diseño de perno	47
2.7.1	<i>Perno precargado</i>	47
2.8	Diseño de soldadura	48

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	49
3.1	Requerimientos de diseño	49
3.2	Estructura de funciones	50
3.3	Matriz morfológica	51
3.4	Cálculos y resultados del sistema de transmisión	56
3.5	Análisis de esfuerzos del eje	60
3.5.1	<i>Dimensiones del eje</i>	60

3.5.2	<i>Diagrama de cuerpo libre</i>	60
3.5.3	Diagrama de cortante	60
3.5.4	<i>Diagrama de momentos</i>	61
3.5.5	<i>Análisis del eje</i>	61
3.6	Selección de elementos normalizados	63
3.6.1	<i>Selección de chumacera</i>	63
3.7	Diseño de la cuchilla	64
3.7.1	Condiciones iniciales	64
3.7.1.1	<i>Superficie de sujeción</i>	64
3.7.1.2	<i>Esfuerzo aplicado en la cara de corte</i>	64
3.7.1.3	<i>Característica de la malla</i>	65
3.7.2	Análisis de la cuchilla en acero AISI 1020 laminado en frío	66
3.7.2.1	<i>Desplazamientos de la cuchilla en acero AISI 1020</i>	66
3.7.2.2	<i>Esfuerzo de Von Misses de la cuchilla en acero AISI 1020</i>	67
3.7.2.3	<i>Factor de seguridad de la cuchilla en acero AISI 1020</i>	67
3.7.3	Análisis de la cuchilla en acero AISI 4340 recocido	68
3.7.3.1	<i>Desplazamientos de la cuchilla en acero AISI 4340 recocido</i>	68
3.7.3.2	<i>Esfuerzo de Von Misses de la cuchilla en acero AISI 4340 recocido</i>	69
3.7.3.3	<i>Factor de seguridad de la cuchilla en acero AISI 4340 recocido</i>	69
3.8	Análisis de fatiga del eje mediante SolidWorks	70
3.8.1	Condiciones iniciales	70
3.8.1.1	<i>Geometría básica</i>	70
3.8.2	Resultados obtenidos	71
3.8.2.1	<i>Curva SN</i>	71
3.8.2.2	<i>Factor de carga</i>	71
3.8.2.3	<i>Daño acumulado</i>	72
3.8.2.4	<i>Vida total</i>	72
3.9	Diseño estructural de la bancada	73
3.9.1	Análisis de resistencia mediante SAP 2000	73
3.9.1.1	<i>Condiciones iniciales</i>	73
3.9.1.2	<i>Condiciones de borde (apoyos. Empotramiento en la base y cargas</i>	74

3.9.1.3	<i>Desplazamientos para combinación de servicios (carga muerta más carga viva).....</i>	74
3.9.2	<i>Análisis modal y de frecuencias mediante SolidWorks.....</i>	75
3.9.2.1	<i>Resultados del estudio.....</i>	75
3.10	Diseño del perno.....	78
3.11	Diseño de juntas soldadas.....	79
3.12	Diagramas eléctricos.....	81
3.12.1	<i>Diagrama de potencia.....</i>	100
3.12.2	<i>Diagrama de control.....</i>	82
3.13	Costos.....	83
3.13.1	<i>Costos directos.....</i>	83
3.13.1.1	<i>Componentes mecánicos.....</i>	83
3.13.1.2	<i>Componentes eléctricos.....</i>	84
3.13.1.3	<i>Costo de procesos.....</i>	84
3.13.2	<i>Costos indirectos.....</i>	85
3.13.3	<i>Costo total.....</i>	85

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS.....	86
4.1	Modelación del diseño.....	86
4.2	Características de la máquina.....	86
4.3	Velocidad de corte.....	87
4.4	Diseño de eje.....	87
4.4.1	<i>Análisis de fatiga del eje.....</i>	89
4.4.1.1	<i>Curva S-N.....</i>	89
4.4.1.2	<i>Factor de carga.....</i>	89
3.8.2.3	<i>Daño acumulado.....</i>	90
3.8.2.4	<i>Vida total.....</i>	91
4.5	Diseño de la cuchilla.....	91
4.5.1	<i>Análisis comparativo de los materiales de la cuchilla.....</i>	91
4.5.2	<i>Análisis comparativo a través de las curvas de convergencia.....</i>	93
4.5.2.1	<i>Curva de convergencia de la cuchilla con acero AISI 1020.....</i>	93
4.5.2.2	<i>Curva de convergencia de la cuchilla con acero 4340 recocido.....</i>	94

4.6	Estudio comparativo del análisis modal y de frecuencias.....	95
4.7	Operación y mantenimiento.....	96
	CONCLUSIONES.....	98
	RECOMENDACIONES.....	99
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – 2:	Diseño conceptual y funcional.....	26
Tabla 2 – 2:	Propiedades del pet.....	18
Tabla 3 – 2:	Diferencias de las características del pet y petr.....	20
Tabla 4 – 2:	Empresas que producen fibra reciclada para vestimenta.....	23
Tabla 5 – 2:	Grosor de hebras para uso agropecuario.....	24
Tabla 6 – 2:	Longitudes obtenidas por botella.....	24
Tabla 7 – 2:	Comparación entre los tipos de correas.....	31
Tabla 8 – 2:	Factor de servicio.....	35
Tabla 9 – 2:	Recomendaciones de diámetro primitivo mínimo.....	36
Tabla 10 – 2:	Valores de a y b para Ka.....	45
Tabla 11 – 2:	Valores de Kc.....	45
Tabla 12 – 2:	Valores de Kd.....	46
Tabla 13 - 2:	Valores de Ke.....	46
Tabla 1 – 3:	Diseño conceptual y funcional.....	49
Tabla 2 – 3:	Matriz morfológica.....	51
Tabla 3 – 3:	Criterio para evaluación cuantitativa.....	54
Tabla 4 – 3:	Criterio de ponderación de la mejor alternativa.....	55
Tabla 5 – 3:	Valores promedio de tiempo de corte de la botella plástica.....	58
Tabla 6 – 3:	Valores calculados del sistema de transmisión por correa.....	59
Tabla 7 – 3:	Valores preliminares para el eje.....	61
Tabla 8 – 3:	Valores calculados del eje.....	62
Tabla 9 – 3:	Chumaceras NTN series UCPG2.....	63
Tabla 10 – 3:	Valores iniciales para análisis.....	65
Tabla 11 – 3:	Propiedades mecánicas del acero AISI 1020 laminado en frío.....	66
Tabla 12 – 3:	Desplazamientos de la cuchilla en acero AISI 1020.....	67
Tabla 13 – 3:	Esfuerzos de Von Misses de la cuchilla en acero AISI 1020.....	67
Tabla 14 – 3:	Factor de seguridad de la cuchilla en acero AISI 1020.....	68
Tabla 15 – 3:	Valores del agujero de la cuchilla en acero AISI 1020.....	68
Tabla 16 – 3:	Propiedades mecánicas del acero AISI 4340 recocido.....	68

Tabla 17 – 3:	Desplazamientos de la cuchilla en acero AISI 4340.....	69
Tabla 18 - 3:	Esfuerzos de Von Misses de la cuchilla en acero AISI 4340.....	69
Tabla 19 – 3:	Factor de seguridad de la cuchilla en acero AISI 4340.....	69
Tabla 20 – 3:	Valores del agujero de la cuchilla en acero AISI 4340.....	70
Tabla 21 – 3:	Propiedades mecánicas del acero AISI 1020.....	70
Tabla 22 – 3:	Factor de carga del eje.....	71
Tabla 23 – 3:	Daño acumulado del eje.....	72
Tabla 24 – 3:	Vida total del eje.....	73
Tabla 25 – 3:	Propiedades mecánicas del acero A36.....	75
Tabla 26 – 3:	Forma modal 1 de la estructura.....	75
Tabla 27 – 3:	Forma modal 2 de la estructura.....	76
Tabla 28 – 3:	Forma modal 3 de la estructura.....	77
Tabla 29 – 3:	Forma modal 4 de la estructura.....	77
Tabla 30 – 3:	Forma modal 5 de la estructura.....	78
Tabla 31 – 3:	Costo de componentes mecánicos.....	83
Tabla 32 – 3:	Costo de componentes eléctricos.....	84
Tabla 33 – 3:	Costo de procesos.....	84
Tabla 34 – 3:	Costo directo total.....	85
Tabla 35 – 3:	Costos indirectos.....	85
Tabla 36 – 3:	Costo total.....	85
Tabla 1 – 4:	Valores promedio de tiempo de corte de la botella plástica.....	87
Tabla 2 – 4:	Diseño del eje.....	88
Tabla 3 – 4:	Factor de carga del eje.....	90
Tabla 4 – 4:	Daño acumulado del eje.....	90
Tabla 5 – 4:	Vida total del eje.....	91
Tabla 6 – 4:	Tabla comparativa de los dos aceros analizados.....	91
Tabla 7 – 4:	Valores máximos calculados de los dos aceros analizados.....	92
Tabla 8 – 4:	Valores mínimos calculados de los dos aceros analizados.....	92
Tabla 9 – 4:	Valores de los dos aceros analizados en el agujero de la cuchilla.....	92
Tabla 10 – 4:	Estudio comparativo del análisis de frecuencia.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – 2:	Diseño conceptual de la caja negra.....	28
Figura 2 – 2:	Motocicleta ensamblada con Solidworks.....	10
Figura 3 – 2:	Uso del programa MasterCam.....	10
Figura 4 – 2:	Análisis de resistencia de una botella plástica.....	11
Figura 5 – 2:	Programación en Matlab.....	12
Figura 6 – 2:	Estilógrafos - diseño original.....	13
Figura 7 – 2:	Computador portátil – diseño adaptativo.....	14
Figura 8 – 2:	Celulares – diseño de variación.....	14
Figura 9 – 2:	Manijas de ollas y sartén.....	16
Figura 10 – 2:	Botellas de pet.....	16
Figura 11 – 2:	Elastómero.....	17
Figura 12 – 2:	Fachada de una casa de botellas plásticas.....	21
Figura 13 – 2:	Cuerdas a partir de botellas pet.....	22
Figura 14 – 2:	Reciclaje de plásticos y la confección de prendas.....	23
Figura 15 – 2:	Sujeción de planta con hebra de botellas pet.....	24
Figura 16 – 2:	Alfombra de botellas pet.....	25
Figura 17 – 2:	Escoba ecológica con botellas de plástico.....	26
Figura 18 – 2:	Transmisión por cadenas.....	28
Figura 19 – 2:	Cadenas de transmisión de potencia.....	28
Figura 20 – 2:	Cadenas de manutención.....	28
Figura 21 – 2:	Cadenas de carga.....	29
Figura 22 – 2:	Sistema de transmisión por cable.....	29
Figura 23 – 2:	Transmisión por correa.....	30
Figura 24 – 2:	Transmisión mediante correa abierta.....	37
Figura 25 – 2:	Viga sometida a flexión.....	41
Figura 26 – 2:	Viga sometida a esfuerzos por torsión.....	42
Figura 27 – 2:	Pernos.....	47
Figura 28 – 2:	Placas soldadas.....	48

Figura 1 – 3:	Estructura de funciones con método caja negra.....	50
Figura 2 – 3:	Estructura funcional.....	50
Figura 3 – 3:	Alturas promedio de una botella plástica.....	57
Figura 4 – 3:	Diseño experimental para obtención de tiempos de corte.....	57
Figura 5 – 3:	Dimensiones en mm del eje.....	60
Figura 6 – 3:	Diagrama de cuerpo libre del eje.....	60
Figura 7 – 3:	Diagrama de fuerzas.....	60
Figura 8 – 3:	Diagrama de momentos.....	61
Figura 9 – 3:	Condiciones iniciales de la cuchilla.....	64
Figura 10 – 3:	Superficie de sujeción de la cuchilla.....	64
Figura 11 – 3:	Aplicación de fuerza sobre la cara de corte.....	65
Figura 12 – 3:	Condiciones de mallado.....	65
Figura 13 – 3:	Mallado de la cuchilla.....	66
Figura 14 – 3:	Geometría básica del eje.....	70
Figura 15 – 3:	Condiciones iniciales de la estructura soporte.....	73
Figura 16 – 3:	Desplazamientos de la estructura.....	74
Figura 17 – 3:	Perno avellanado.....	78
Figura 18 – 3:	Estructura base para análisis de suelda.....	79
Figura 1 – 4:	Máquina semiautomática para elaborar cuerdas a partir de botellas pet.....	86

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – 2: Selección de correas acorde a la velocidad.....	33
Gráfico 2 – 2: Recomendaciones para la selección del perfil de la correa.....	36
Gráfico 3 – 2: Valores de kb.....	45
Gráfico 1 – 3: Desplazamientos de la cuchilla en acero AISI 1020.....	66
Gráfico 2 – 3: Esfuerzos de Von Misses de la cuchilla en acero AISI 1020.....	67
Gráfico 3 - 3: Factor de seguridad de la cuchilla en acero AISI 1020.....	67
Gráfico 4 – 3: Desplazamientos de la cuchilla en acero AISI 4340.....	68
Gráfico 5 – 3: Esfuerzos por Von Misses de la cuchilla en acero AISI 4340.....	69
Gráfico 6 – 3: Factor de seguridad de la cuchilla en acero AISI 4340.....	69
Gráfico 7 – 3: Curva S-N del análisis de fatiga del eje.....	71
Gráfico 8 – 3: Factor de carga del eje.....	71
Gráfico 9 – 3: Daño acumulado del eje.....	72
Gráfico 10 – 3: Vida total del eje.....	72
Gráfico 11 – 3: Condiciones de borde de estructura soporte.....	74
Gráfico 12 – 3: Forma modal 1 de la estructura.....	75
Gráfico 13 – 3: Forma modal 2 de la estructura.....	76
Gráfico 14 – 3: Forma modal 3 de la estructura.....	76
Gráfico 15 – 3: Forma modal 4 de la estructura.....	77
Gráfico 16 – 3: Forma modal 5 de la estructura.....	78
Gráfico 17 – 3: Momentos del punto de análisis de soldadura de la estructura.....	80
Gráfico 18 – 3: Diagrama de potencia.....	81
Gráfico 19 – 3: Diagrama de control.....	82
Gráfico 1 – 4: Curva S-N del análisis de fatiga del eje.....	89
Gráfico 2 – 4: Factor de carga del eje.....	90
Gráfico 3 – 4: Daño acumulado del eje.....	90
Gráfico 4 – 4: Vida total del eje.....	91
Gráfico 5 – 4: Curva de convergencia de la cuchilla con AISI 1020.....	93
Gráfico 6 – 4: Curva de convergencia de la cuchilla con AISI 4340.....	94
Gráfico 7 – 4: Forma modal de la estructura.....	95

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A:	Cálculo de C2
Anexo B:	Cálculo de C3
Anexo C:	Cálculo de P1
Anexo D:	Coefficiente de fricción para cálculo de tensiones en las poleas
Anexo E:	Longitudes estándar para correas en V clásicas, sección B
Anexo F:	Motorreductor
Anexo G:	Planos

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto técnico fue el de diseñar y validar mediante software una máquina semiautomática para la elaboración de cuerdas a partir de botellas plásticas pet, mediante el diseño conceptual y estructura funcional para de esta manera determinar las necesidades y requerimientos del prototipo, además del método de ponderación para demostrar de una manera cuantitativa la mejor alternativa del diseño que se presenta en el documento. Se diseñó el eje y se obtuvo el coeficiente de seguridad además del análisis de fatiga mediante SolidWorks con la consideración de vida infinita, asimismo se utilizó SAP2000 para el análisis de resistencia de la estructura soporte mediante la Norma AISC 360 siguiendo parámetros técnicos que exigen un trabajo de titulación, haciendo también un análisis modal y de frecuencias determinando la capacidad de soportar cargas dinámicas con una deformación mínima. Se realizó el diseño y la simulación de la cuchilla mediante SolidWorks y se realizó una comparación entre los aceros AISI 1020 laminado en frío y AISI 4340 recocido para determinar el que brinde las mejores condiciones al momento del corte de la botella. Se demostró que los diferentes programas computacionales de diseño, simulación y análisis de resistencia son herramientas necesarias y útiles que no solo permiten tener una idea clara del producto final, sino que también reducen notablemente los tiempos de diseño, ejecución, pruebas y cambios que se pudiesen presentar. Se recomienda un análisis completo de la cuchilla con acero inoxidable el cual pueda determinar su influencia en la homogeneidad y la producción de hilachas en la cuerda y realizando un análisis de tratamientos térmicos a las cuerdas obtenidas se puede tener un panorama amplio de las aplicaciones para el producto del presente trabajo técnico.

Palabras claves: <BOTELLAS PLÁSTICAS PET> <COEFICIENTE DE SEGURIDAD> <ANÁLISIS DE FATIGA> <ANÁLISIS DE RESISTENCIA> <SOLIDWORKS (SOFTWARE)>.



0302-DBRA-UPT-2022

2022-02-16

SUMMARY

The objective of this technical project was to design and validate through software a semi-automatic machine for the elaboration of ropes from pet plastic bottles, through the conceptual design and functional structure to determine the needs and requirements of the prototype, in addition to the weighting method to quantitatively demonstrate the best alternative of the design presented in the document. The axis was designed, and the safety coefficient was obtained in addition to the fatigue analysis using SolidWorks with the consideration of infinite life, also SAP2000 was used for the resistance analysis of the support structure using the AISC 360

Standard following technical parameters that require a job titration, also doing a modal and frequency analysis determining the ability to withstand dynamic loads with minimal deformation. The design and simulation of the blade was carried out using SolidWorks and a comparison was made between AISI 1020 cold-rolled and AISI 4340 annealed steels to determine the one that provides the best conditions at the time of cutting the bottle. It was shown that the different design, simulation, and strength analysis computer programs are necessary and useful tools that not only allow a clear idea of the final product, but also significantly reduce design, execution, testing and change times that could be made. present. A complete analysis of the blade with stainless steel is recommended, which can determine its influence on the homogeneity and the production of lint in the rope, and by carrying out an analysis of the thermal treatments of the ropes obtained, it is possible to have a broad panorama of the applications for the product of this technical work.

Keywords: <PET PLASTIC BOTTLES> <SAFETY COEFFICIENT> <FATIGUE ANALYSIS> <STRENGTH ANALYSIS> <SOLIDWORKS (SOFTWARE)>.

 Firmado digitalmente por
FRANCISCO LUIS FRANCISCO
MANTILLA CABRERA
Fecha: 2022.02.23
11:36:03 -05'00'

INTRODUCCIÓN

La generación de plástico es por mucho uno de los grandes problemas que el mundo y la sociedad tiene que solucionar, tanto la generación como el mal consumo hace que se hayan generado políticas internacionales y nacionales con el fin de buscar una solución que satisfaga a todas las partes involucradas, en cada avenida, campo, ciudad y hasta en los parajes más lejanos podemos encontrar botellas arrojadas sin que se tengan políticas claras tanto educativas como sancionatorias a empresas y a personas naturales, motivo por el cual se debe crear conciencia desde casa hacia el consumo irracional de este material dada el alto tiempo para la descomposición absoluta.

La sociedad a falta de apoyo gubernamental ha venido generando vientos de cambio y ha producido diversas maneras de recuperar el plástico, a todo nivel, desde casas ecológicas elaboradas con botellas de plástico y vidrio hasta la obtención de pellets de pet para elaborar nuevamente productos derivados del plástico, las empresas han venido estableciendo políticas internas de sostenibilidad que ha permitido que se generen cambios actitudinales y aptitudinales como sociedad que ha permitido de alguna manera contener la destrucción de los ecosistemas que posee nuestro planeta, con la ayuda de la ingeniería el hombre ha sido capaz de diseñar y construir máquinas de alta complejidad tal como el transbordador espacial o tan sencillo como un pala, el hombre siempre ha estado tratando de buscar la facilidad de las cosas, en el ámbito del reciclaje no ha sido la excepción y se han establecido empresas nacionales y transnacionales enfocadas en la recuperación primaria de materias no bio degradables como el plástico, llantas usadas, chatarra y darle una segunda oportunidad.

El presente trabajo de titulación está enfocado en el segmento de recuperación secundaria, es decir, se buscará elaborar un producto a partir de botellas plásticas mediante la ayuda de una máquina que se diseñará acorde a exigencias del mercado, quienes se han enfocado en productos e ingeniería ambientalmente responsables y amigables, encontrando en mercados locales la capacidad de vender subproductos que se pudiesen obtener del presente documento.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes.

En un mundo de consumo masivo de comida rápida en contenedores plásticos es de esperarse que se generen desechos más de lo que una ciudad o un país pueda manejar y controlar, de los desechos generados un alto porcentaje son botellas de plástico, es importante conocer que el plástico se demora entre 100 y 1000 años en descomponerse generando contaminación a nivel mundial que está saliéndose de control, según el Diario El Telégrafo en el año de 2013 en el Ecuador se produjeron 1400 millones de botellas plásticas del cual el veinte por ciento fue reciclado.

En la actualidad, el reciclaje tiene una importancia tan alta en la conservación y protección del medio ambiente que muchos de los países han generado leyes para poder contribuir en el cuidado del único planeta que tenemos, el 11% de los desechos generados es plástico y con un reciclaje consiente y responsable puede disminuir la contaminación que tan graves problemas conlleva, a nivel nacional solo 61 ciudades tienen relleno sanitario mientras que el restante es decir 160 tienen botaderos a cielo abierto, esto quiere decir que menos del 25% de los municipios no tienen un manejo adecuado de los desechos generados, existen diversas maneras de re- utilizar las botellas de plástico que el mercado está empezando a fortalecer, las aplicaciones que se le puede dar son escobas con cerdas de botellas pet, uno de los emprendimientos más fuertes que hay en el mercado es el de convertir a las botellas en pequeñas esquirlas con el fin de fundirlas y generar nuevos productos, se puede utilizar las cuerdas de pet para la mezcla de bloques y así tener una construcción amigable con el medio ambiente.

El empleo que se genera por la recolección de las botellas pet sigue en aumento debido a la escasez de empleos, familias completas se dedican a esta forma de subsistencia corriendo riesgo no solo su seguridad sino también su salud debido a la inhalación de olores fuertes o cortes con objetos cortopunzantes que se encuentren en los contenedores, motivo por el cual muchos de los cabildos han empezado a controlar y regular estos negocios.

El trabajo de investigación que se presenta servirá para conocer y fomentar el reciclaje, reduciendo de esta manera la contaminación de la ciudad y por ende del globo terráqueo, así como recuperar materias primas que se usarán en las diversas aplicaciones que se puede obtener a partir de las cuerdas pet, también porque posibilita resolver algunos de los numerosos problemas ambientales que tiene que enfrentar la sociedad actual.

1.2. Delimitación

1.2.1. Delimitación espacial

El presente trabajo se desarrollará en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo del territorio nacional ecuatoriano.

1.2.2. Delimitación sectorial

El estudio y desarrollo de este trabajo se acoge al Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, en base al objetivo 1 el cual indica; garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas.

1.3. Formulación del problema

La generación de desechos sigue en aumento debido al alza de la población mundial, según el ministerio del Ambiente la generación de residuos en el país es de 4,06 millones de toneladas métricas al año, un número que va en aumento, pocas ciudades han implementado el reciclaje en sus ordenanzas generando empleo debido a la recolección de papel, cartón y ahora las botellas pet.

Uno de los factores más importantes para que familias completas decidan ir a botaderos y/o recolectores en busca de productos desechados es la falta de un empleo digno y seguro, llevando consigo a sus hijos e hijas a las labores diarias de la recolección, las industrias de transformación de materias primas basadas en el reciclaje han venido aumentando en el país, el motor de la economía de dichas empresas son las mencionadas familias que en el reciclaje han encontrado su economía.

Las botellas pet tienen uno de los tiempos más largos de degradación que varía entre 100 a 1000 años mucho depende del ambiente en lo que se encuentre, es decir, si la botella se encuentra expuesta directamente a factores ambientales como lluvia, sol, viento, etc. la degradación va a ser más rápida a diferencia de si las botellas se encuentran enterradas.

El deshilachado hasta la actualidad se lo realiza de forma manual, con el uso de ciertos elementos cortantes, que causan lesiones en las manos al realizar esta actividad, además este proceso es lento y poco eficiente, debido a la dificultad de este y habilidad que demanda de la persona que lo realiza, este material puede ser reciclado de varias maneras el cual en esta investigación se centrará solo en la reutilización del residuo sin procesamiento de dicho producto para obtener hebras de diferentes medidas para varios usos

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo general*

Diseñar y validar mediante un software una máquina semiautomática para la elaboración de cuerdas a partir de botellas pet.

1.4.2. *Objetivos específicos*

- Desarrollar el estudio del arte mediante la revisión de libros, revistas, documentos tipo “paper” y demás para conocer los avances tecnológicos alrededor del reciclaje de botellas pet.
- Diseñar la máquina para la elaboración de cuerdas a partir de botellas pet aplicando la metodología de diseño con el fin de encontrar una solución óptima.
- Seleccionar los diferentes componentes de la máquina para elaborar cuerdas a partir de botellas pet a partir de catálogos de fabricantes para obtener un diseño más real.
- Simular mediante software CAE el comportamiento de los elementos estáticos para verificar la resistencia de los componentes de la máquina.
- Elaborar el diseño de detalle de los componentes que intervienen en la máquina para proporcionar la información técnica necesaria y facilitar la etapa de construcción.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Introducción al diseño mecánico

“Si un constructor edifica una casa para una persona, su trabajo no es resistente, la casa colapsa y mata a su propietario, el constructor deberá ser ejecutado.”. Código de Hammurabi, 2150 A.C.

El objetivo de este capítulo es analizar los conceptos básicos del vasto mundo del diseño de elementos mecánicos, así como de las tendencias actuales del reciclaje de botellas de tereftalato de polietileno (pet) ya que en la actualidad la industria está orientada hacia una *“ingeniería verde”*.

2.1. El diseño mecánico

Según el análisis realizado de diferentes fuentes bibliográficas referente al diseño de elementos mecánicos se ha considerado conceptos que se acoplen a la realidad de este trabajo de titulación, a continuación, se plasmarán las ideas de los autores.

“El diseño de elementos de máquina es parte integral del más extenso y general campo del diseño mecánico. Los diseñadores y los ingenieros de diseño crean aparatos o sistemas que satisfagan necesidades específicas. En el caso típico, los aparatos mecánicos comprenden piezas móviles que transmiten potencia y ejecutan pausas específicas de movimiento. Los sistemas mecánicos están formados por varios aparatos mecánicos.” (Mott, 2004).

Para el profesor de diseño de elementos mecánicos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la Universidad Nacional de México (UNAM), el Máster en Ingeniería Mecánica Felipe Díaz del Castillo Rodríguez en su libro *“Diseño de Elementos de Máquinas”* define como *“el proceso de aplicar las diversas técnicas y principios científicos con el objeto de definir un dispositivo, un proceso o un sistema con suficiente detalle para permitir su realización”*

Tomando otro concepto de diseño de elementos de máquinas: *“Design is nothing but a series of activities to gather all the information necessary to realize the designer’s idea as a real product”* (Vijayaraghavan, y otros, 2009)

Traducido al español será: *El diseño no es más que una serie de actividades para reunir toda la información necesaria para realizar la idea de los diseñadores como un producto real.*

Algo muy importante para poder entender el *“diseño de elementos de máquinas”* es la palabra *“máquina”* que según la Real Academia de la Lengua Española define como: *“Conjunto de aparatos combinados para recibir cierta forma de energía transformarla en otra más adecuada, o para producir un efecto determinado”*.

También se puede definir como un aparato formado por elementos relacionados entre sí, los cuales están dispuestos para transformar movimientos y fuerzas. (Rodríguez, 2011), en el diseño mecánico existen consideraciones que no deben ser aisladas como unidades de medida, tolerancias, dimensiones, cálculos, y la parte estética, parte principal para el consumidor final, el diseño mecánico no es un proceso lineal, como lo menciona Robert L. Norton en su libro *“Diseño de Maquinaria”*, que define como un *“...proceso circular...”*, es decir no se puede avanzar del paso uno al paso diez, por la naturaleza de la innovación en muchas ocasiones es necesario retroceder uno o más pasos en el camino.

Según sea el libro para consultar o ya sean los artículos de interés o las diferentes fuentes de información confiables los conceptos de diseño mecánico varían de autor a autor, pero la esencia del diseño mecánico se mantiene constante; la *creación e innovación* de una máquina que satisfaga una necesidad.

2.1.1. Etapas del diseño

Diversos autores de libros de diseño de elementos mecánicos tienen diferentes maneras de evaluar las etapas que se debe cumplir en el diseño, para el análisis que se hará a continuación se tomó de base al libro *“Design of Machine Elements”* de los autores G.K. Vijayaraghavan; S. Vishnupriyan del año 2009 en su cuarta edición.

2.2.2.1. Identificación de la necesidad

Este es el paso inicial para empezar con el arduo y fructífero diseño de una máquina, en este se definen las necesidades que una persona o comunidad puedan tener, dicho análisis se lo puede realizar de forma visual, por medio de encuestas, además de realizar una investigación de las fortalezas y debilidades de lo que se quiere conseguir, realizando un estudio de mercado, es decir, conocer lo que la *“gente quiere”* y *“necesita”*, además de saber si existen máquinas similares a la que se desea construir y realizar un estudio económico, si todo el proyecto del prototipo supera el costo de la competencia es ilógico e imprudente que se continúe con el intento que se planteó al inicio.

“Este primer paso es realizado por alguien, jefe o cliente, al decir: “Lo que se necesita es...” Por lo general este enunciado será breve y sin detalles. Estará muy lejos de proporcionarle un planteamiento estructurado del problema. Por ejemplo, el enunciado del problema podría ser:

“Se necesita una mejor podadora de pasto.”. (Norton, 2009)

Para esta etapa del diseño existe el término *“Benchmarking”*, término que se puede definir como: *“El proceso sistemático y continuado que emprende una empresa concreta para aprender de las mejores a nivel mundial mediante la evaluación comparativa de productos, servicios, procesos, métodos,*

procedimientos, estrategias.” (Marti Viedma, 2000), para el caso del diseño de una máquina es la adquisición que exista en el mercado, desarmarla y estudiar tanto sus componentes como su servicio para así mejorar y/o realizar modificaciones que reduzca el costo de producción y aumentan las ganancias a la empresa, además de hacer algo atractivo al potencial mercado que se haya determinado mediante un estudio de mercado. (Norton, 2009)

En la actualidad existen un sin número de fuentes de información ya sean libros, revistas científicas, documentos tipo “*paper*”, etc.; que permiten una investigación completa y profunda, así como de máquinas o ideas que ya se han venido desarrollando alrededor del mundo, con el fin de tener un panorama más claro de lo que desea y como diseñarlo.

Algo muy importante para un ingeniero que desee diseñar es la dedicación, preparación y perseverancia como lo dice Robert Norton: *“Es muy importante dedicar tiempo y energía suficiente en esta fase de investigación y preparación del proceso para evitar la turbación de encontrar una gran solución al problema equivocado. La mayoría de los ingenieros no experimentados (y algunos experimentados) prestan poca atención a esta fase y pasan con demasiada rapidez a la etapa de ideación e invención del proceso. ¡Esto debe evitarse! Hay que disciplinarse y no tratar de resolver el problema antes de estar perfectamente preparado para hacerlo.”*

Si se va a diseñar una máquina para introducir en el mercado que no tiene competencia se deberá ejecutar una metodología que consiste en definir las necesidades del cliente que pueden ser exigencias y deseos con el fin tener un panorama mucho más claro del diseño que se va a realizar, por otro lado tenemos las consideraciones que tiene el ingeniero diseñador con el objetivo de determinar aspectos técnicos y con las anteriores dos visiones poder definir las especificaciones tanto visualmente atractivo como funcionalmente eficiente.

Tabla 1 – 2: Diseño conceptual y funcional

CONCEPTO	C/I	R/D	DESCRIPCIÓN
PRECISIÓN	I	D	
	C	D	
OPERACIONES NECESARIAS	C	R	
	I	R	
PROCESO	I	D	
	C	D	

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Dónde:

- **Concepto.** Se definirán los conceptos globales necesarios que se ejecuten en la máquina.
- **C/I:** Criterio del cliente(C), del ingeniero (I)
- **R/D:** Requerido (R), Deseado (D)
- **Descripción.** Se definirán conceptos detallados de cada concepto.

2.1.1.2. Definición de las especificaciones

Según Joseph E. Shigley en su texto *“Diseño en Ingeniería Mecánica”* de su octava edición, define como: *“...las características y dimensiones del espacio que el objeto debe ocupar y todas las limitaciones sobre estas cantidades. Puede considerarse al objeto que va a diseñarse como algo dentro de una caja negra...”*

...Las especificaciones definen el costo, la cantidad que se va a manufacturar, la vida esperada, el intervalo, la temperatura de operación y la confiabilidad.

Los puntos obvios en las especificaciones son las velocidades, avances, limitaciones de la temperatura, el intervalo máximo, las variaciones esperadas en las variables, las limitaciones dimensionales y de peso, etcétera.”

Las especificaciones son el punto en donde se establece los alcances y limitaciones que tendrá la máquina en su fase de diseño con ventajas y desventajas, de esta manera llegando a un común con el equipo de diseño.

“El propósito de las especificaciones de desempeño es definir y limitar con cuidado el problema de modo que pueda ser resuelto y se puede mostrar lo que se resolvió después del hecho.” (Norton, 2009)

Algo muy importante de este ítem es el análisis completo del diseño, es decir, facilidad de recursos ya sean materiales, herramientas computacionales de ser el caso, personal calificado, tener la capacidad del espacio físico, distribución, etc.

Este puede ser el punto con más diversión para un ingeniero ya que emplea los conocimientos que tanto esfuerzo le tomó, pero a la vez puede ser el más frustrante debido a que pueden existir errores de cálculo, al momento del análisis en un “software” de ingeniería de los diferentes componentes o estructuras no puedan soportar, y, algo tan humano como la falta de creatividad, que toda persona en sus etapas de crecimiento mejoran o merman, aspecto que puede ser mejorado mediante técnicas tanto grupales como personales aumentando de esta manera la capacidad creativa y así influir en un diseño con características idóneas y visualmente apreciables.

Una de las herramientas sencillas y básicas de un Ingeniero al momento de diseñar es la llamada “Caja negra” que permite definir previamente las condiciones que se requieren, existen las señales de ingreso, el proceso que se genera y las señales de salida, así:

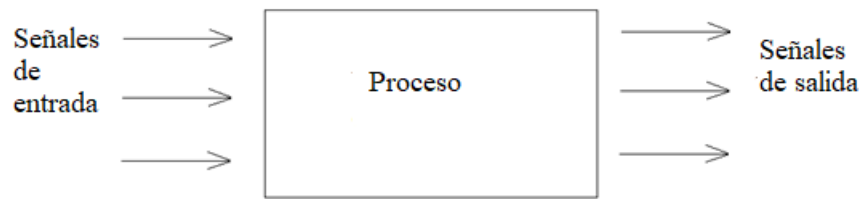


Figura 1 – 2: Diseño conceptual de la caja negra

Fuente: (Hidalgo Aguilera, y otros, 2017)

Señales de entrada. Son todas aquellas condiciones iniciales como energía que definen todo el proceso de la máquina o diseño.

Proceso. Son todos los eventos que ocurren en la máquina.

Señales de salida. Es el producto que se va a obtener.

2.1.1.3. *Diseño del prototipo*

En este paso el ingeniero diseñador utiliza fórmulas y conceptos, así como manuales y normas para el diseño de los elementos que constituyen una máquina, el ámbito que más debe resaltar al momento de diseñar es la seguridad de las personas en conjunto con la parte visual y la funcionalidad. (Hamrcok, y otros, 2000).

Es importante, además, mencionar que mucho de aquello que se desee construir esta normado y existen parámetros que se deben obedecer ya que estas normas permitirán un correcto y seguro diseño, es necesario que el ingeniero diseñador se apoye de la bibliografía existente y de los programas computacionales de ingeniería, en el mercado existen diferentes tipos de softwares especializados en Ingeniería Mecánica, a continuación, se detalla por aplicación:

Software CAD: *Computer Aided Design*, traducido es *Diseño Asistido por Computadora*, este tipo de software permite el diseño de elementos de una manera interactiva y muy dinámica, además permite ensamblar diferentes componentes para estudiar las posibles interacciones entre ellas, algo muy importante en mencionar es que permite realizar planos del elemento o del conjunto y así llevarlos a la producción de ser el caso. (Carman, 2014)

Ejemplos de este tipo de softwares existentes son los muy conocidos SOLIDWORKS, AUTOCAD, CATIA MACHINING, ALLYCAD, TURBOCAD, entre otros.

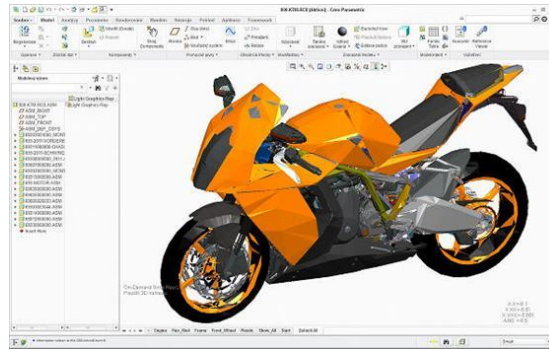


Figura 2 – 2: Motocicleta ensamblada con Solidworks
Fuente: (Carman, 2014)

Software CAM: Siglas para *Computer Aided Manufacturing*, en español es *Fabricación Asistida por Computador*, es un programa complementario al CAD ya que una vez que está modelado se orienta a su fabricación, es aquí cuando se obtiene el código CNC para la máquina y que se desarrolle de una forma automática. (Grupo Carman, 2014).

Ejemplos de estos programas son SOLIDWORKS, CATIA MACHINING, CAMWORKS, EDGE CAM, MASTERCAM, entre otros.

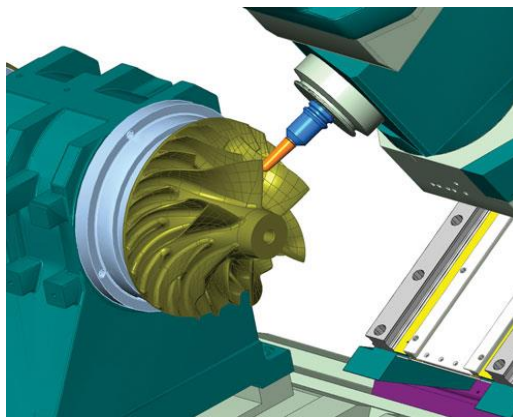


Figura 3 – 2: Uso del programa MasterCam
Fuente (Portal, 2017)

Software CAE: *Computer Aided Engineering*, traducido es *Ingeniería Asistida por Computador*, es usado para analizar un modelo previamente realizado en un software CAD, visto desde el punto de vista de rentabilidad, resistencia, viabilidad de fabricación, simulación, etc., y así estudiar el impacto del producto en el mercado. (Grupo Carman, 2014)

Las ventajas que poseen son.:

- Simulación.
- Análisis de estructuras

Mallas para análisis por elemento finito

Para entender de mejor manera se empezará con un concepto de malla.

La malla es el grado de aproximación que tiene nuestro modelo con la realidad de manera que cuanto más densa sea el mallado el error será menor (Grupo Carman, 2014)

Se recomiendan dos tipos de mallas

- **Malla rectangular**, usado comúnmente para superficies planas.
- **Malla triangular**, se usa más en zonas curvas.

Solo con la experiencia y el suficiente conocimiento del diseñador se podrá llegar a tener una malla acorde a la necesidad de la pieza o elemento que se requiere analizar.

Se podría seguir estas recomendaciones (Grupo Carman, 2014):

1. La relación entre dimensiones no debe de ser muy desproporcional, es decir que el aspecto de ratio debe ser próximo a uno.
2. Los nodos deben estar en la superficie Inter elemental y no saltar de un sólido a otro sin definir una frontera
3. Si el elemento es simétrico aplicar la simulación solo a la mitad, definiendo la restricción de simetría.

Ejemplos de estos programas son: ABAQUS SIMULIA, ANSYS, ALGOR, DANTE, entre otros.

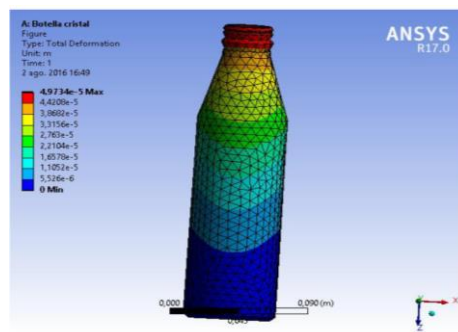


Figura 4 – 2: Análisis de resistencia de una botella plástica
Realizado por: Aguas Santiago. 2021

Software IDE: *Integrated Development Enviroment*, traducido: *Entorno de desarrollo Integrado*, es usado para la resolución de problemas matemáticos orientado a la programación en cálculo numérico con un lenguaje propio (Grupo Carman, 2014).

Ejemplos de estos programas son: MATLAB, MATHCAD, MODE FRONTIER, SIMAPP AUTHORIZING WORKSPACE.

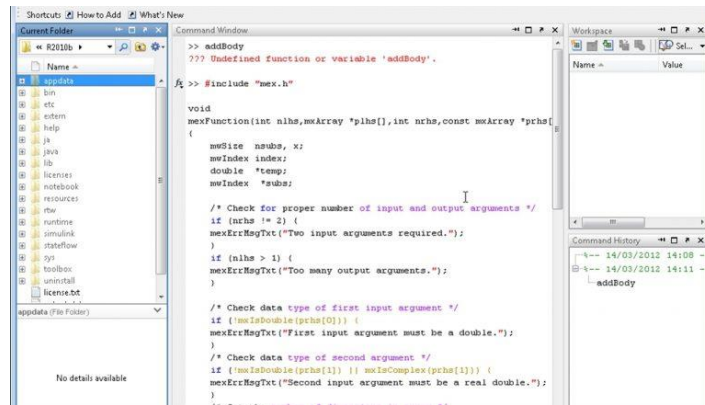


Figura 5 – 2: Programación en Matlab

Fuente (Brainerr, 2016)

2.1.1.4. Creación del prototipo

Consiste en la construcción de la máquina tal y como se diseñó, esto puede tomar tiempo dependiendo de la complejidad del artefacto.

“...Los prototipos a menudo son muy caros, pero pueden ser la forma más económica de probar un diseño, sin tener que construir el dispositivo real de tamaño natural. Pueden adoptar muchas formas, desde modelos a escala de trabajo, hasta representaciones de tamaño natural, pero simplificadas, del concepto...” (Norton, 2009)

Mucho depende de la empresa o persona que diseña si desea un prototipo a escala o a medida real ya que en este punto se debe considerar las causas y efectos que pueden variar en un prototipo, para una construcción que satisfaga tanto al equipo de diseño como a la parte de control, es necesario evaluar parámetros (Hamrcok, y otros, 2000), que se presentará:

- **Diseño medio ambiental.** Relacionado a una *ingeniería verde* que consiste en diseñar y producir de una manera “amigable” al ambiente, reduciendo contaminación de todo tipo.
- **Economía.** Mucho depende de la cantidad inyectada de dinero para obtener un prototipo más fiel a la realidad y evitar alteraciones en los resultados.
- **Consideraciones legales.** Es necesario un estudio jurídico para lo que se realizará ya que pueden existir patentes o sea demasiado peligroso para la sociedad.

2.1.1.5. Evaluación del diseño

En esta etapa se realiza las pruebas de funcionamiento de la máquina, tanto con carga como en vacío, muchas de las veces en ambientes controlados como puede ser temperaturas bajas o altas, o se necesita que la máquina trabaje en su límite máximo de velocidad o revoluciones, en ocasiones es necesario realizar pruebas de laboratorio como ensayos de tensión o compresión en ciertos elementos. (Norton,

2009), en la actualidad existen diversas y muy amplias pruebas que se acoplan a cada tipo de elemento y máquina.

Este tipo de pruebas de funcionamiento permite detectar errores ya sean de diseño o de construcción que pudiesen crear conflictos entre los departamentos de diseño y producción “echándose la culpa” por las fallas, motivo por el cual es importante tener equipos de trabajo capaces y motivados, así como personal que pueda trabajar en conjunto, existen prototipos que no puedan agrandar o su manejabilidad es limitada o muy compleja de acuerdo sea su fin y es necesario modificar desde la etapa de especificaciones generando un malestar tanto al personal de diseño como al de construcción, y por ende afectando gravemente al presupuesto destinado para el fin.

2.1.1.6. *Presentación de la máquina*

Esta etapa es la “consagración” o “desastre” ya sea de una empresa o de la persona que diseña porque es en este ámbito cuando presenta al mundo su máquina sin errores y en un estado atractivo al cliente o consumidor final. (Vijayaraghavan, y otros, 2009)

2.1.2. *Niveles de diseño*

De acuerdo con la fuente que se haya estudiado, pueden existir diversos criterios del tema de los niveles de diseño, el que acopla al presente documento es el que consta en el libro *A Textbook of Machine Design de los autores R.S. Khurma y J.K. Gupta*, que manifiesta: “El **diseño original** es referente a la creación de un objeto único ya sea en su estructura o en su forma estética, el cual servirá para funciones específicas”.



Figura 6 – 2: Estilógrafos - diseño original

Fuente: (estilográficas, 2009)

El **diseño adaptativo** tiende a realizar modificaciones de forma o de fondo para obtener un nuevo producto, por lo general este diseño se basa en un producto ya existente en el mercado.



Figura 7 – 2: Computador portátil – diseño adaptativo

Fuente: (<https://pixabay.com/es/laptop-conocimiento-información-1723059/>, 2016)

El **diseño de variación** o de desarrollo se basa en estudios e investigaciones no solo en su parte estructural sino también su parte funcional y de adaptabilidad en el mercado con el fin de obtener un producto llamativo y que permita seguir estudiándolo para futuros cambios.



Figura 8 – 2: Celulares – diseño de variación

Fuente (Ramirez, 2015)

2.1.3. Consideraciones de diseño

Para un diseño adecuado y óptimo evitando en lo posible errores humanos y técnicos es necesario que se tenga presente estas consideraciones que se presenta a continuación (Richard G. Budynas, 2008):

- Costo
- Funcionalidad
- Resistencia
- Desgaste
- Corrosión
- Seguridad
- Peso
- Tiempo de vida
- Recuperación de recursos
- Ruido
- Tamaño
- Operatividad
- Mantenimiento
- Capacidad
- Lubricación
- Acabado

2.2. Polímeros

La palabra “plástico” tiene una estrecha relación con la “polímero” ya que las dos mencionadas se consideran sinónimos, la primera tiene orígenes griegos que significa “que se puede moldear y formar”, motivo por el cual se puede dar la afirmación de la sinonimia entre dichas palabras. (Kalpakjian, y otros, 2015)

El amplio campo de las aplicaciones que tienen los plásticos en la industria automotriz, aeronáutica, alimenticia, farmacéutica por nombras algunas, ha generado una producción intensa y constante, así como variación entre los diferentes tipos de polímeros existentes produciendo una cantidad innecesaria de envases que muchos de los cuales se usan una vez y se desechan generando contaminación en las ciudades que muchas veces es incontrolable.

2.2.1. Estructura de los polímeros

Las moléculas de los polímeros tienen la característica de su gran tamaño, aspecto que diferencia de la gran cantidad de compuestos químicos orgánicos, también son conocidas como macromoléculas que se forman por polimerización, esto es, por el enlace y enlace cruzado de diferentes monómeros, que es el elemento constitutivo del polímero, que tiene su raíz griega con el significado de “parte”. (Kalpakjian, y otros, 2015)

Un polímero significa “muchos meros” o muchas partes, es decir, un polímero es una cadena repetitiva de meros cuyo material es orgánico en los cuales los átomos de carbono están unidos por uniones covalentes con otros átomos como el hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, flúor, cloro, silicio y azufre. (Kalpakjian, y otros, 2015)

2.2.2. Características de los polímeros

Muchos de los polímeros son usados debido a sus buenas características que son empleados en diversas aplicaciones y en ocasiones en trabajos con alta exigencia, a continuación, se presenta (Kalpakjian, y otros, 2015)

- Resistencia a productos químicos
- Resistencia a la corrosión
- Baja densidad
- Elevada relación resistencia-peso
- Ruido bajo
- Amplia selección de colores y transparencia
- Facilidad de manufactura
- Diseños complejos
- Costo relativamente bajo

2.2.3. Clasificación de los polímeros

Los polímeros se pueden dividir en tres grupos importantes que se mencionará a continuación:

Los **polímeros termoestables** se hacen rígidos permanentemente y si se pone en contacto con calor no se ablandará si no que se romperá: “...son caracterizados por su bajo alargamiento a rotura y por su infusibilidad...siempre serán amorfos, tienen una malla tridimensional, existiendo todavía numerosos enlaces secundarios de unos segmentos de cadena de otros...” (Shackelford, 2005)

El termoestable más conocido es el fenol que es usado para la elaboración de manijas o perillas de ollas y sartenes.



Figura 9 – 2: Manijas de ollas y sartén
Fuente (Interempresas/Plástico, 2003)

Los **polímeros termoplásticos** tienen la capacidad de regresar a su forma inicial en resistencia y dureza después que haya tenido contacto con calor. (Kalpakjian, y otros, 2015)

“...el procesado de este grupo de materiales se realiza calentado el material, hasta que se licue y dejándolo enfriar en un molde con la forma deseada. Dado el salto de temperaturas requerido, normalmente inferior a 200° C, el proceso de fabricación se realiza con enorme rapidez, en tiempos inferiores al minuto...”. (Shackelford, 2005)

Un ejemplo de este tipo de polímero son los acrílicos, nylon, polietilenos y el cloruro de polivinilo.



Figura 10 – 2: Botellas de pet
Fuente (Democophes, 2016)

Los **elastómeros** tienen la capacidad de sufrir grandes deformaciones elásticas sin llegar al punto de ruptura, la palabra elastómeros proviene de dos voces: *elastic* y *meros*. (Kalpakjian, y otros, 2015).

Un ejemplo claro es el denominado en nuestro medio como “elástico”.



Figura 11 – 2: Elastómero

Fuente: (QuimiNet, 2012)

2.3. Tereftalato de polietileno (pet)

Siglas en inglés, es un producto sintético producido por primera vez en 1941 por los científicos británicos Whinfield y Dickson, patentándolo para la fabricación de fibras, forma parte de los polímeros termoplásticos motivo por el cual es posible recuperarlo o reciclarlo. Las plantas petroquímicas producen casi todos los polímeros que existen en el mercado, el 2,7% de cada barril de petróleo está destinado para este fin. (Mariano Blog, 2011).

Químicamente el pet es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol, pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres, para evitar el crecimiento excesivo de las esferulitas y lamelas de cristales, este material debe ser rápidamente enfriado, con esto se logra una mayor transparencia, la razón de su transparencia al enfriarse rápido consiste en que los cristales no alcanzan a desarrollarse completamente y su tamaño no interfiere con la trayectoria de la longitud de onda de la luz visible, de acuerdo con la teoría cuántica.

2.3.1. Propiedades del pet

Las propiedades físicas del pet y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas, bandejas, flejes y láminas, se presentan algunas propiedades del pet (Mariano Blog, 2011)

- Buena resistencia química y térmica.
- Alta resistencia al desgaste.
- Muy buen coeficiente de deslizamiento.
- Excelentes propiedades mecánicas.
- Liviano.
- Alta relación costo/performance
- Alto índice de reciclaje

2.3.2. Datos técnicos del pet

Tabla 2 – 2: Propiedades del pet

PROPIEDAD	UNIDAD	VALOR
Densidad	g/cm ³	1.34 - 1.39
Resistencia a la tensión	Mpa	59 - 72
Resistencia a la compresión	Mpa	76 - 128
Resistencia al impacto	J/mm	0.01 - 0.04
Dureza	--	Rockwell M94 - M101
Dilatación térmica	10 ⁻⁴ /°C	15.2 - 24
Resistencia al calor	°C	80 - 120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 - 15750
Constante di- eléctrica (60Hz)	--	3.65
Absorción de agua(24H)	%	0.02
Velocidad de combustión	mm/min	Consumo lento
Efecto luz solar	--	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	--	Excelente
Calidad óptica	--	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	244 - 254

Fuente (Mariano Blog, 2011)

2.3.3. Aplicaciones del pet

Dado sus características favorables para la producción en cantidades grandes y a su capacidad de reciclaje el pet tiene varios usos, se puede mencionar algunos, así (Mariano Blog, 2011) :

- Fabricación de botellas de todo tamaño y para todo uso.
- Para cinta de películas
- Como aislante de ranuras y fases de motores, bobinas, transformadores.
- Para conectores eléctricos de alta densidad.

- Se utiliza en la fabricación de repuestos que necesiten superficies duras, planas y buena estabilidad dimensional.
- Para la fabricación de fibras usadas en alfombras, ropa, telas de decoración, cortinas, etc.)

2.3.3.1. Botellas a partir del pet

El plástico tiene diversas aplicaciones, pero el más conocido son las botellas utilizadas generalmente como envases para jugos, agua, químicos, lácteos, entre otros, en el mundo se genera aproximadamente 12 millones de este producto con un aumento del 6 % anual. (BMI Machines, 2015).

Una de las características por las cuales es utilizada este polímero es su alta resistencia, se podría decir que es “irrompible”, además de poder reciclar y dar nueva vida ya sea al mismo producto o a diferentes aplicaciones.

Las láminas de plástico se moldean para que la botella adquiera la forma necesaria para la función a que se destina, lo cual se puede realizar a través de diferentes procesos que a continuación se presenta.

Moldeo por inyección y soplado.

Se obtiene una preforma o lámina del polímero que se está procesando, a continuación, se calienta y se coloca en el molde con la forma deseada en donde se inyecta aire, de esta manera se obtiene la pieza que se desea.

Moldeo por extrusión y soplado.

Es un proceso en el que la preforma consiste en una manga tubular como un tubo de ensayo, conformada por extrusión a la cual se le llama párison, ésta se cierra por la parte inferior de forma hermética debido al pinzamiento que ejercen las partes del molde al cerrarse, posteriormente se sopla, se deja enfriar y se expulsa la pieza.

Moldeo por coextrusión y soplado

Mediante esta técnica de soplado se consigue productos multicapa, el párison extruido incluye todas las capas necesarias que en forma de tubo ingresan al molde para crear el producto final (Quiminet, 2011)

Propiedades del pet reciclado

Dado a los tratamientos que se llevaron a cabo al conformar una botella virgen las propiedades varían al pet reciclado, a continuación, se presenta la tabla con la diferencia entre las dos:

Tabla 3 – 2: Diferencias de las características del pet y petr

CARACTERÍSTICAS DEL PET Y PETR			
PROPIEDAD	UNIDAD	PET	PETr
Módulo de Young	Mpa	1890	1630
Resistencia a la rotura	Mpa	47	24
Elongación a la rotura	%	3,2	110
Resistencia al impacto	Jm^{-1}	12	20
Viscosidad intrínseca	$dl\ g^{-1}$	0,72 - 0,84	0,46 - 0,76
Temperatura de fusión	°C	244 - 254	247 - 253
Peso molecular	$g\ mol^{-1}$	81600	58400

Fuente: (Plástico, 2011)

2.4. Tendencias actuales del reciclaje de botellas pet

En un mundo lleno de cambios y mejoras tecnológicas orientándose a una “*ingeniería verde*”, es decir, máquinas que sean amigables con el medio ambiente ya sea en relación directa o indirecta con bosques nativos, fuentes acuíferas, suelos productivos y comunidades con índices de contaminación del aire fuera del rango permitido; es primordial y necesario que las empresas constructoras, automotrices, petroleras, madereras y demás que se dedican a la explotación de recursos renovables y no renovables tengan una conciencia de conservación y manejo adecuado de la materia prima, así como el uso racional de combustibles, motivo por el cual muchas de las fábricas “grandes” han empezado a realizar estudios de energías limpias y renovables tales como la solar, eólica, geotérmica, las cuales ayudan a reducir el consumo de combustible fósil, no solo estas empresas dedicadas a este servicio deben aceptar su responsabilidad sino todas en donde intervenga una máquina deben buscar alternativas de re utilizar las materias base.

Existen empresas a nivel mundial dedicadas a ofrecer este servicio de reciclaje de diferentes productos, por nombrar algunas existen fábricas que se dedican a la recuperación de basura tecnológica y así separar los metales preciosos, y los diferentes tipos de plásticos obtenidos de dicho trabajo, a su vez tenemos empresas que se dedican a la recuperación de botellas plásticas en todas sus presentaciones para de una u otra manera obtener la materia prima y reutilizar obteniendo de esta manera sub productos o nueva materia prima para la fabricación de nuevos envases.

2.4.1. Reciclaje destinado a uso directo

2.4.1.1. Reciclaje destinado a construcciones ecológicas.

En la sociedad del siglo XXI existen personas o familias que no tienen una casa propia y se sigue viendo en las calles a gente que vive y duerme a la intemperie, motivados por esto muchas comunidades se han organizado para lograr un fin, que es el de construir una casa para el que no lo tenga, por el cual surgió la idea de producir viviendas fabricadas con botellas pet, como se menciona en el artículo de investigación de la revista APUNTES volumen 25, número 2 del año 2012; escrito por los autores: Daniel Ruiz Valencia, Cecilia López Pérez, Eliana Cortes y Andreas Froese: *“...imponen como reto a los arquitectos e ingenieros para el siglo XXI lograr un hábitat que responda a las necesidades funcionales y estéticas de las poblaciones más vulnerables en condiciones económicamente favorables y sostenibles con respecto a su contexto, a través de la gestión de proyectos que contemplen tecnologías constructivas amigables con el medioambiente y su entorno. Este reto implica adentrarse en el campo de la tecnología con materiales reutilizados, de tradición ancestral o nueva, que produzcan bajo impacto ambiental, ahorro energético, disminución de residuos y optimización de costos”*.

Para la construcción de una casa de aproximadamente 170 m² se necesitan alrededor de 36000 botellas plásticas de 2 o 3 litros, es decir, 81 botellas para 1 m², para lo cual los envases deben estar sanos en su forma o no aplastados y sin tapa que permite llenar de tierra hasta alcanzar una consistencia satisfactoria, una vez terminado el llenado se procede a realizar el levantamiento de las paredes con mezcla hecha de cal, cemento, y otros aditivos. (Blog de residuos de la Cuarta R, 2012).



Figura 12 – 2: Fachada de una casa de botellas plásticas

Fuente (Blog de residuos de la Cuarta R, 2012)

2.4.1.2. Reciclaje destinado a obtener cuerdas a partir de botellas pet

Se calcula que desde que se inventó el plástico hasta el año 2015 se han producido unos 8300 millones de toneladas métricas que correspondería a unos 1100 Kg por habitante en el mundo. De esta cantidad de plástico que se ha producido en la historia de la humanidad, todavía está en uso aproximadamente un 30 % es decir unas 2490 toneladas métricas, el 70% restante se ha convertido en residuos. Del total de estos residuos, el 79% ha sido arrojado en cualquier lugar del planeta contaminando el ambiente o

en algún vertedero, el 12% ha sido incinerado y tan solo el 9% que significa aproximadamente 540 toneladas ha sido reciclado. Si continúa la tendencia actual de fabricación y gestión de plásticos, para el año 2050 habrá 13000 millones de toneladas de plásticos arrojadas en los vertederos o en el ambiente. (Geyer, y otros, 2017)

Empresas a nivel nacional e internacional han encontrado como sustento esta actividad que no necesita de maquinaria grande y contaminante para obtener las cuerdas, ya que para producir los diferentes subproductos se necesitan combustibles fósiles en sus diferentes máquinas, motivo por el cual esta manera de explotar el pet junto a las construcciones ecológicas son las que menos impacto ambiental producen.



Figura 13 – 2: Cuerdas a partir de botellas pet
Fuente: (Plástico, 2011)

2.4.2. Reciclaje destinado a obtener subproductos

2.4.2.1. Reciclaje destinado a vestimenta

Un nuevo y novedoso uso para las botellas de pet recicladas es la creación de ropa de uso diario, el cual alteró la manera usual y común de la fabricación de las prendas de vestir.

Se necesitan entre 10 y 100 botellas de pet para fabricar una prenda, las ventajas que se obtienen con este material son diversos como por ejemplo los costos de producción son demasiado bajos, así como la obtención de la materia prima es fácil y barata. (Sanchez, 2014).

Para el proceso de las prendas de vestir se deben tener en consideración lo siguiente (AvatarEnergía.com):

- Las botellas de pet recogidas se esterilizan, se secan y clasifican de acuerdo al color del plástico para luego ser trituradas en pequeñas astillas.
- Las astillas se calientan y pasan a través de una hilera para formar cuerdas de hilo que son enrollados en carretes.
- La fibra se pasa luego a través de una máquina de engrase para crear una textura esponjosa.
- Este hilo se embala, se tiñe y se teje en tejido de poliéster.

Las prendas de vestir elaboradas de esta manera son un 30% más costosas que la producción de tejido de poliéster convencional dado que el proceso de obtención es mucho más tedioso y toma más tiempo, pero a pesar de todo lo mencionado la sociedad consume este tipo de productos ya que son amigablemente con la naturaleza.

En la actualidad la tecnología orientada a ser más amistosa con el medio ambiente mediante herramientas que han alcanzado un avance impresionante es global y en todo tipo de empresas e incluso en el fútbol ya que existen equipos dentro de los 10 más importantes del mundo que confeccionan sus camisetas con la tecnología que se ha mencionado.

A continuación, se presenta una tabla con las empresas que producen este tipo de producto y su lugar:

Tabla 4 – 2: Empresas que producen fibra reciclada para vestimenta

EMPRESA	CANTIDAD DE BOTELLAS PARA PRODUCIR UNA PRENDA	PAÍS
Super Textile Corporation	78	Taiwan
Ecoalf 1.0	70	España
G-Star Raw	66	EEUU
Dgrade	67	Dubai
Billabong: Eco Supreme Suede	10	Suecia
Ganesha Ecosphere	-	India
Liar the Label	-	Reino Unido
Morphoplast	-	México
Natuh	-	Colombia
Textil Santanderina	-	España

Fuente: (AvatarEnergía.com)



Figura 14 – 2: Reciclaje de plásticos y la confección de prendas

Fuente: (Cerillo, 2015)

2.4.2.2. Para uso agropecuario

Para este tipo de aplicación es importante que se cumpla ciertas condiciones de la hebra como los grosores destinados a sujetar las plantas, ya que no debe lastimar el tallo o los frutos, siendo una pérdida (Hidalgo Aguilera, y otros, 2017)

Tabla 5 – 2: Grosor de hebras para uso agropecuario

GROSOR DE LA HEBRA	
FRECUENCIA	GROSOR OBTENIDO
3 Hz	1,6 mm
4 Hz	2,8 mm
5 Hz	4,0 mm
6 Hz	5,2 mm

Fuente: (Hidalgo Aguilera, y otros, 2017)

Como se puede observar en la tabla anterior, los grosores promedio en función de la frecuencia, que se entiende como el obtenido por segundo, demostrando que se pueden obtener diferentes valores acordes a diferentes parámetros.

Tabla 6 – 2: Longitudes obtenidas por botella

LONGITUDES OBTENIDAS POR BOTELLA	
FRECUENCIA	LONGITUD OBTENIDA
3 Hz	46,5 m
4 Hz	27,5 m
5 Hz	18,6 m
6 Hz	14,8 m
7 Hz	11,3 m

Fuente: (Hidalgo Aguilera, y otros, 2017)

En la tabla anterior se pueden visualizar valores obtenidos de botellas de tres litros y con los grosores que presenta la tabla 4 – 2.



Figura 15 – 2: Sujeción de planta con hebra de botellas pet

Fuente: (Hidalgo Aguilera, y otros, 2017)

2.4.2.3. Alfombras

El pet reciclado se usa en la creación de alfombras, la empresa Image (Summerville, GA, USA) usa aproximadamente 60000 botellas de tereftalato de polietileno para alcanzar el fin. (Mariano Blog, 2011)

Esta tendencia de crear alfombras con botellas de plástico recicladas ha llegado recientemente a la empresa de muebles y decoración más famosa del planeta. Ikea comercializa desde esta temporada de invierno “ para el que la multinacional sueca usa 320, 500 o 750 botellas de pet recicladas en función del tamaño.

Hay empresas que van más allá y no solo realizan sus alfombras con botellas de plástico. Ya están en el mercado ejemplares de alfombras realizadas completamente gracias a pajitas recicladas, un producto altamente contaminante. España es el país europeo que más pajitas de plástico usa, según un informe de Greenpeace que estima que cada día se utilizan 13 millones de unidades. (Nieto Sánchez, 2019)



Figura 16– 2: Alfombra de botellas pet

Fuente: (Nieto Sánchez, 2019)

2.4.2.4. Escobas

Una de las aplicaciones donde más novedoso resulta es en las escobas con hilos de botellas pet recicladas, lamentablemente no existen suficientes documentos que respalden este tipo de investigaciones siendo este trabajo técnico uno que permitirá la innovación,

El docente y emprendedor Miguel Rodríguez del municipio Dos de Mayo de la provincia de Misiones de Argentina, elaboró este producto pensando en la contaminación y el desperdicio de materia prima que se generan todos los días en distintos lugares del planeta.: “Nuestro objetivo es incorporar una máquina para mecanizar la fabricación del hilo, empleando la totalidad de la botella, con lo que tendríamos 87 metros de hilo ecológico”.

Esto respalda que la investigación del presente documento tiene la base sólida para empezar con un pequeño negocio y contribuir tanto a nivel ambiental como económico.



Figura 17 – 2: Escoba ecológica con botellas de plástico

Fuente: / Fabricarán escobas con el reciclado de botellas plásticas - ((La 97 Radio Fueguina))

2.5. Marco teórico del diseño de una máquina para la elaboración de cuerdas a partir de botellas pet

Para el diseño de la máquina que se obtendrá las cuerdas a partir de botellas de polyethylene terephthalate (pet por sus siglas en inglés) o tereftalato de polietileno, el investigador tomó diversas fuentes bibliográficas de diseño de elementos mecánicos; se sintetizó fórmulas establecidas de varios autores, que se detallan a continuación:

2.5.1. Selección del motor

Para la selección utilizamos:

$$PD = C1x Pc$$

El factor de servicio de un motor es un indicador de su habilidad para exceder la potencia mecánica nominal de salida sostenida, un factor de servicio mayor nos da un margen para las demandas de potencia pico sin tener que seleccionar un motor del tamaño siguiente, una vez determinada la potencia de diseño, en los respectivos catálogos se debe confirmar su existencia caso contrario se elegirá el próximo motor.

2.5.2. Transmisión de potencia

El uso de elementos flexibles como bandas, cadenas o cables se utilizan generalmente en la industria del transporte y para enviar movimiento al mecanismo a distancias largas, además, tienen una función importante en la absorción de cargas de impacto y en el amortiguamiento así como en el aislamiento de los efectos de las vibraciones, lo que es una ventaja importante para la vida de la máquina, los elementos se deben reemplazar a la primera señal de deterioro (Shigley, 1998), es importante definir las ventajas y desventajas de cada uno de los elementos flexibles para realizar una elección adecuada que servirá a la máquina, a continuación, se detallará (ingemecánica, 2017):

2.5.2.1. Transmisión por cadenas

Este tipo de transmisiones son usados ampliamente donde se desee transmitir grandes pares de fuerza y donde los ejes de transmisión se muevan en un rango de velocidades de giro entre bajas y medias.

A continuación, se detallará características de este tipo de transmisiones:

- Son transmisiones robustas que permiten trabajar en condiciones ambientales difíciles y con temperaturas elevadas.
- Requieren lubricación constante.
- Proporcionan una relación de transmisión fija entre las velocidades y el ángulo de giro de los ejes de entrada y salida.

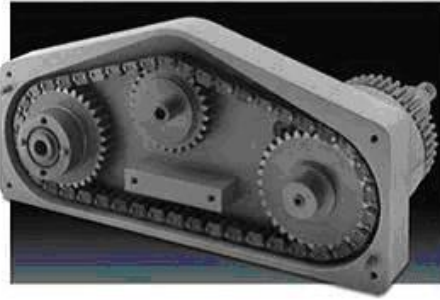


Figura 18 – 2: Transmisión por cadenas
Fuente (ingemecánica, 2017)

Clasificación de las cadenas

Según su función a desarrollar, las cadenas se clasifican en:

Cadenas de transmisión de potencia

Este tipo de cadena es usada para transmitir la potencia entre ejes que giran a unas determinadas velocidades (Motor Pasión- Moto, 2010).



Figura 19 – 2: Cadenas de transmisión de potencia
Fuente: (Motor Pasión- Moto, 2010)

Cadenas de manutención

También son denominadas cadenas transportadoras, gracias a una geometría específica de sus eslabones o enlaces le permiten transportar o arrastre de material (Mecapedia , 2008).

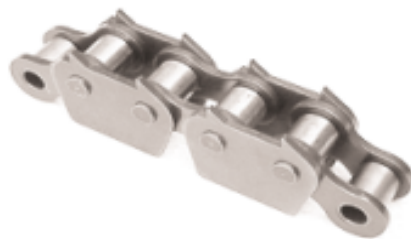


Figura 20 – 2: Cadenas de manutención
Fuente (Sedis, 2010)

Cadenas de carga

Permiten transmitir grandes cargas por ejemplo la elevación de grandes pesos.



Figura 21 – 2: Cadenas de carga

Fuente: (Vikingo Web Sling & tie downs, 2015)

2.5.2.2. Transmisión por cables

Es un sistema similar al de la transmisión por correas, se utiliza un cable de acero y es muy usado en sistemas como (Mecapedia , 2008):

- Sistemas de elevación de cargas (ascensores, polipastos) por la gran resistencia de los cables de tracción.
- Transmisiones de movimiento de escáneres y fotocopiadoras, dado el pequeño tamaño de los cables y poleas necesarias.
- Accionamiento de frenos o embragues, por la sencillez de transmisión entre puntos alejados.

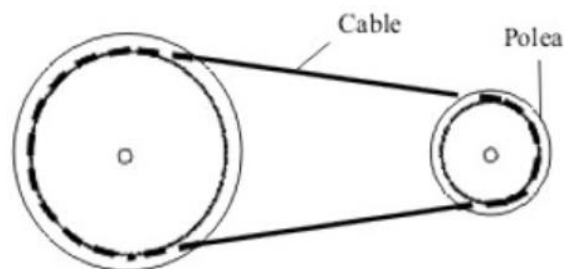


Figura 22 – 2: Sistema de transmisión por cable

Fuente (Mecapedia , 2008)

2.5.2.3. Transmisión por correas

Son elementos mecánicos flexibles que transmiten potencia, acoplándose sobre poleas, solidarias con ejes que a su vez producen el par de giro, las bandas tienen un comportamiento de amortiguador debido a su naturaleza flexible reduciendo de esta manera las vibraciones que puedan transmitirse entre los ejes, este tipo de transmisiones es relativamente más barato (ingemecánica, 2017).

Partes elementales

Todo tipo de transmisión por correa se constituye por:

- Elemento flexible o correa.
- Dos o más elementos portadores o poleas.
- Uno conductor.
- Uno o más los conducidos.
- Elementos tensores.



Figura 23 – 2: Transmisión por correa
Fuente (Mecapedia , 2008)

Clasificación de transmisión por correas

Las correas se clasifican según diversos criterios que a continuación se detalla en la siguiente tabla de una manera resumida realizada por Higinio Rubio Alonso de la Universidad Carlos III de Madrid:

Tabla 7 – 2: Comparación entre los tipos de correas

CRITERIO	PLANA	TRAPECIAL	ESLABONADA	DENTADA	POLY V	REDONDA
Carga en los árboles	<i>Muy grande</i>	<i>Pequeña</i>	<i>Pequeña</i>	<i>Mínima</i>	<i>Grande</i>	<i>Muy grande</i>
Trabajo a V= 25m/s	<i>Aceptable</i>	<i>Aceptable</i>	<i>Mala</i>	<i>Buena</i>	<i>Aceptable</i>	<i>Regular</i>
Resistencia a los choques	<i>Muy buena</i>	<i>Buena</i>	<i>Regular</i>	<i>Aceptable</i>	<i>Muy buena</i>	<i>Buena</i>
Eficiencia	97 - 98	96 – 97	95 - 96	98 - 99	96 – 97	95 - 96
Longitud de correa	<i>Libre</i>	<i>Normalizada</i>	<i>Libre</i>	<i>Dependiente</i>	<i>Normalizada</i>	<i>Libre</i>
Tolerancia a la desalineación	<i>Pequeña</i>	<i>Grande</i>	<i>Grande</i>	<i>Pequeña</i>	<i>Pequeña</i>	<i>Muy grande</i>
Nivel de ruido	<i>Muy bajo</i>	<i>Muy bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>
Sincronismo	<i>No</i>	<i>Normalizada</i>	<i>No</i>	<i>No</i>	<i>No</i>	<i>No</i>
Costo inicial	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Moderado</i>	<i>Moderado</i>	<i>Mínimo</i>
Necesidad de control de tensado	<i>Alguna</i>	<i>Escasa</i>	<i>Alguna</i>	<i>Escaso</i>	<i>Alguna</i>	<i>Alguna</i>
Facilidad de montaje entre apoyos	<i>Si</i>	<i>No</i>	<i>Si</i>	<i>No</i>	<i>No</i>	<i>Si</i>
Ancho reducido	<i>No</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>	<i>No</i>	<i>Si</i>
Diámetro reducido	<i>Si</i>	<i>No</i>	<i>No</i>	<i>No</i>	<i>Si</i>	<i>No</i>

Fuente: (Alonso, 2015)

2.5.2.4. *Parámetros para la selección de correas de transmisión*

La selección de correas de transmisión consiste en comprobar que la tensión de tracción sobre ella en el ramal más cargado no supere la tensión máxima admisible.

Se deben considerar varios factores importantes para una selección adecuada de un sistema de transmisión por banda a continuación, se presenta (Khurmi, y otros, 2005)

- La velocidad de transmisión
- La potencia para transmitir
- Espacio disponible
- La relación de reducción de la velocidad
- La distancia entre los centros de los ejes
- El diseño del eje
- Condiciones de servicio

2.5.2.5. *Consideraciones para el diseño de correas*

(Khurmi, y otros, 2005)

- La relación de transmisión no debe exceder 6:1.
- El arco de contacto de la polea menor no debe ser inferior a 120° .
- La distancia entre centros no deberá exceder 2.5 a 3 veces la sumatoria de los diámetros de las poleas ni ser inferior al diámetro de la polea más grande.
- Las poleas deberán balancearse de una forma dinámica para velocidad que excedan los 5000 ft/min.
- La temperatura de operación no deberá exceder los 160° para trabajos continuos y los 170° para trabajos cortos.

A continuación, se presenta un gráfico desarrollado por el Ing. José Ramírez Lozano para la Universidad Autónoma de Nuevo León, en el año 2000:

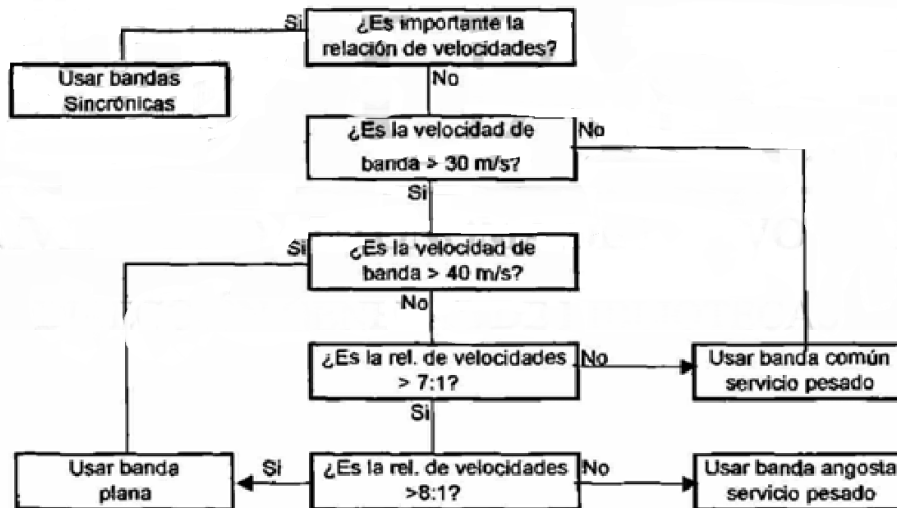


Gráfico 1 – 2: Selección de correas acorde a la velocidad

Fuente: (Lozano Ramírez, 2000)

2.5.3. Relaciones básicas

2.5.3.1. Relación de transmisión

Se define como una relación que existe entre dos engranajes conectados entre sí, ejerciendo fuerza el uno sobre el otro, se pueden realizar cálculos con los diámetros:

$$i = \frac{D_p}{d_p} \quad (1)$$

Dónde:

i = Relación de diámetros

D_p = Diámetro primitivo de la polea lenta

d_p = Diámetro primitivo de la polea rápida

Además, se lo puede hallar con las velocidades angulares

$$i = \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

Dónde:

n_2 = Velocidad angular de la polea lenta

n_1 = Velocidad angular de la polea rápida

2.5.3.2. *Factor de diseño*

Es un factor que considera los incrementos de carga que se producen en las correas acorde a los diferentes parámetros a considerar como son:

- Cantidad de horas diarias de trabajo
- Tipo de servicio

A continuación, se presenta una tabla con los diferentes valores del factor de diseño tomados de un documento de investigación realizado por Eidelman, Flórez e Higuera para la revista de la facultad de ingeniería de la UPTC en su volumen 22, No 35 de diciembre de 2013.

Tabla 8 – 2: Factor de servicio

Máquina accionada		Máquina motriz					
Clase	Ejemplo	Motores eléctricos (CA de arranque suave, CD con arrancador estrella delta, CD Shunt), motores de combustión interna con más de 4 cilindros, máquinas con acoples flexibles			Motores eléctricos (CA de arranque directo, CD serie y compuesto), máquinas de combustión interna con menos de 4 cilindros		
		Horas de trabajo diarias			Horas de trabajo diarias		
		<10	10 a 16	>16	<10	10 a 16	>16
1 (servicio ligero)	Agitador densidad uniforme. Ventilador y soplador(<7.5kW) Compresor y bombas centrífugas Banda transportadora (carga uniforme)	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
2 (servicio medio)	Agitador (densidad variable) Ventilador y soplador(>7.5kW) Compresor y bomba rotativa Banda transportadora (carga no uniforme) Generador, lavadora, eje de transmisión Máquina herramienta, imprenta Máquina para madera	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
3 (servicio pesado)	Máquina para fabricar ladrillo Elevador, compresor y bomba reciprocante Transportadora (carga pesada), montacargas Molino de percusión, pulverizadora Prensa, cizalla, maquinaria para caucho Vibrador, maquinaria textil	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
4 (servicio extrapesado)	Troqueladora, laminadora Trituradora circular, de mordazas, de rodillos Molino triturador de bolas y de barras	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
<p>Nota: Para transmisiones con reducción de velocidad</p> <p>Si $(1.0 < i < 1.24)$ multiplique fs por 1.0</p> <p>Si $(1.25 < i < 1.74)$ multiplique fs por 1.05</p> <p>Si $(1.75 < i < 2.49)$ multiplique fs por 1.11</p> <p>Si $(2.5 < i < 3.49)$ multiplique fs por 1.18</p> <p>Si $(i > 3.5)$ multiplique fs por 1.25</p>							

Fuente: (Eidelman, y otros, 2013)

2.5.3.3. Potencia de diseño

Esta potencia es considerada como la máxima potencia para transmitir teniendo en cuenta los factores de servicio anteriormente analizados

$$P_d = P \times f_s \quad (3)$$

Dónde:

P_d = Potencia de diseño

P = Potencia

f_s = Factor de diseño

2.5.3.4. Selección del perfil de la correa

Es posible determinar la potencia de la correa mediante la potencia de diseño y la velocidad de la polea más rápida con la siguiente imagen:

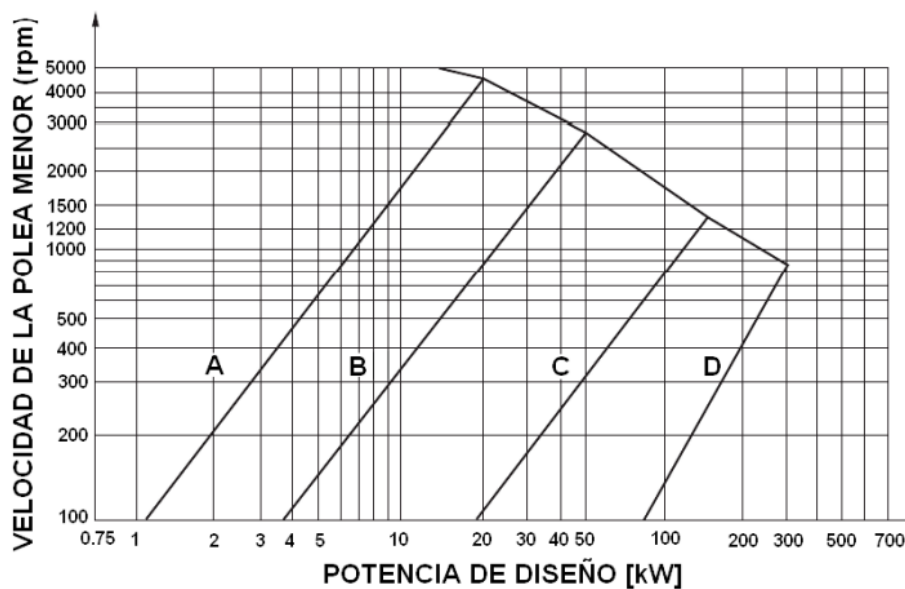


Gráfico 2 – 2: Recomendaciones para la selección del perfil de la correa

Fuente: (Eidelman, y otros, 2013)

2.5.3.5. Identificación de la correa

Una vez que se ha identificado el tipo de correa a utilizar, se recomienda el uso de las siguientes medidas como diámetro primitivo mínimo en [mm]

Tabla 9 – 2: Recomendaciones de diámetro primitivo mínimo

SECCIÓN	A	B	C	D	E
Diámetro primitivo mínimo [mm]	63	100	160	280	400

Fuente: (Lozano Ramírez, 2000)

2.5.3.6. Distancia entre ejes

Si no existen distancias ya establecidas se recomienda que la distancia entre ejes debe ser mayor o igual que el diámetro primitivo de la polea rápida pero no mayor o igual a tres veces la suma de los diámetros de las poleas rápida y lenta.

Teniendo las siguientes consideraciones:

$$\text{Para } 1 < i < 3 \quad C \geq \frac{(i+1)d_p}{2} + d_p \quad (4)$$

$$\text{Para } i > 3 \quad C \geq D_p \quad (5)$$

2.5.3.7. Longitud primitiva de la banda

La longitud de la banda puede ser hallada por la expresión:

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(D_p + d_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4C} \quad (6)$$

Dónde:

L = Longitud de la correa

C= Distancia tentativa entre ejes

Dp = Diámetro primitivo de la polea rápida

dp = Diámetro primitivo de la polea lenta

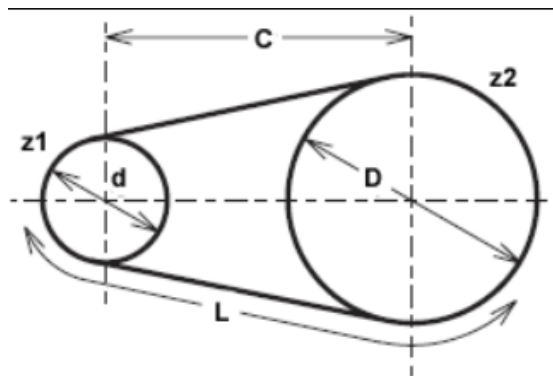


Figura 24 – 2: Transmisión mediante correa abierta

Fuente: przekladnia.gif (268x175) (ebmia.pl)

2.5.3.8. Distancia entre centros de las poleas

Para el cálculo de la distancia entre centro de poleas se aplica las siguientes ecuaciones

$$A = H + \sqrt{H^2 - B} \quad (7)$$

Dónde

$$H = \frac{L}{4} - 0.3925(D + d) \quad (8)$$

$$B = \frac{(D-d)^2}{8} \quad (9)$$

Una vez hallada la distancia entre centros se debe corregir mediante la siguiente ecuación

$$C_c = C \pm \left| \frac{L - L_n}{2} \right| \quad (10)$$

Dónde

C_c = Distancia entre centros corregido

L = Longitud de la banda

L_n = Longitud de la banda normalizada

C = Distancia entre centros

Para L_n se debe considerar los datos de los anexos del 1 al 4, tomados del trabajo del Ingeniero José Ramírez Lozano.

Considerando el signo se debe tomar en cuenta lo siguiente

Positivo cuando $L < L_n$

Negativo cuando $L > L_n$

2.5.3.9. Ángulo de contacto menor

Para determinar el ángulo de contacto se debe aplicar la siguiente ecuación

$$\alpha_1 = 2 \cos^{-1} \left(\frac{D_p - d_p}{2C_c} \right) = 180 - 57 \left(\frac{D_p - d_p}{C_c} \right) > 120 \quad (11)$$

2.5.3.10. Cantidad de correas necesarias

Para determinar el número de correas que se necesitan se aplica la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{P_D}{C_2 * C_3 * P_1} \quad (12)$$

Dónde

Z = Número de correas

P_D = Potencia de diseño

C_2, C_3, P_1 = Constantes para hallar en tablas

Ahora, para el cálculo de P1, C2 y C3 se deben aplicar los anexos 5, 6 y 7 respectivamente

2.5.3.11. Velocidad de la correa

Para el cálculo se aplica la siguiente ecuación

$$v = N * r \quad (13)$$

Dónde

v= Velocidad de la correa

N = r.p.m.

r= Radio de la polea

Se recomienda tener en consideración los siguientes datos, obtenidos del libro “*Machine elements in mechanical design*” de Robert L Mott, cuarta edición

V_{máx} = (25 a 30) m/s para correa de perfil normal

V_{máx}= (35 a 45) m/s para correa de perfil estrecho

2.5.3.12. Verificación de los ciclos de flexión por segundo

Se aplicará la siguiente ecuación:

$$i_f = 1000 * n_p * \frac{v}{L_n} \quad (14)$$

Dónde

i_f = Flexión por segundo de un segmento de correa [seg^{-1}].

n_p = Cantidad de poleas en contacto con la correa.

v = Velocidad de la correa [m/s].

L_n = Longitud normalizada de la correa [mm].

Se deberá tener en cuenta la siguiente información

$[i_f] = 30 \text{ seg}^{-1}$ perfil normal.

$[i_f] = 60 \text{ seg}^{-1}$ perfil estrecho.

$[i_f] = 100 \text{ seg}^{-1}$ perfil estrecho de flancos abiertos.

2.5.3.13. Factor de seguridad

Cálculo que permite determinar si la correa seleccionada es la óptima para el trabajo.

$$n_{fs} = \frac{(C_2 * C_3 * P_1) * Z}{P_D} \quad (15)$$

Dónde

n_{fs} = Factor de seguridad

C_2, C_3, P_1 = Constantes para hallar en tablas

Z = Número de correas

P_D = Potencia de diseño

2.5.3.14. Tensiones en las poleas

Ecuación utilizada para el cálculo de tensiones

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{f\theta} \quad (16)$$

Dónde:

F1 = Fuerza en el lado tenso

F2 = Fuerza en el lado flojo

f = Coeficiente de fricción

θ = Ángulo de contacto (180°)

El coeficiente de fricción se obtiene del anexo 5

2.5.3.15. Ecuación de potencia en función de la velocidad

$$P = F * V \quad (17)$$

Dónde

P = Potencia en watts

F = Fuerza

V = Velocidad

2.5.3.16. Torque producido por la correa

$$T = F * r \quad (18)$$

Dónde:

T = Torque

F=Fuerza

r=radio de la polea

2.6. Diseño de ejes

Un eje es un elemento rotario cuya sección es por lo general circular, que se emplea para transmitir potencia o movimiento (Shigley, 1998)

Para realizar un diseño adecuado del eje se debe tener varias consideraciones como:

- Selección del material.
- Esfuerzos
- Deflexión y rigidez
- Vibración debida a la frecuencia natural

2.6.1. Esfuerzos en ejes

Par un análisis adecuado de los esfuerzos se tomarán los puntos críticos del mismo, por lo general estas ubicaciones se localizan en la superficie exterior, en ubicaciones axiales donde el momento flexionante es grande, donde el par de torsión está presente y donde existen concentraciones de esfuerzos (Shigley, 1998).

2.6.1.1. Esfuerzo por flexión

Se configura en una pieza cuando éste sufre acción de cargas cortantes que produzcan un momento flector significativo.

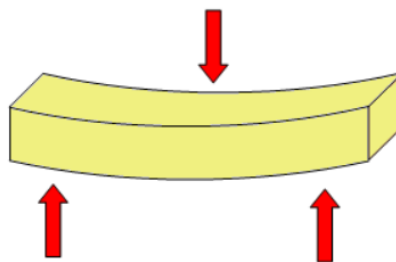


Figura 25 – 2: Viga sometida a flexión

Fuente: Esfuerzo-flexion.png (362×211) (wikimedia.org)

La ecuación para determinar dicho esfuerzo es:

$$\sigma_f = \frac{32M}{\pi D^3} \quad (19)$$

Dónde

σ_f = Esfuerzo por flexión

M= Momento flector

D= Diámetro del eje

2.6.1.2. Esfuerzo por torsión

Es la fuerza que actúa sobre un objeto produciendo giro sobre sí mismo

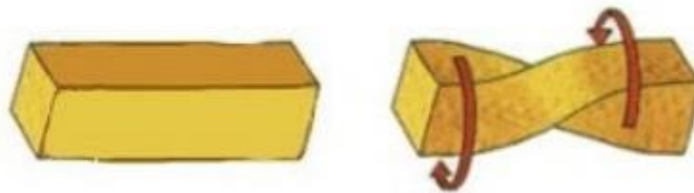


Figura 26 – 2: Viga sometida a esfuerzos por torsión
Fuente: Sin+título.jpg (311×96) (bp.blogspot.com)

A continuación, se presenta la ecuación que domina este tipo de esfuerzo:

$$\tau_f = \frac{16T}{\pi D^3} \quad (20)$$

Dónde:

τ_f = Esfuerzo por torsión

T= Torque

D= Diámetro de la polea

2.6.1.3. Variación de esfuerzos

Se aplicará el siguiente criterio

$$\sigma_{fa} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (21)$$

Dónde:

σ_{fa} = Esfuerzo amplitud por flexión

2.6.1.4. Ecuación de los esfuerzos combinados

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{(\sigma_{fa} + \sigma_{aa})^2 + (\tau_{Ta} + \tau_{ca})^2} \quad (22)$$

Dónde

σ_{eqa} = Esfuerzo equivalente amplitud

σ_{fa} = Esfuerzo amplitud por flexión

σ_{aa} = Esfuerzo amplitud por carga axial

τ_{Ta} = Esfuerzo amplitud por torsión

τ_{ca} = Esfuerzo amplitud por torsión

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{(\sigma_{fm} + \sigma_{am})^2 + (\tau_{Tm} + \tau_{cm})^2} \quad (23)$$

Dónde

σ_{eqm} = Esfuerzo equivalente medio

σ_{fm} = Esfuerzo medio por flexión

σ_{am} = Esfuerzo medio por carga axial

τ_{Tm} = Esfuerzo medio por torsión

τ_{cm} = Esfuerzo medio por torsión

2.6.1.5. Límite de resistencia a la fatiga

Para el cálculo de dicho límite se ha tomado como base el libro Diseño de ingeniería mecánica de Shigley en su octava edición

Se presenta la ecuación con sus etiquetas:

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S_e' \quad (24)$$

Dónde:

- **S_e** = Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.
- **k_a** = Factor de modificación de la condición superficial
- **k_b** = Factor de modificación del tamaño
- **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
- **S_e'** = Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

Para el cálculo de dichos coeficientes se aplicará el siguiente criterio, tomado del libro de Shigley, así:

Factor de modificación de la condición superficial K_a

Este factor depende de la calidad del acabado de la superficie de la parte y de la resistencia a la tensión.

Se aplicará la siguiente ecuación:

$$k_a = a S_{ut}^b$$

Dónde:

S_{ut} = Es la resistencia mínima a la tensión
a y b serán tomados de la siguiente tabla:

Tabla 10 – 2: Valores de a y b para Ka

Acabado superficial	Exponente a		Exponente b
	Sut Kpsi	Sut Mpa	
Esmerilado	1,34	1,58	-0,085
Maquinado o laminado en frío	2,7	4,51	-0,265
Laminado en caliente	14,4	57,7	-0,718
Como sale de la forja	39,9	272	-0,995

Fuente: (Richard G. Budynas, 2008)

Factor de modificación del tamaño Kb

Se aplicará el criterio obtenido en el libro de Shigley en su octava edición, así

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Gráfico 3 – 2: Valores de kb

Fuente: (Richard G. Budynas, 2008)

Factor de temperatura Kc

Se tomará como referencia los siguientes datos:

Tabla 11 – 2: Valores de Kc

Flexión	1
Axial	0,85
Torsión	0,59

Fuente: (Richard G. Budynas, 2008)

Factor de temperatura Kd

Se tomarán como referencia los siguientes valores

Tabla 12 – 2: Valores de Kd

Temperatura, °C	St/Srt	Temperatura, °F	St/Srt
20	1	70	1
50	1,01	100	1,008
100	1,02	200	1,02
150	1,025	300	1,024
200	1,02	400	1,018
250	1	500	0,995
300	0,975	600	0,963
350	0,943	700	0,927
400	0,9	800	0,872
450	0,843	900	0,797
500	0,768	1000	0,698
550	0,672	1100	0,567
600	0,549		

Fuente: (Richard G. Budynas, 2008)

Factor de confiabilidad Ke

Se considerarán los valores que presenta la tabla:

Tabla 13 - 2: Valores de Ke

Confiabilidad, %	Variación de transformación, Za	Factor de confiabilidad Ke
50	0	1
90	1,288	0,897
95	1,645	0,868
99	2,326	0,814
99,9	3,091	0,753
99,99	3,719	0,702
99,999	4,265	0,659
99,9999	4,753	0,62

Fuente: (Richard G. Budynas, 2008)

2.6.1.6. Criterio de Soderberg

Criterio de resistencia a fatiga utilizado para el análisis de la resistencia de piezas sometidas a tensiones fluctuantes con componente de tensión media positiva. El criterio se basa en los valores de tensión media y alternante en el punto analizado y establece que la pieza resistirá en el punto analizado siempre que se cumpla (Mecapedia , 2008)

$$\frac{\sigma_{eqa}}{S_e} + \frac{\sigma_{eqm}}{S_y} = \frac{1}{n} \quad (25)$$

Dónde:

σ_{eqa} = Esfuerzo equivalente amplitud

σ_{eqm} = Esfuerzo equivalente medio

S_e = Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

S_y = Resistencia de la fluencia

n = Coeficiente de seguridad.

2.7. Diseño de perno

Un perno es un elemento mecánico que permite unir dos o más componentes, existen diferentes tipos y materiales, cada uno de ellos tiene un propósito específico, ya sea pernos para madera, acero, cerámica, etc; Es importante como ingeniero diseñador saber hacer la selección o el diseño de este tipo de elementos mecánicos.

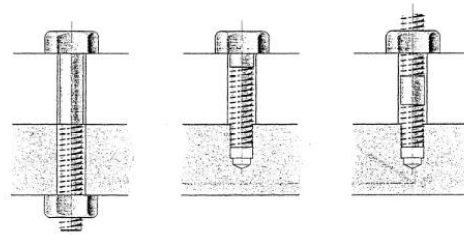


Figura 27 – 2: Pernos
Fuente: (Hamrcok, y otros, 2000)

2.7.1. Perno precargado

Para poder determinar si un perno seleccionado resiste los esfuerzos se aplicará la siguiente ecuación.

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau} \quad (26)$$

Dónde:

n = Factor de seguridad

S_{sy} = Resistencia a la fluencia

τ = Esfuerzo cortante

A partir de esta ecuación se pueden obtener las diferentes maneras de presentar en función de la variable que se requiera, para el lector se podrá estudiar la bibliografía que se encuentra al final del presente documento

2.8. Diseño de soldadura

Una soldadura se logra uniendo dos miembros y luego agitando las moléculas en sus uniones mediante calor, hasta que se funden en conjunto, cuando se remueve la fuente de agitación los miembros quedan unidos permanentemente, algunas ventajas de las juntas soldadas son los costos y no hay peligro que se aflojen, como desventajas tenemos que pueden presentar esfuerzos residuales y cambios metalúrgicos de los elementos mecánicos (Hamrcok, y otros, 2000)

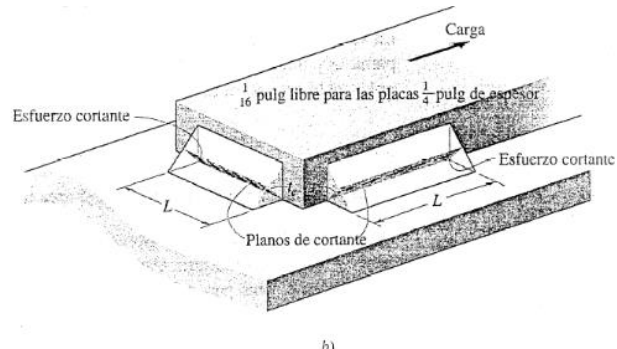


Figura 28 – 2: Placas soldadas

Fuente: (Hamrcok, y otros, 2000)

Se aplicará la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{1.414 M}{bdh} \quad (27)$$

Dónde:

M= Momento en el punto de estudio

b= ancho del perfil

d= alto del perfil

h= espesor del perfil

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Requerimientos de diseño

El diseño de la máquina para la elaboración de cuerdas a partir de botellas de pet debe tener facilidad de uso y minimizar los tiempos de corte, para lo cual debe cumplir con lo siguiente:

- La máquina deberá ser de fácil operación, así como de mantenimiento.
- La máquina deberá obtener cuerdas de diferentes tamaños acorde a la necesidad del operador.
- Deberá ser de fácil transporte y para diversos espacios físicos y ambientes.
- De costo accesible para que se pueda construir en un futuro.

Diseño conceptual y funcional

En esta fase se establecen las necesidades y especificaciones requeridas y deseadas tanto por el cliente como por el ingeniero diseñador, se entiende como requerida aquella que sin ella la máquina pierde su objetivo y deseada la que sin ser estricta mejoraría las condiciones (Metodología para el diseño y construcción de una máquina para medición del desgaste abrasivo basado en la norma ASTM G-65, 2009)

A continuación, se presenta de manera resumida las especificaciones para el diseño

C/I: Criterio del cliente(C), del ingeniero (I)

R/D: Requerido (R), Deseado (D)

Tabla 14 – 3: Diseño conceptual y funcional

CONCEPTO	C/I	R/D	DESCRIPCIÓN
PRECISIÓN	C	R	Homogeneidad de la cuerda en toda su longitud
	I	D	Rapidez del deshilachado
	C	D	Facilidad de operación
OPERACIONES NECESARIAS	C	R	Seguridad de uso
	I	R	Costo
	C	D	Voltaje
	I	D	Sistema de alimentación de botellas
	I	R	Sistema de transmisión
PROCESO	I	D	Tamaño de la máquina
	C	D	Fiabilidad

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

3.2. Estructura de funciones

Se aplicará el método de diseño “caja negra” donde se tiene en cuenta tres consideraciones: la entrada y salida de información y el proceso que ocurre en la transformación de la energía.

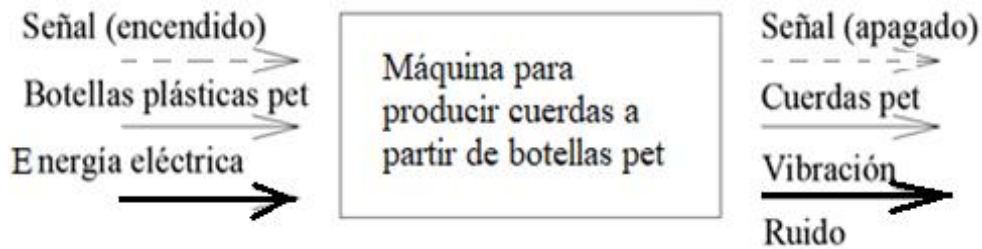


Figura 29 – 3: Estructura de funciones con método caja negra
Realizado por: Aguas Santiago, 2021

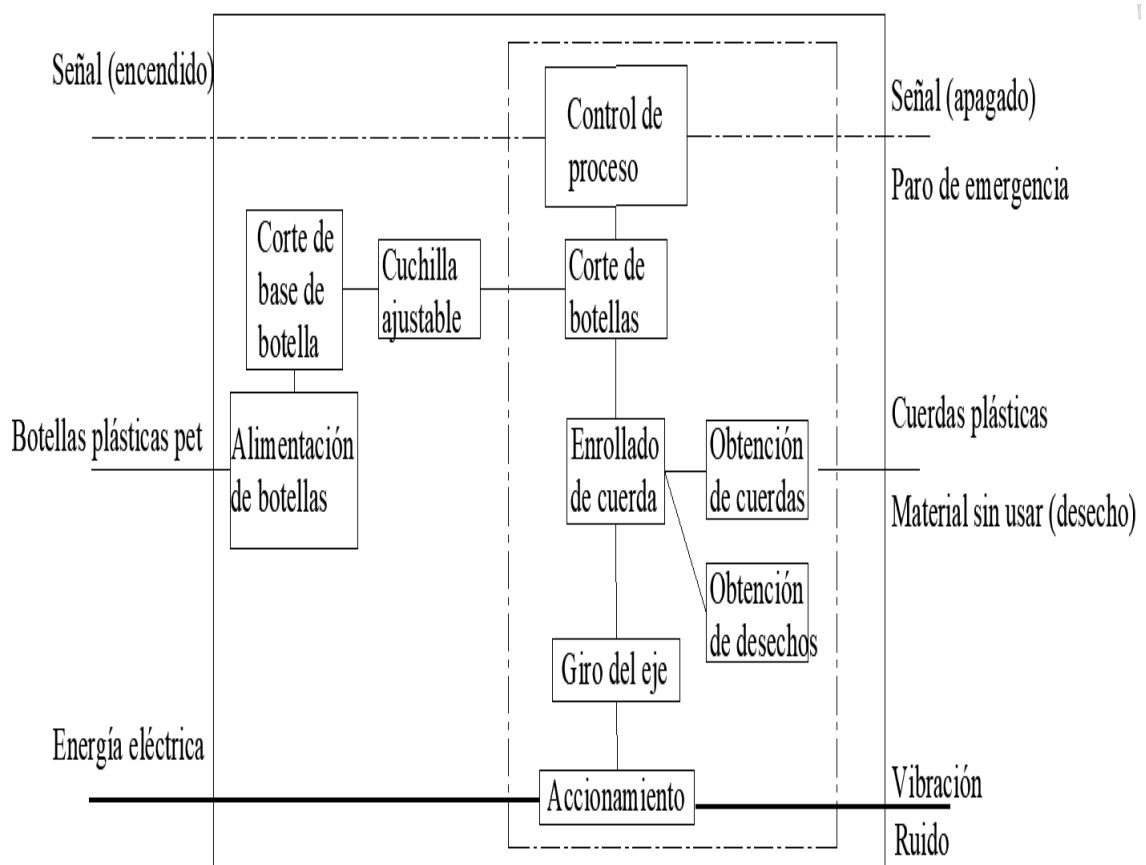





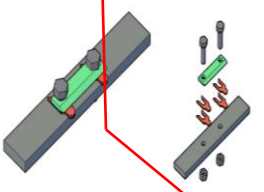
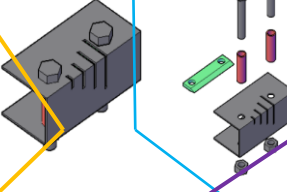
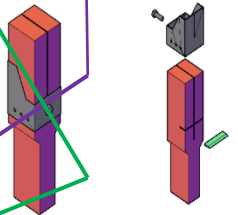
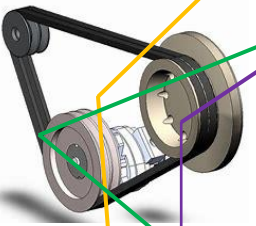


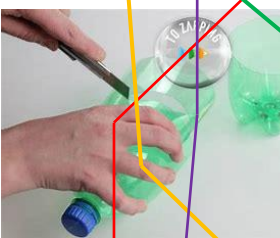



Figura 30 – 3: Estructura funcional
Realizado por: Aguas Santiago, 2021

El esquema que se muestra en la figura arriba mostrada indica que el proceso se inicia con el cumplimiento del operador, esto consiste en encender el motor que generará la rotación del eje mediante una botonera instalada, por otro lado, se colocarán las botellas en el sistema de alimentación que cortará la base es importante mencionar que la tapa que no se usan para este proceso y se procederá al corte de la botella para obtener la hebra ajustando la cuchilla para medidas variables acorde a la necesidad.

3.3. Matriz morfológica

A continuación, se presenta la matriz que definirá la base para el diseño de la máquina.

Tabla 15 – 3: Matriz morfológica

FUNCIÓN	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3
<i>Alimentación de botellas pet</i>	<p>Tolva</p> 	<p>Sistema robotizado</p> 	<p>Manual</p> 
<i>Sistema de corte de botellas</i>	<p>Lainas de ajuste múltiple</p> 	<p>De cara plana</p> 	<p>De cuchilla transversal</p> 
<i>Sistema de transmisión de accionamiento del eje</i>	<p>Correa</p> 	<p>Cadena</p> 	<p>Cable</p> 
<i>Corte de base de botella</i>	<p>Manual</p> 	<p>Automática</p> 	
<i>Enrollado de cuerda</i>	<p>En el eje</p> 	<p>Post corte</p> 	

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Alternativas por color

Para un mejor entendimiento se ha utilizado rutas de color para poder determinar la mejor alternativa de solución, a continuación, se presenta los colores:

Alternativa 1: 

Alternativa 2: 

Alternativa 3: 

Alternativa 4: 

Alternativa 5: 

Alternativas de solución

Alternativa 1. Tolva – Laminas de ajuste múltiple – Cadena – Manual – En el eje.

Ventajas

- La alimentación de botellas sería semiautomática, existiendo de esta manera más protección para el usuario ya que tendría el mínimo contacto con los diferentes sistemas.
- El enrollado de la cuerda tomaría menor tiempo obteniendo más producto, haciendo que la máquina sea más eficiente.

Desventajas

- No se pueden introducir muchas botellas al mismo tiempo ya que existe la probabilidad de que se atasque el sistema de corte.
- Se debe tener botellas bien secas en su interior ya que puede dañar a los sistemas mecánicos y eléctricos, produciéndose de esta manera paros en la producción.

Alternativa 2. Sistema robotizado – De cara plana – Cable – Automática – Post corte

Ventajas

- Al ser un sistema robotizado existe mayor precisión en la alimentación de botellas, ganando tiempo para que el usuario se dedique al control del corte de la botella y obtención de cuerdas.
- Al tener un sistema automático de corte de la base de la botella existe ahorro de tiempo y mayor producción de las cuerdas.

Desventajas

- Los costos de diseño y fabricación serían elevados, así como los repuestos y

mantenimiento.

- El sistema de transmisión por cable no ofrece la versatilidad que esta máquina necesita por su rigidez y su mantenimiento

Alternativa 3. Tolda – De cara plana – Correa – Manual – Post corte

Ventajas

- Los sistemas de transmisión por correa tienen entre el 95 y 99 % de eficiencia lo cual le ubica como la mejor alternativa.
- La alimentación de botellas sería semiautomática, existiendo de esta manera más protección para el usuario ya que tendría el mínimo contacto con los diferentes sistemas.

Desventajas

- El enrollado de la cuerda una vez obtenido el producto sería un proceso tedioso y agotador, lo cual se debería incorporar en el diseño para evitar tiempos muertos.
- En el corte de las botellas con la cara plana las hendiduras por donde transita la hebra deben estar bien pulidas para que esta no se atasque.

Alternativa 4. Manual – De cuchilla transversal – Correa – Manual – En el eje.

Ventajas

- El sistema de corte de botellas por cuchilla transversal tiene facilidad de mantenimiento considerándose este punto como algo apreciado por el usuario.
- La correa trapecial tiene una eficiencia entre el 96 - 97 % junto a su fácil adquisición lo convierte en la mejor opción.

Desventajas

- El usuario debe estar pendiente de los cortes tanto de la botella como de la base además de que no se traben al momento de la obtención de la cuerda.
- Pueden existir lesiones al operador generándose desventaja para la elaboración de cuerdas a partir de botellas pet.

Alternativa 5. Sistema robotizado – Correa – De cuchilla transversal – Automática – En el eje

Ventajas

- Al ser un sistema robotizado existe mayor precisión en la alimentación de botellas, ganando tiempo para que el usuario se dedique al control del corte de la botella y obtención de cuerdas.

- Los sistemas de transmisión por correa tienen entre el 95 y 99 % de eficiencia lo cual le ubica como la mejor alternativa.

Desventajas

- Los costos de diseño y fabricación serían elevados, así como los repuestos y mantenimiento.
- Las botellas deben tener un tratamiento previo para evitar de esta manera daños en los sistemas mecánicos, eléctricos y neumáticos.

Las alternativas anteriormente descritas podrían cumplir con los requisitos del ingeniero diseñador y el cliente, pero para cuestionar de ser más rigurosos y tener un diseño más apegado a la realidad se hará una evaluación cualitativa, como se observa a continuación (Metodología para el diseño y construcción de una máquina para medición del desgaste abrasivo basado en la norma ASTM G-65, 2009):

Se tomarán valores de 1 a 10, siendo 1 malo o pobre y 10 siendo excelente o ideal.

Tabla 16 – 3: Criterio para evaluación cuantitativa

Criterio		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
C1	Mantenimiento	8	5	7	7	5
C2	Accesibilidad de repuestos	8	3	7	8	3
C3	Desempeño	5	8	5	7	6
C4	Montaje	6	7	7	7	6
C5	Seguridad	7	8	7	7	8
C6	Contaminación ambiental	7	6	7	8	5
C7	Costos de fabricación	7	5	7	8	5
TOTAL		48	42	47	52	38

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Es importante que se analice cada criterio tomado como parte del presente documento lo cual a continuación se dará una breve explicación:

Mantenimiento: Para toda máquina es necesario considerar la facilidad, por ejemplo, qué tipo de lubricante necesita, el tiempo de vida útil de la máquina y a partir de cuantas horas de trabajo se deberá dar un mantenimiento

Accesibilidad de repuestos: Se deben colocar partes mecánicas y eléctricas que en el mercado local existan y sean de fácil acceso, para evitar tiempo y dinero al usuario.

Desempeño: Toda máquina debe ser diseñada para generar tranquilidad en el usuario, ya que un alto desempeño de la máquina es sinónimo de ganancias.

Montaje: Debe poseer un manual de montaje y de fácil manejo para que el usuario no se sienta frustrado y pueda transportar o ubicar en el lugar que el considere bajo recomendaciones del ingeniero diseñador.

Seguridad: Al momento de diseñar y posterior construcción de una máquina se debe considerar los posibles riesgos que esto conlleva, por ejemplo: cortes, golpes, electrocuciones.

Contaminación ambiental: Las tecnologías actuales demandan que todo tipo de producto sea amigable con el ambiente, el ingeniero diseñador debe considerar este tipo de factores para su plan de trabajo.

Costos de fabricación: Para una ganancia que permita al ingeniero diseñador emprender es necesario manejarse siempre de una manera más clara de los costos ya que esto permitirá colocar la utilidad aconsejable

Para un análisis más completo se considerará el criterio ponderado de la siguiente manera, tomado de *Metodología para el diseño y construcción de una máquina del desgaste abrasivo basado en la norma ASTM G-65*, del año 2009 elaborado por: Niebles Enrique, Quesada Franz, Méndez Daimer, Ruiz Andrés

Malo	0,10
Aceptable	0,15
Bueno	0,20

Tabla 17 – 3: Criterio de ponderación de la mejor alternativa

Criterio	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4		Alternativa 5	
C1	8	0,20	5	0,15	7	0,20	7	0,20	5	0,15
C2	8	0,20	3	0,10	7	0,20	8	0,20	3	0,10
C3	5	0,15	8	0,20	5	0,15	7	0,20	6	0,15
C4	6	0,15	7	0,20	7	0,20	7	0,20	6	0,15
C5	7	0,20	8	0,20	7	0,20	7	0,20	8	0,20
C6	7	0,15	6	0,15	7	0,15	8	0,15	5	0,15
C7	7	0,20	5	0,20	7	0,20	8	0,20	5	0,20
Calificación total	8,7		7,55		8,8		10		6,2	

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

La mayor calificación que puede llegar obtener una alternativa es 14.

Como podemos visualizar en la tabla anterior, la alternativa 4 es la que más se ajusta a los criterios de diseño, motivo por el cual los análisis se los realizará con estas consideraciones o criterios de diseño.

3.4. Cálculos y resultados del sistema de transmisión

Potencia corregida

Para el cálculo de la potencia se utilizará la ecuación 3 y la tabla 4-2, donde indica que para trabajo menores a 10 horas y servicios ligeros, que es el caso del presente trabajo será un factor de 1.0

$$P_d = P \times f_s$$

$$P_d = 0,5 \text{ HP} \times 1.0$$

$$\mathbf{P_d = 0,5 \text{ HP}}$$

Análisis de potencia del motor

Para el análisis, se considerará una eficiencia del motor de 0,72, lo recomendado para trabajo sin carga, así

$$P_m = \frac{P_d}{n_m}$$

Dónde:

P_m = Potencia del motor

n_m = Eficiencia del motor

P_d = Potencia de diseño

$$P_m = \frac{0.5}{0.72}$$

$$\mathbf{P_m = 0.694 \text{ HP}}$$

Ahora, según fabricantes podemos encontrar un motor de 0,75 HP y 900 rpm, valor que se será considerado para nuestro análisis.

Dado que es imposible reducir directamente las revoluciones de 900 a 150, se optará por un motorreductor con 141 rpm finales, como indica en el anexo 6.

Selección de correas

Para la selección de la correa adecuada se necesitan ciertos datos técnicos, que a continuación se presenta:

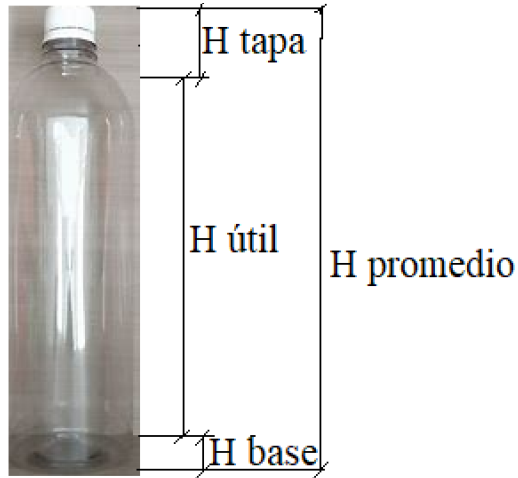


Figura 31 – 3: Alturas promedio de una botella plástica

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

H promedio = 300 mm

H tapa = 40 mm

H base = 25 mm

H útil = H promedio – (Htapa + Hbase)

H útil = 300 – (40 + 25)

H útil = 235 mm

Consideraciones de corte



Figura 32 – 3: Diseño experimental para obtención de tiempos de corte

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Para un análisis de tiempos de corte se tomarán 10 pruebas, las cuales representan valores tentativos del diseño experimental.

Tabla 18 – 3: Valores promedio de tiempo de corte de la botella plástica

Vuelta	Tiempo(seg)
1	1,48
2	1,52
3	1,36
4	1,4
5	1,38
6	1,5
7	1,48
8	1,52
9	1,4
10	1,42

Promedio	1,446	1,5
-----------------	-------	-----

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

La velocidad de corte es 1,5 vueltas/seg, lo que significa:

$$\frac{\text{Vueltas}}{\text{Segundo}} = \frac{23,5}{15}$$

Transformando a rpm, tenemos:

$$\frac{23,5 \text{ vueltas}}{15 \text{ seg}} * \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} * \frac{1 \text{ rev}}{1 \text{ Vuelta}} = \mathbf{93,6 \text{ rpm} = 90 \text{ rpm}}$$

Teniendo los datos de la siguiente manera:

$$P_D = 0.5Hp$$

$$n_1 = 141 \text{ rpm}$$

$$n_2 = 90 \text{ rpm}$$

Acorde al gráfico 2-2 se puede hallar que la correa está en la sección B.

En la tabla que se presenta a continuación, se detallan los valores hallados en el análisis del sistema de transmisión por correa:

Tabla 19 – 3: Valores calculados del sistema de transmisión por correa

FÓRMULA	NÚMERO DE ECUACIÓN	RESULTADO	UNIDADES
Relación de transmisión			
$i = \frac{n_1}{n_2}$	2	1,6	-
Diámetros primitivos de las poleas			
D_p	Tabla 8 - 2	100	mm
$i = \frac{D_p}{d_p}$	1	160	mm
Distancia entre ejes			
$C \geq \frac{(i + 1)d_p}{2} + d_p$	5	230	mm
Longitud primitiva de la correa			
$L = 2C + 1.57(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4l}$	6	627,86	mm
Distancia entre centros de las poleas			
$C_C = C - \left \frac{L - L_n}{2} \right $	10	165,434	mm
	Anexo 1		
Arco de contacto			
$\alpha_1 = 180 - 57 \frac{(D_2 - D_1)}{l}$	11	159,32	°
Cantidad de correas necesarias			
$Z = \frac{P_D}{C_2 * C_3 * P_1}$	12	2	-
	Anexo 5= 0,81		
	Anexo 6= 0,9		
	Anexo 7= 0,49		
Velocidad de la correa			
$v = N * r$	13	0,74	seg ⁻¹
Factor de seguridad			
$n_{fs} = \frac{(C_2 * C_3 * P_1) * Z}{P_D}$	15	4,4	-
Cálculo de fuerzas en la polea			
$\frac{F_1}{F_2} = e^{f\theta}$	16	F1= 1031,58	N
	Anexo 5	F2= 23,892	
$P = \frac{(F_1 - F_2) \times V}{746}$	17		
Torque producido por la correa			
$T = \frac{(F_1 - F_2) \times D}{2}$	18	40,3	Nm

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

3.5. Análisis de esfuerzos del eje

Para el análisis de esfuerzos se aplicará parte del capítulo II, con las ecuaciones respectivas que se explicarán en la tabla 19 – 3.

El material del eje del acero seleccionado es **AISI 1020 laminado en caliente**, cuyas características son:

Resistencia a la fluencia $S_y = 37\text{kpsi} = 2606.8 \text{ Kg/cm}^2$

Resistencia a la tensión $S_{ut} = 68\text{kpsi} = 4792.1 \text{ Kg/cm}^2$

3.5.1. Dimensiones del eje

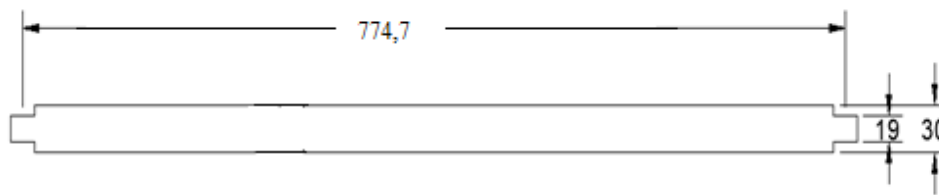


Figura 33 – 3: Dimensiones en mm del eje

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

3.5.2. Diagrama de cuerpo libre



Figura 34 – 3: Diagrama de cuerpo libre del eje

Realizado por: Aguas Santiago., 2021

3.5.3. Diagrama de cortante



Figura 35 – 3: Diagrama de fuerzas

Realizado por: Aguas Santiago., 2021

3.5.4. Diagrama de momentos

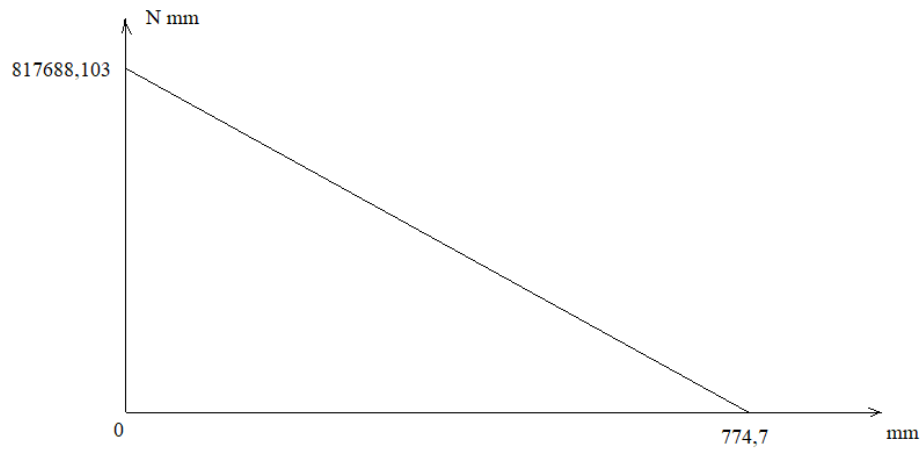


Figura 36 – 3: Diagrama de momentos
Realizado por: Aguas Santiago., 2021

3.5.5. Análisis del eje

Para el presente análisis se hará de una manera reducida por medio de una tabla, primero se presentarán los datos preliminares

Tabla 20 – 3: Valores preliminares para el eje

F_1	1031,58	N		
F_2	23,892	N		
S_y	37	Kpsi	2606,8	$\frac{Kg}{cm^2}$
S_{ut}	68	Kpsi	4792,1	$\frac{Kg}{cm^2}$
S_e			3800	$\frac{Kg}{cm^2}$
L	774,7	mm		
D	19	mm		
$F=F_1+F_2$	1055,49	N		
$M_{máx}$	817688,103	Nmm		

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Tabla 21 – 3: Valores calculados del eje

FÓRMULA	NÚMERO DE ECUACIÓN	RESULTADO	UNIDADES
Esfuerzo por flexión			
$\sigma_f = \frac{32M}{\pi D^3}$	19	1214,302	$\frac{N}{mm^2}$
Esfuerzo por torsión			
F= F1- F2		1007,7027	N
R		9,5	mm
T=F*r	18	40308,108	N.mm
$\tau_f = \frac{16T}{\pi D^3}$	20	29,93	$\frac{N}{mm^2}$
Variación de esfuerzos			
$\sigma_{fa} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$	21	607,151	$\frac{N}{mm^2}$
Ecuación de esfuerzos combinados			
$\sigma_{eqa} = \sqrt{(\sigma_{fa} + \sigma_{aa})^2 + (\tau_{Ta} + \tau_{ca})^2}$	22	24,64	$\frac{N}{mm^2}$
$\sigma_{eqm} = \sqrt{(\sigma_{fm} + \sigma_{am})^2 + (\tau_{Tm} + \tau_{cm})^2}$	23	89,791	$\frac{N}{mm^2}$
Límite de fatiga			
$Se = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot Se'$	24		
K_a	Tabla 6 – 2	0,897	-
K_b	Gráfica 3 – 2	0,904	-
K_c	Tabla 7 – 2	0,85	-
K_d	Tabla 8 – 2	1	-
K_e	Tabla 9 – 2	1	-
Se'	Tabla 18 - 3	2621,74	$\frac{Kg}{cm^2}$
Criterio legal de Soderberg			
$\frac{\sigma_{eqa}}{Se} + \frac{\sigma_{eqm}}{Sy} = \frac{1}{n}$	25	42,961	-

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Como se puede observar el eje tienen un coeficiente de seguridad de 26,543 lo que significa que soporta para lo que será utilizado.

3.6. Selección de elementos normalizados

En el amplio mundo de la ingeniería existen elementos constitutivos presentes en una máquina que ya han sido diseñados y construidos con el objetivo de minimizar tanto costos de construcción como de diseño.

Varias empresas a nivel mundial se dedican al arduo trabajo con partes específicas de una máquina tales como chumaceras, ejes, pines, pernos por citar algunos ejemplos, los cuales han pasado por las fases de diseño que en el capítulo II se menciona.

Existen catálogos completos con las propiedades físico-mecánicas, al igual como los elementos que forman dicha parte, el ingeniero diseñador tiene como responsabilidad una selección adecuada y real, con el suficiente conocimiento del mercado y técnico

El presente trabajo técnico no es la excepción al momento de colocar partes normalizadas, a continuación, se presenta:

3.6.1. Selección de chumacera

Una chumacera es un dispositivo que permite el soporte y rotación de un eje, está compuesta por una parte rotativa y una fija (Montes, 2014)

Para la selección de la chumacera se elegirá la marca *NTN Corporation*, que en su catálogo presenta varias alternativas y el que más se acopla al presente trabajo es el que se detalla a continuación:

Tabla 22 – 3: Chumaceras NTN series UCPG2

		Pillow Block Unit; UCPG2 series																
		Cylindrical bore with set screw																
Bore dia. mm	Part number	Boundary dimensions mm										Nominal bolt dia.	Insert bearing number	Basic dynamic rated load kN Cr	Basic static rated load kN Cor	Housing part number	Mass kg (Ref.)	
		H	L	J	A	N	H ₁	H ₂	B	S								
12	UCPG201D1																	
15	UCPG202D1	30.2	127	95	25		14	62	31	12.7					12.8	6.65	PG203D1	0.7
17	UCPG203D1					12						M10	UC203D1					
20	UCPG204D1	33.3						65					UC204D1			PG204D1		
25	UCPG205D1	36.5	140	105	30		15	71	34	14.3			UC205D1	14.0	7.85	PG205D1	0.8	

Fuente: NTN Corporation

La chumacera elegida es la UCPG204D1 para diámetros de 20mm y con pernos de sujeción M10.

3.7. Diseño de la cuchilla

Se presentará a continuación un análisis con dos tipos de acero comúnmente usados y al final se hará una comparación para poder definir el mejor material.

Las condiciones iniciales y de corte se mantendrán para los dos análisis.

3.7.1. Condiciones iniciales

Se presenta la vista isométrica de la cuchilla.

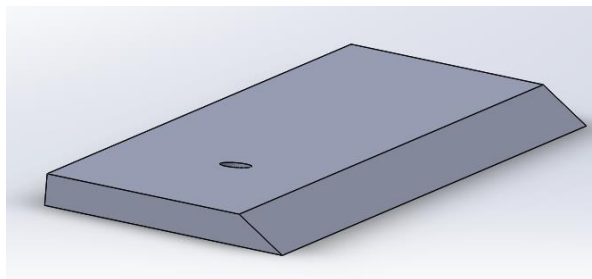


Figura 37 – 3: Condiciones iniciales de la cuchilla
Realizado por: Aguas Santiago, 2021

3.7.1.1. Superficie de sujeción

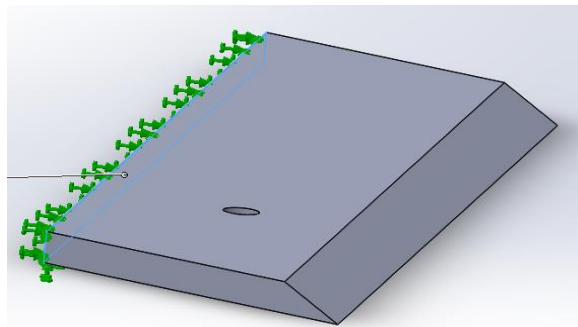


Figura 38 – 3: Superficie de sujeción de la cuchilla
Realizado por: Aguas Santiago., 2021

3.7.1.2. Esfuerzo aplicado en la cara de corte

Para el análisis respectivo se tomará como valores de referencia la tesis de grado de Archila Diana y Figueroa Gloria de la Universidad La Gran Colombia del año 2017 en la página 109 que tiene la tabla resumida con las propiedades mecánicas para trabajos con botellas plásticas

Para el presente trabajo técnico se considerará el esfuerzo máximo de corte de las botellas pet:

Tabla 23 – 3: Valores iniciales para análisis

PROPIEDAD MECÁNICA	UNIDADES	VALOR
Distorsión límite de proporcionalidad	m	0,0019
Esfuerzo límite proporcional	Mpa	0,839
Esfuerzo de máximo de corte	MPa	1,048
Deformación unitaria máxima	m	0,0019
Deformación angular	Rad	0,018
Módulo de rigidez máxima	MPa	69,33

Fuente: Autor (Archila Gonzalez, y otros, 2017)

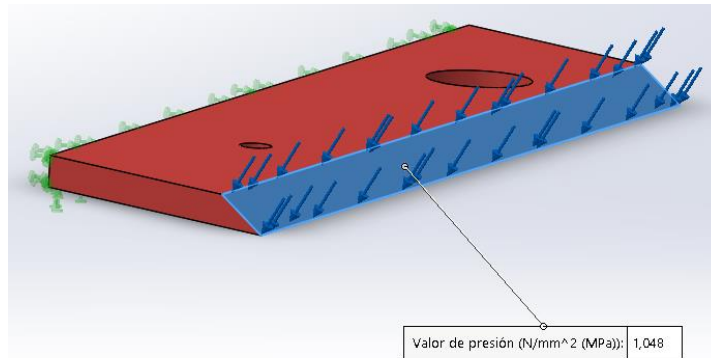


Figura 39 – 3: Aplicación de fuerza sobre la cara de corte
Realizado por: Aguas Santiago, 2021

3.7.1.3. Característica de la malla

Se ha decidido por una malla fina dadas las dimensiones de la cuchilla

SolidWorks permite establecer las condiciones de mallado que se presentan a continuación:

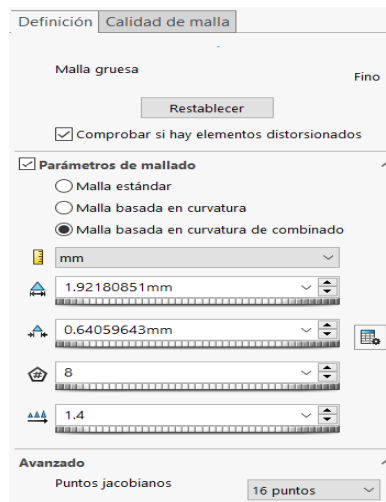


Figura 40 – 3: Condiciones de mallado
Fuente: SolidWorks

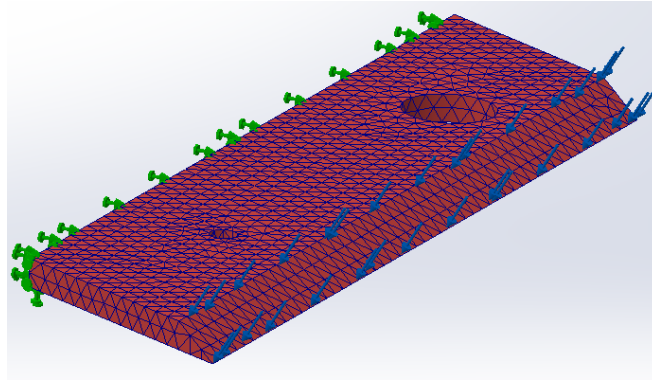


Figura 41 – 3: Mallado de la cuchilla

Realizado por: Aguas Santiago., 2021

3.7.2. Análisis de la cuchilla en acero AISI 1020 laminado en frío

Para el análisis se tomará un acero AISI 1020 laminado en frío, con las siguientes propiedades mecánicas:

Tabla 24 – 3: Propiedades mecánicas del acero AISI 1020 laminado en frío

PROPIEDAD MECÁNICA	UNIDAD	VALOR
Módulo elástico	2.05E11	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0,29	N/D
Módulo cortante	8,00E+10	N/m ²
Densidad de masa	7870	kg/m ³
Límite de tracción	420000000	N/m ²
Límite de compresión	-	N/m ²
Límite elástico	350000000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	1.17E-5	/k
Conductividad térmica	51,9	W/(m.k)
Calor específico	486	J/(kg.k)
Cociente de amortiguamiento de material	-	N/D

Fuente: SolidWorks

3.7.2.1. Desplazamientos de la cuchilla en acero AISI 1020

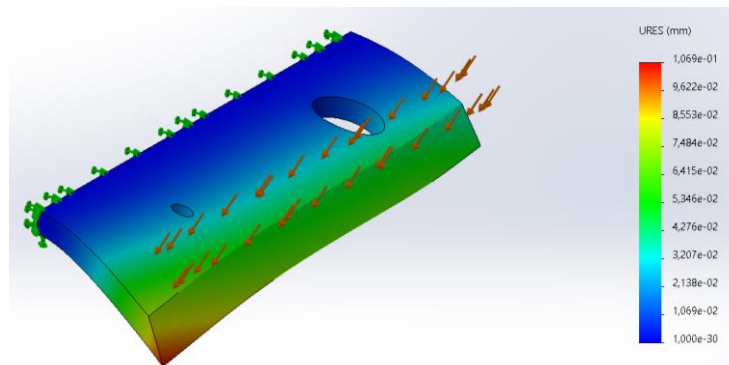


Gráfico 4 – 3: Desplazamientos de la cuchilla en acero AISI 1020

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Tabla 25 – 3: Desplazamientos de la cuchilla en acero AISI 1020

Desplazamiento máximo	1,069E-1	mm
Desplazamiento mínimo	1,000E-30	mm

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

3.7.2.2. *Esfuerzo de Von Misses de la cuchilla en acero AISI 1020*

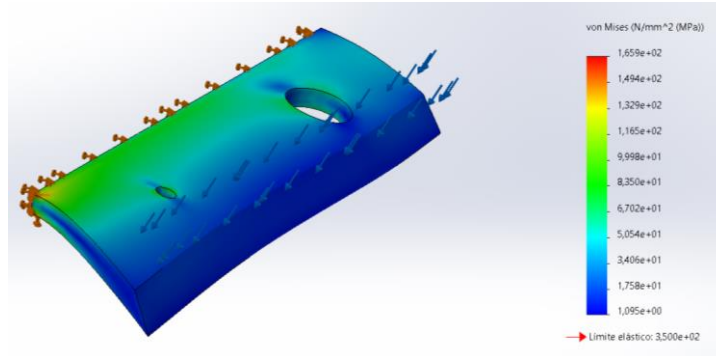


Gráfico 5 – 3: Esfuerzos de Von Misses de la cuchilla en acero AISI 1020

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Tabla 26 – 3: Esfuerzos de Von Misses de la cuchilla en acero AISI 1020

Esfuerzo máximo	1,659E+2	Mpa
Esfuerzo mínimo	1,059E+1	MPa

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Según la tabla 26 – 3 se puede observar que el límite elástico es de 3,500E2 Mpa, y la tabla 29 – 3 se mantienen los valores por debajo del valor anterior, se puede concluir que la cuchilla soporta los esfuerzos para los que serán sometidos.

3.7.2.3. *Factor de seguridad de la cuchilla en acero AISI 1020*

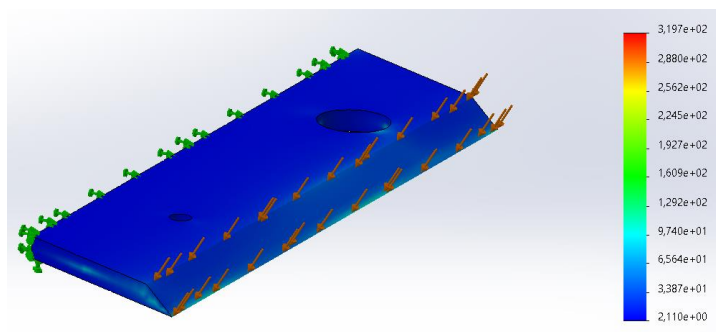


Gráfico 6 - 3: Factor de seguridad de la cuchilla en acero AISI 1020

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Tabla 27 – 3: Factor de seguridad de la cuchilla en acero AISI 1020

Factor de seguridad máximo	3,197E+2	-
Factor de seguridad mínimo	2,11E+1	-

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Análisis en el agujero de la cuchilla de la cuchilla en acero AISI 1020

Se hará el análisis acorde a las imágenes arriba presentadas, para su fácil comprensión se presenta en una tabla

Tabla 28 – 3: Valores del agujero de la cuchilla en acero AISI 1020

Desplazamiento	1,069E-2	mm
Esfuerzo de Von Misses	3,406E+1	MPa
Factor de seguridad	2,11E+1	-

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

3.7.3. Análisis de la cuchilla en acero AISI 4340 recocido

Para el análisis se tomará un acero AISI 4340 recocido, con las siguientes propiedades mecánicas:

Tabla 29 – 3: Propiedades mecánicas del acero AISI 4340 recocido

PROPIEDAD MECÁNICA	UNIDAD	VALOR
Módulo elástico	2.05E11	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0,285	N/D
Módulo cortante	8,00E+10	N/m ²
Densidad de masa	7850	kg/m ³
Límite de tracción	7450000000	N/m ²
Límite de compresión	-	N/m ²
Límite elástico	4700000000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	1.23E-5	/k
Conductividad térmica	44,5	W/(m.k)
Calor específico	475	J/(kg.k)
Cociente de amortiguamiento de material	-	N/D

Fuente: SolidWorks

3.7.3.1. Desplazamientos de la cuchilla en acero AISI 4340 recocido

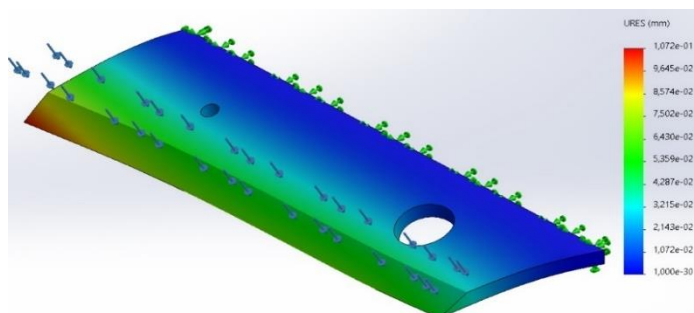


Gráfico 7 – 3: Desplazamientos de la cuchilla en acero AISI 4340

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Tabla 30 – 3: Desplazamientos de la cuchilla en acero AISI 4340

Desplazamiento máximo	1,072E-1	mm
Desplazamiento mínimo	0,000E0	mm

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

3.7.3.2. *Esfuerzo de Von Misses de la cuchilla en acero AISI 4340 recocido*

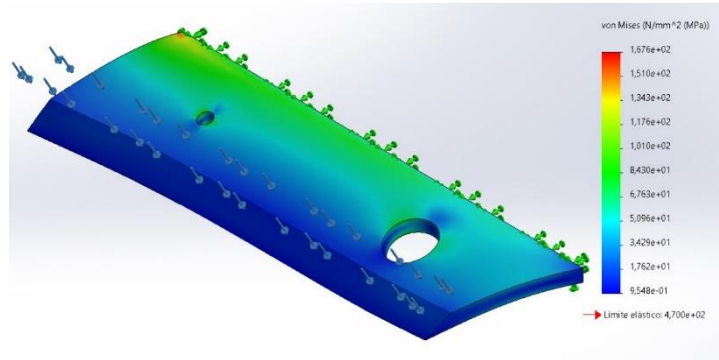


Gráfico 8 – 3: Esfuerzos por Von Misses de la cuchilla en acero AISI 4340

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Tabla 31 - 3: Esfuerzos de Von Misses de la cuchilla en acero AISI 4340

Esfuerzo máximo	1,676E+2	Mpa
Esfuerzo mínimo	9,548E-1	MPa

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

3.7.3.3. *Factor de seguridad de la cuchilla en acero AISI 4340 recocido*

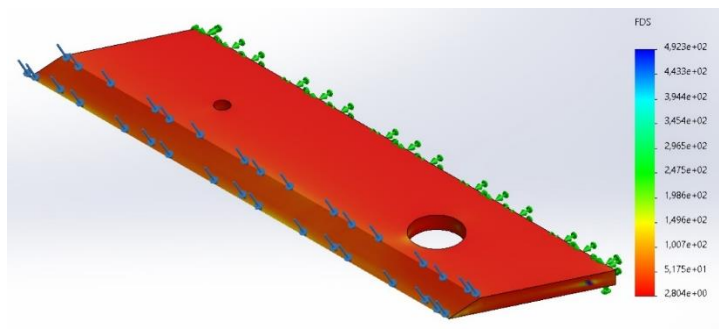


Gráfico 9 – 3: Factor de seguridad de la cuchilla en acero AISI 4340

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Tabla 32 – 3: Factor de seguridad de la cuchilla en acero AISI 4340

Factor de seguridad máximo	4,923E+2	-
Factor de seguridad mínimo	2,804E+1	-

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Análisis en el agujero de la cuchilla de la cuchilla en acero AISI 4340 recocido

Se hará el análisis acorde a las imágenes arriba presentadas, para su fácil comprensión se presenta en una tabla

Tabla 33 – 3: Valores del agujero de la cuchilla en acero AISI 4340

Desplazamientos	1,072E-2	mm
Esfuerzo de Von Misses	3,429E+1	MPa
Factor de seguridad	2,804E+1	-

Realizado por: Aguas Santiago., 2021

3.8. Análisis de fatiga del eje mediante SolidWorks

Para el siguiente análisis se considerará un eje con las descripciones que se encuentran en el numeral 3.5 donde manifiesta que es un acero AISI 1020 laminado en caliente con las siguientes propiedades:

3.8.1. Condiciones iniciales

3.8.1.1. Geometría básica

El eje seleccionado es un AISI 1020, con las propiedades mecánicas que se presenta a continuación:

Tabla 34 – 3: Propiedades mecánicas del acero AISI 1020

PROPIEDAD MECÁNICA	UNIDAD	VALOR
Módulo elástico	2E+11	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0,29	N/D
Módulo cortante	7,7E+10	N/m ²
Densidad de masa	7900	kg/m ³
Límite de tracción	420507000	N/m ²
Límite de compresión	-	N/m ²
Límite elástico	351571000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	1,5E-5	/k
Conductividad térmica	47	W/(m.k)
Calor específico	420	J/(kg.k)
Cociente de amortiguamiento de material	-	N/D

Fuente: SolidWorks

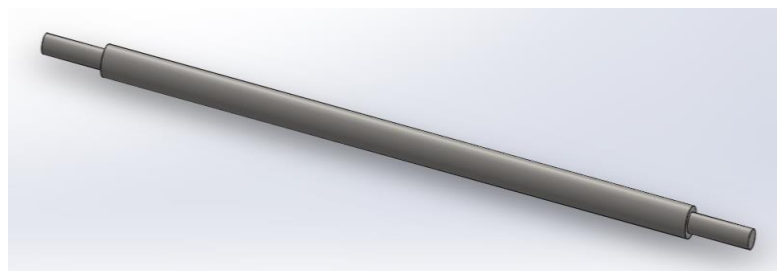


Figura 42 – 3: Geometría básica del eje

Realizado por: Aguas Santiago., 2021

3.8.2. Resultados obtenidos

3.8.2.1. Curva SN

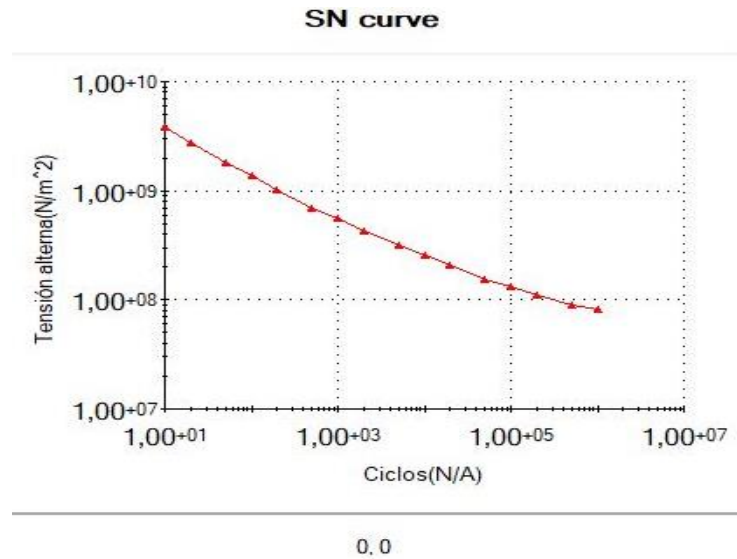


Gráfico 10 – 3: Curva S-N del análisis de fatiga del eje

Fuente: SolidWorks

3.8.2.2. Factor de carga

Muestra el factor de seguridad para los fallos de fatiga en cada ubicación, a este número se debe multiplicar las cargas ejercidas para determinar el daño real.

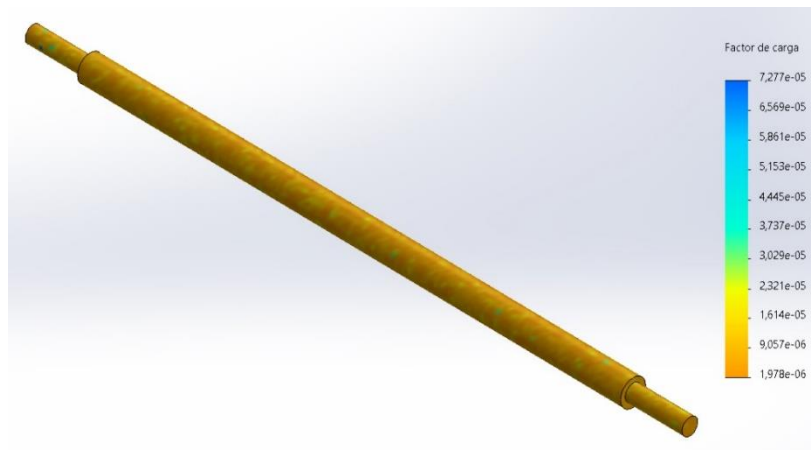


Gráfico 11 – 3: Factor de carga del eje

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Tabla 35 – 3: Factor de carga del eje

Factor de carga máximo	1,966E-6	-
Factor de carga mínimo	7,277E-5	-

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

3.8.2.3. Daño acumulado

Esta gráfica muestra en porcentaje aquello que no fue afectado por las cargas a las cuales fue expuesta el eje.

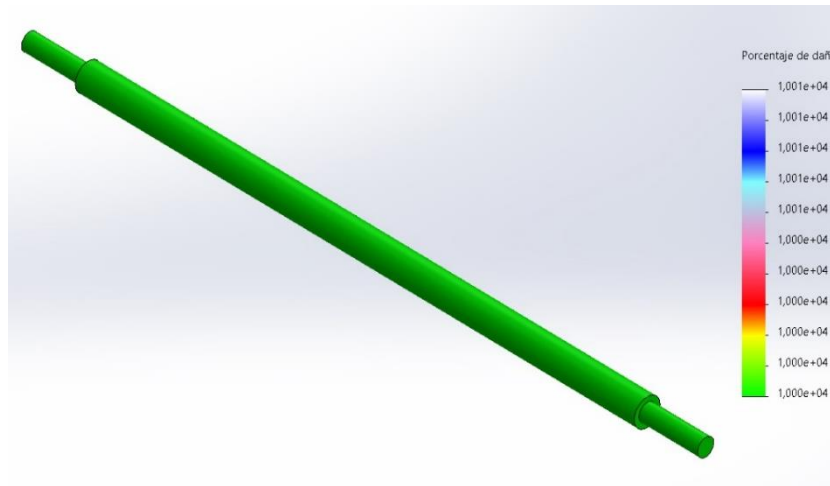


Gráfico 12 – 3: Daño acumulado del eje

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Tabla 36 – 3: Daño acumulado del eje

Daño máximo	1,00E+4	
Daño mínimo	1,00E+4	

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

3.8.2.4. Vida total

Muestra el número de ciclos que afecta al eje.

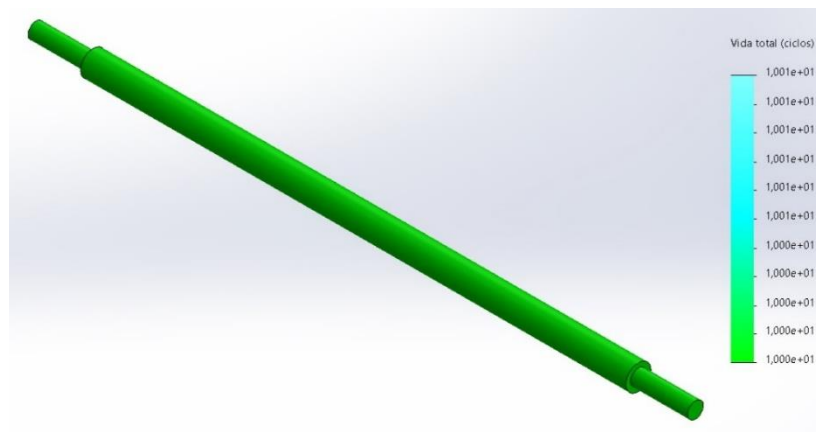


Gráfico 13 – 3: Vida total del eje

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Tabla 37 – 3: Vida total del eje

Vida total máxima	1,000E+1	-
Vida total mínima	1,000E+1	-

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Como se puede apreciar en el gráfico los esfuerzos están por debajo del límite elástico lo que significa que si soportará el trabajo para el que está diseñado.

3.9. Diseño estructural de la bancada

Para el siguiente análisis se considerará acero A36, tubo cuadrado con medidas 30x30x2 mm

3.9.1. Análisis de resistencia mediante SAP 2000

3.9.1.1. Condiciones iniciales

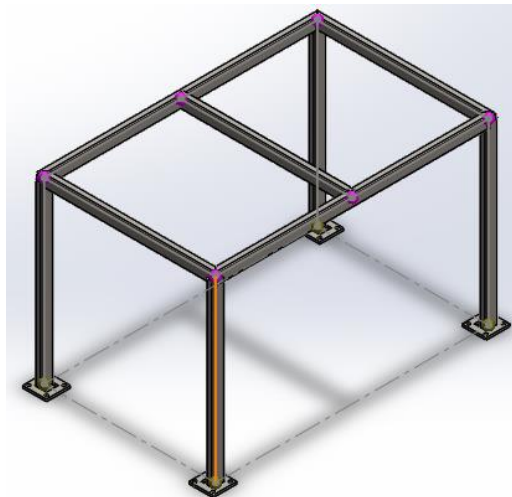


Figura 43 – 3: Condiciones iniciales de la estructura soporte

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

3.9.1.2. Condiciones de borde (apoyos. Empotramiento en la base y cargas)

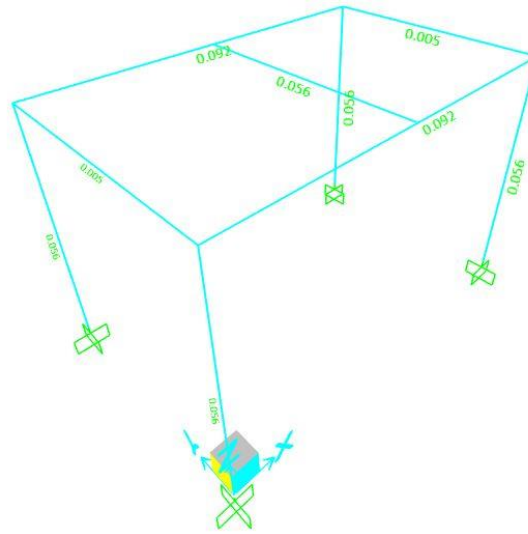


Gráfico 14 – 3: Condiciones de borde de estructura soporte

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

3.9.1.3. Desplazamientos para combinación de servicios (carga muerta más carga viva)

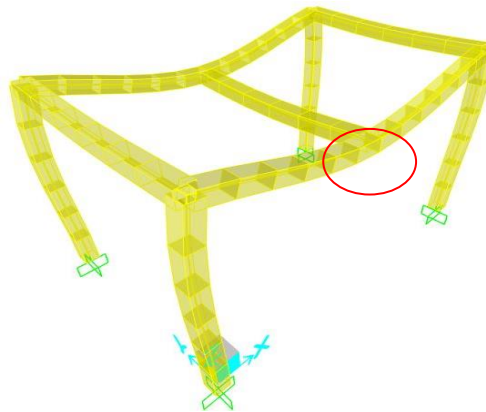


Figura 44 – 3: Desplazamientos de la estructura

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

El desplazamiento en el punto encerrado con el círculo rojo es de 0,0022 mm

Como conclusión se puede decir que la estructura soporta ya que el trabajo que realizará no es de gran demanda.

3.9.2. Análisis modal y de frecuencias mediante SolidWorks

A continuación, se presenta el análisis modal y de frecuencias que consiste en un estudio vibracional para determinar la resistencia de la estructura soporte, la carga con la que se trabajará es de $500\text{N}=51,020\text{ Kg}$ que es aproximadamente el peso de todos los componentes que estarán en la estructura soporte

Tabla 38 – 3: Propiedades mecánicas del acero A36

PROPIEDAD MECÁNICA	UNIDAD	VALOR
Módulo elástico	2E+11	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0,26	N/D
Módulo cortante	7,93E+10	N/m ²
Densidad de masa	7850	kg/m ³
Límite de tracción	400000000	N/m ²
Límite de compresión	-	N/m ²
Límite elástico	250000000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	1,5E-5	/k
Conductividad térmica	47	W/(m.k)
Calor específico	420	J/(kg.k)
Cociente de amortiguamiento de material	-	N/D

Fuente: SolidWorks

3.9.2.1. Resultados del estudio

Forma modal 1

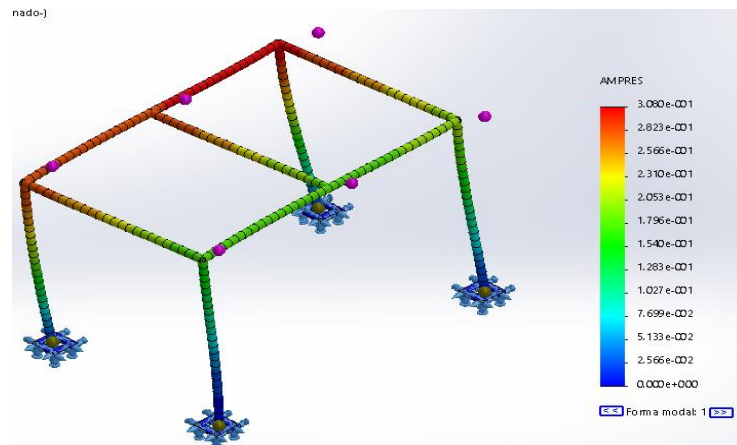


Gráfico 15 – 3: Forma modal 1 de la estructura

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Tabla 39 – 3: Forma modal 1 de la estructura

Amplitud máxima	3,080E-1
Amplitud mínima	0
Frecuencia	31.461 Hz
Deformación	0,43215 mm

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Forma modal 2

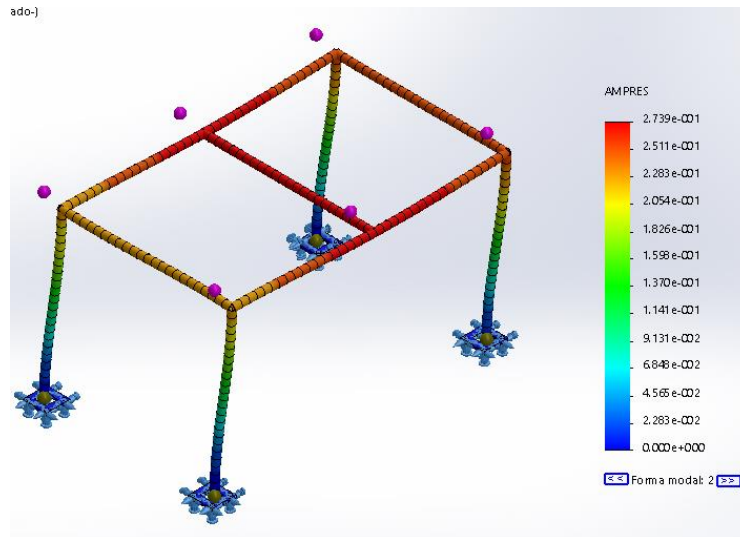


Gráfico 16 – 3: Forma modal 2 de la estructura

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Tabla 40 – 3: Forma modal 2 de la estructura

Amplitud máxima	2,739E-1
Amplitud mínima	0
Frecuencia	35,187 Hz
Deformación	0,4652 mm

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Forma modal 3

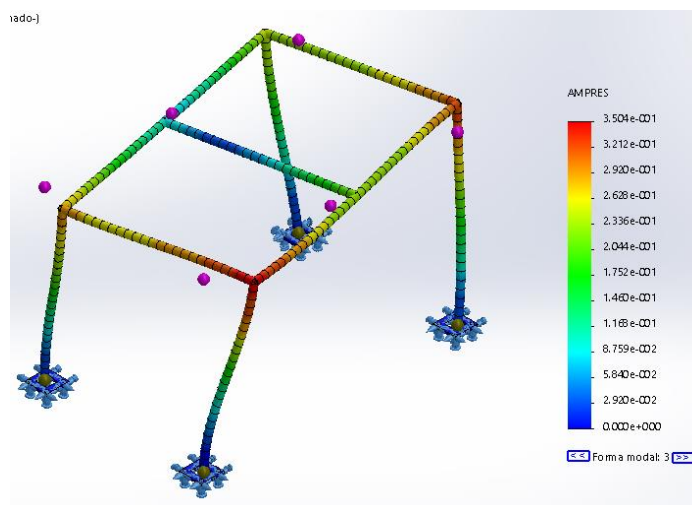


Gráfico 17 – 3: Forma modal 3 de la estructura

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Tabla 41 – 3: Forma modal 3 de la estructura

Amplitud máxima	3,504E-1
Amplitud mínima	0
Frecuencia	48,091 Hz
Deformación	0,461861 mm

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Forma modal 4

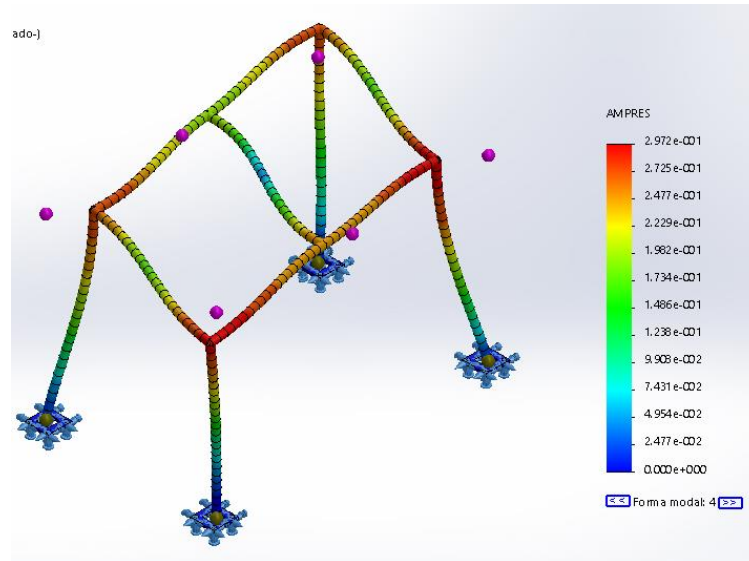


Gráfico 18 – 3: Forma modal 4 de la estructura

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Tabla 42 – 3: Forma modal 4 de la estructura

Amplitud máxima	2,972E-1
Amplitud mínima	0
Frecuencia	92,4954 Hz
Deformación	0,5315 mm

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Forma modal 5

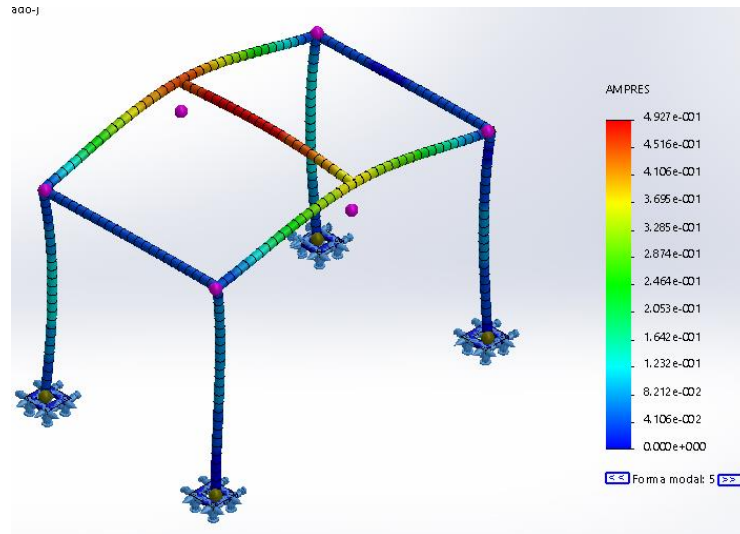


Gráfico 19 – 3: Forma modal 5 de la estructura

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Tabla 43 – 3: Forma modal 5 de la estructura

Amplitud máxima	4,927E-1
Amplitud mínima	0
Frecuencia	119,593 Hz
Deformación	0,2527 mm

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

3.10 Diseño del perno

De la tabla 26 – 3 se tiene que el esfuerzo cortante para el plástico es de 1,048 Mpa, se obtendrá la fuerza de corte con el área de un perno avellanado M5.

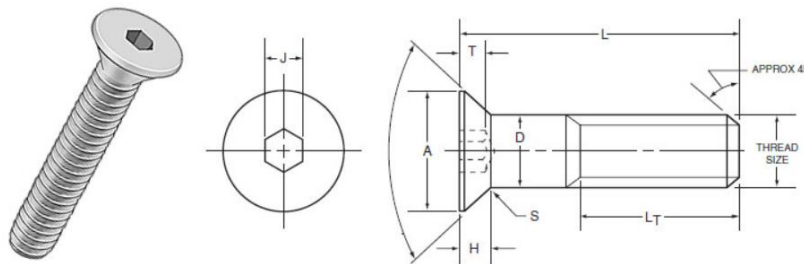


Figura 45 – 3: Perno avellanado

Fuente: Norma ISO 10642 (DIN 7991) (pernos allen avellanados milimétricos) (imporpernos.com)

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Área de contacto de la cuchilla= 600 mm^2

$$F = \frac{1,048 \text{ N mm}^2}{600 \text{ mm}^2}$$

$$F = 1,746 \times 10^{-3} \text{ N}$$

Para el diseño se tomará en consideración la siguiente fórmula:

$$\tau = 0,577 \frac{S_p}{n}$$

Dónde S_p es la resistencia mínima del perno y equivale a 225 Mpa, tomado del Libro de Diseño e Ingeniería Mecánica de Shigley, página 420.

$$\frac{F}{\pi d^2/4} = 0,577 \frac{S_p}{n}$$

$$n = \frac{\pi * (5^2) * (225) * (0,577)}{4 * (1,746 * 10^{-3})}$$

$$n = 1,45 \times 10^6$$

Como se puede observar el perno elegido soporta el trabajo a realizarse.

3.11 Diseño de juntas soldadas

Se aplicará el análisis donde está marcado debido a que allí es donde se ubicará toda la carga.

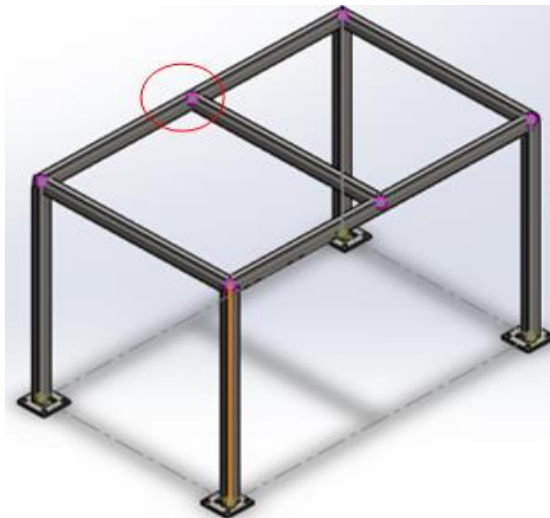


Figura 46 – 3: Estructura base para análisis de solda
Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Se aplicará la ecuación:

$$\tau = \frac{1,414 M}{bdh}$$

Para calcular el momento en ese punto se tomará como referencia los datos obtenidos del software SAP2000:

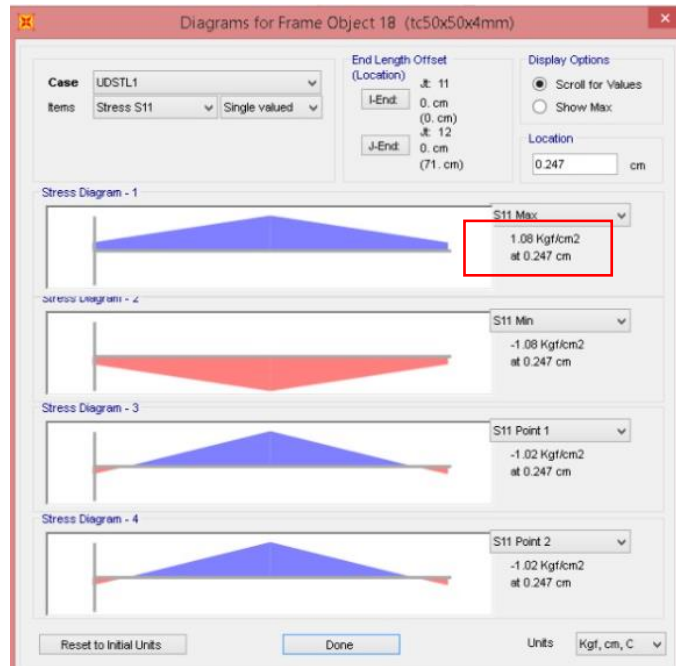


Gráfico 20 – 3: Momentos del punto de análisis de soldadura de la estructura

Fuente: Sap2000

$$M_{\text{máx}} = 1,08 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Transformando tenemos:

$$1,08 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} * \frac{9,8 \text{ N}}{\text{kgf}} * \frac{\text{cm}^2}{100 \text{ mm}^2} = 0,1058 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau = \frac{1,414 \times 0,1058}{50 \times 50 \times 4}$$

$$\tau = 14,96 \times 10^{-6} \text{ MPa}$$

Se utilizará un electrodo E7018 con un $S_y = 393 \text{ Mpa}$, tomado del Libro de Diseño e Ingeniería Mecánica de Shigley, página 472.

$$n = \frac{S_y}{\tau}$$

$$n = \frac{0,5 \times 393}{14,96 \times 10^{-6}}$$

$$n = 13,13 \times 10^6$$

Tomando este coeficiente de seguridad como un resultado positivo del diseño.

3.12. Diagramas eléctricos

3.12.1. Diagrama de potencia

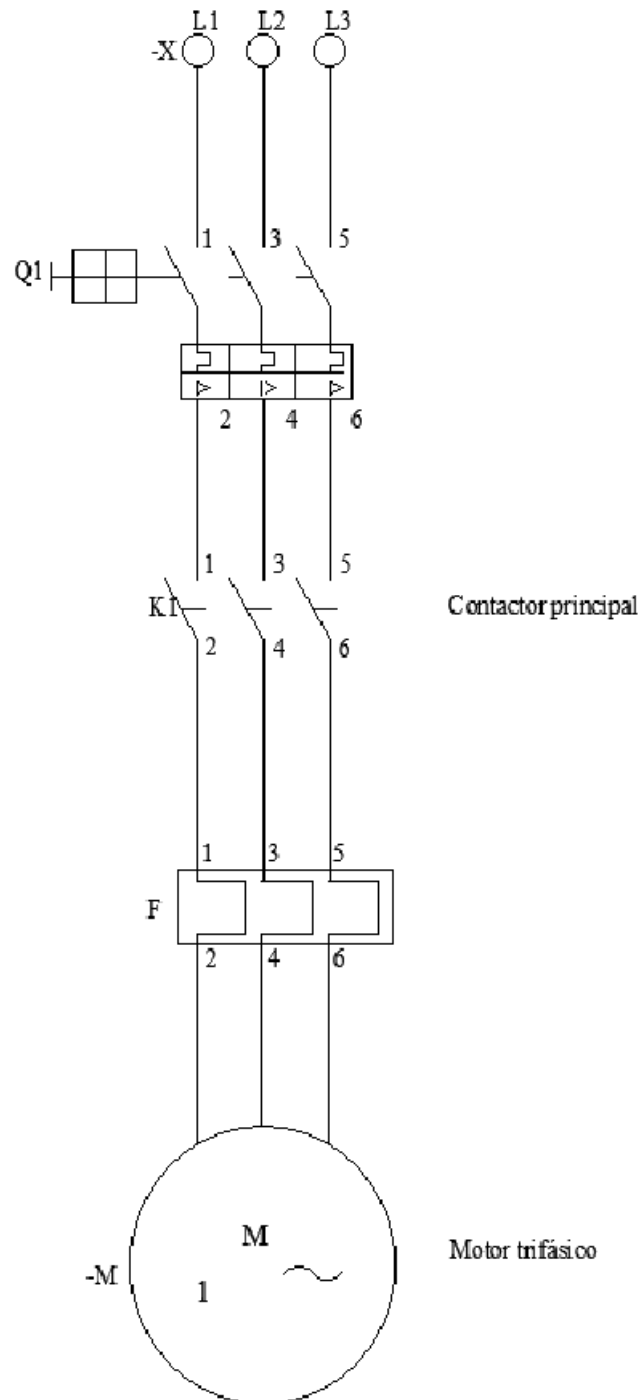


Gráfico 21 – 3: Diagrama de potencia
Realizado por: Aguas Santiago, 2021

3.12.2. Diagrama de control

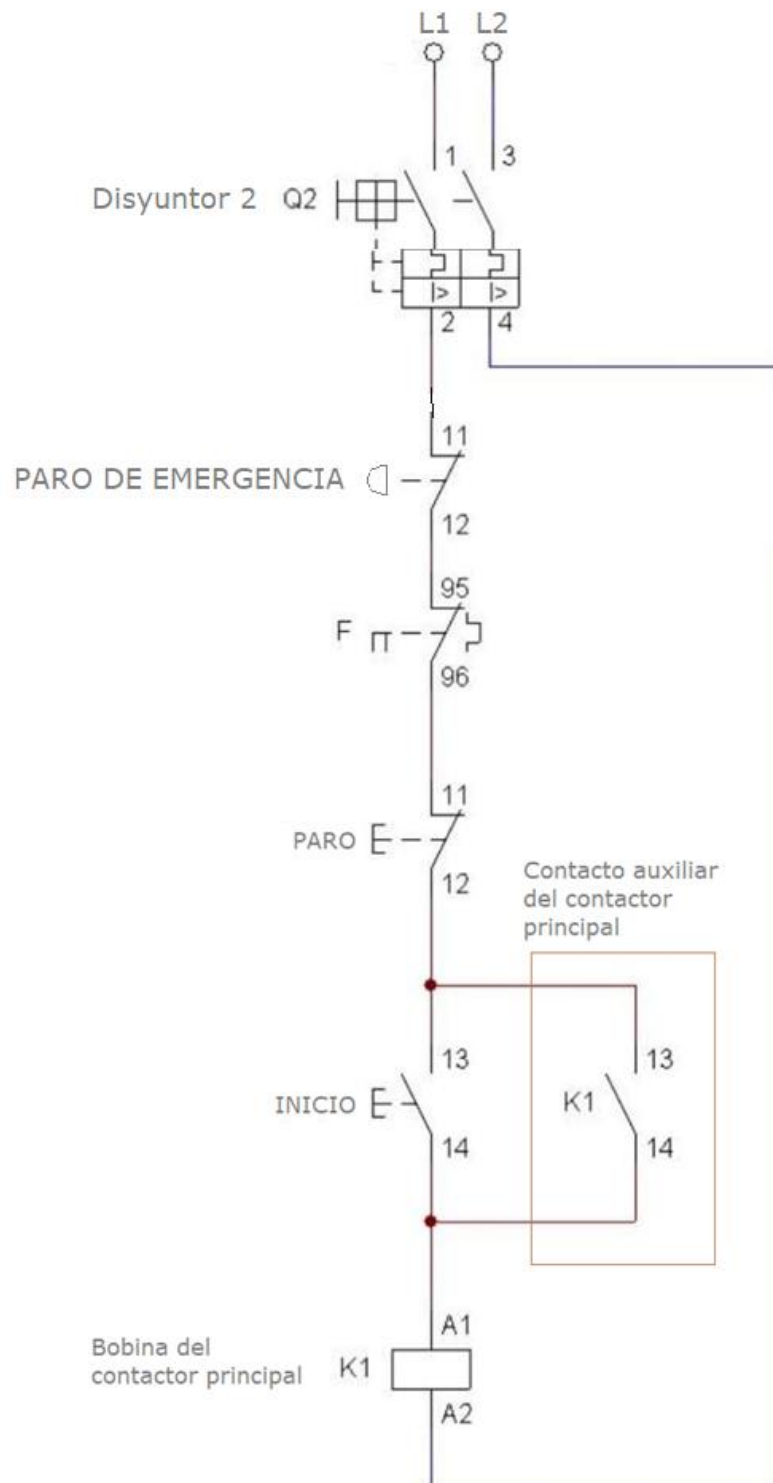


Gráfico 22 – 3: Diagrama de control

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

3.13. Costos

Para el presente análisis de costos se dividirán en dos partes la directa e indirecta y al final se hará un conglomerado del costo total.

3.13.1. Costos directos

Son los costos relacionados en la construcción y ensamblaje de la máquina, se presentan dos tablas con los componentes mecánicos y eléctricos.

3.13.1.1. Componentes mecánicos

Tabla 44 – 3: Costo de componentes mecánicos

DENOMINACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO(USD)	PRECIO TOTAL(USD)
Chumaceras	U	2	9	18
Prisioneros M6	U	3	0,15	0,45
Pernos M10	U	10	0,3	3
Electrodos AGA 7018 1 paquete	Lb	1	5,5	5,5
Motorreductor TRAMEC a 141 rpm, 0,75HP	U	1	250	250
Tubo cuadrado de 10x10x4	U	1	50	50
Pintura	Gl	1	30	30
Correas	U	2	17	34
Tol para base	U	1	25	25
Eje de soporte de botellas	U	1	15	15
Eje de 19 mm	U	1	25	25
Soportes de base	U	4	2,5	10
Disco de corte	U	1	2	2
Cuchilla 4340 recocida	U	2	80	160
Poleas	U	2	25	50
Guarda de seguridad para poleas	U	1	25	25
Disco de pulido	U	1	2	2

TOTAL

704,95

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

3.13.1.2. Componentes eléctricos

Tabla 45 – 3: Costo de componentes eléctricos

DENOMINACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO(USD)	PRECIO TOTAL(USD)
Cable 14AWG flexible	m	2	0,5	1
Cable concéntrico 3x12	m	2	1	2
Enchufe polarizado 15 amp	u	1	3,5	3,5
Breaker de dos polos 10 amp	u	1	12	12
Breaker de dos polos 6 amp	u	1	12	12
Bornera 15 amp	u	1	4	4
Contactador de 1 Hp con bobina de 220V	u	1	30	30
Relé térmico de 1 Hp	u	1	45	45
Pulsador normalmente abierto	u	1	4	4
Pulsador normalmente cerrado	u	1	4	4
Paro de emergencia	u	1	6	6
Cable 16AWG flexible	m	6	0,35	2,1
Terminales	u	50	0,1	5
Tablero 20x20 hermético	u	1	20	20
Prensa estopa	u	2	0,5	1

TOTAL

151,6

Realizado por: Aguas Santiago., 2021

3.13.1.3. Costo de procesos

Tabla 46 – 3: Costo de procesos

PROCESO	UNIDAD	HORAS HOMBRE	PRECIO UNITARIO(USD)	PRECIO TOTAL(USD)
Soldado de estructura	u	10	4,01	40,1
Pulido de estructura	u	5	3,62	18,1
Torneado de eje	u	5	4,01	20,05
Pintado de estructura	u	1	3,62	3,62
Cortado de tubos	u	2	3,62	7,24
Maquinado de poleas	u	16	4,01	64,16
Armado de máquina	u	3	3,62	10,86

TOTAL

164,13

Fuente: Cámara de la construcción del Guayas - 2019

Los costos directos serán:

Tabla 47 – 3: Costo directo total

ÍTEM	PRECIO (USD)
Costo de componente mecánicos	704,95
Costo de componentes eléctricos	151,60
Costo de procesos	164,13
Transporte	0
TOTAL	1020,68

Realizado por: Aguas Santiago., 2021

3.13.2. Costos indirectos

Tabla 48 – 3: Costos indirectos

ÍTEM	PRECIO (USD)
Costo ingenieril (10%)	102,068
Imprevistos (0%)	0
Utilidad (0%)	0
TOTAL	102,068

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

3.13.3. Costo total

Tabla 49 – 3: Costo total

ÍTEM	PRECIO (USD)
Costos directos	1020,68
Costos indirectos	102,068
TOTAL	1122,748

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

4. RESULTADOS

4.1. Modelación del diseño

Mediante cálculos de diseño y selección de la mejor alternativa y después de hacer modificaciones para que visualmente sea atractivo, se presenta la máquina:

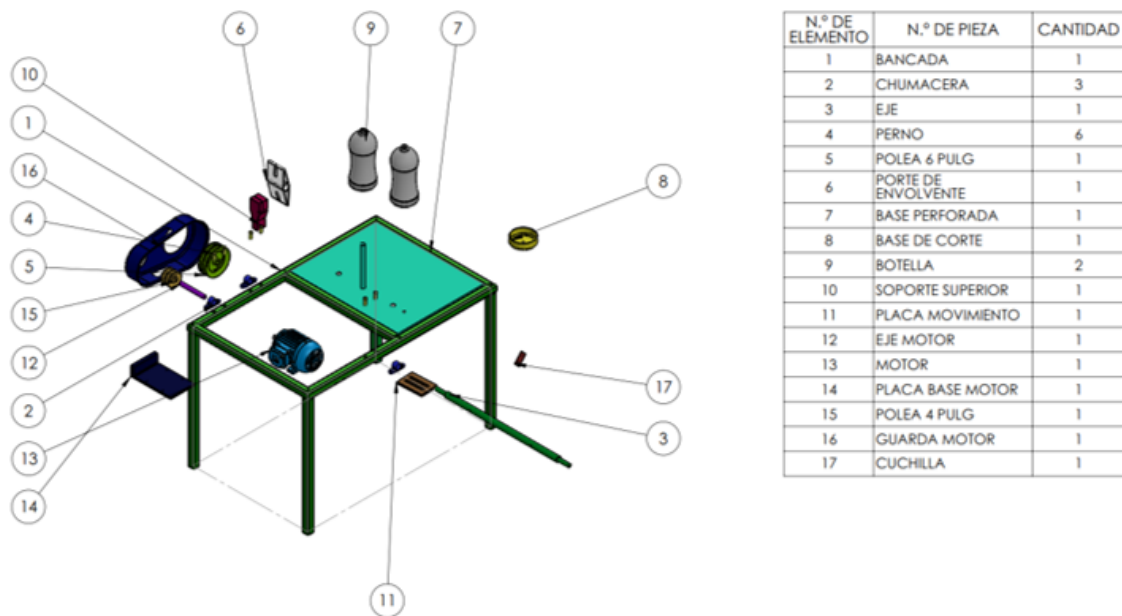


Figura 47 – 4: Máquina semiautomática para elaborar cuerdas a partir de botellas pet

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

4.2. Características de la máquina

La máquina para elaborar cuerdas a partir de botellas de plástico pet tiene las siguientes características:

- Tomando una botella promedio de 235 mm (la parte útil sin contar con la base y la tapa) como referencia, el tiempo de corte es de 15 segundos, es decir que en una hora se pueden trabajar con 240 botellas.
- La máquina tiene la capacidad de trabajar hasta con cuatro botellas al mismo tiempo (bajo expansiones controladas) lo cual podría producir 960 botellas por hora.
- La longitud obtenida promedio con un ancho de cuerda de 10 mm es de 5 metros por botella, en una hora se pueden obtener 1200 m de cuerda.
- Si se trabaja con 4 botellas simultáneamente (bajo expansiones controladas) se podrían obtener 4800 m de cuerdas por hora.
- Cuenta con una cuchilla de acero AISI 4340 recocido, que acorde al mercado del reciclaje es uno de los más usados junto al AISI 1020, convirtiéndole en un elemento mecánico de fácil acceso.
- Para el sistema de transmisión constará de dos correas tipo B y las poleas de 100 y 160 mm con una relación de transmisión de 1,6
- Se seleccionó un motorreductor que entrega 141 rpm a 0,75 HP trifásico para reducir la relación de transmisión.

4.3. Velocidad de corte

Mediante fase experimental se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 50 – 4: Valores promedio de tiempo de corte de la botella plástica

Vuelta	Tiempo(seg)
1	1,48
2	1,52
3	1,36
4	1,4
5	1,38
6	1,5
7	1,48
8	1,52
9	1,4
10	1,42

Promedio	1,446	1,5
-----------------	-------	-----

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

La velocidad de corte es 1,5 vueltas/seg, lo que significa:

$$\frac{\text{Vueltas}}{\text{Segundo}} = \frac{23,5}{15}$$

Transformando a rpm, tenemos:

$$\frac{23,5 \text{ vueltas}}{15 \text{ seg}} * \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} * \frac{1 \text{ rev}}{1 \text{ Vuelta}} = \mathbf{93,6 \text{ rpm} = 90 \text{ rpm}}$$

4.4. Diseño de eje

Se presentan los cálculos y resultados obtenidos del diseño del eje

Tabla 51 – 4: Diseño del eje

FÓRMULA	NÚMERO DE ECUACIÓN	RESULTADO	UNIDADES
Esfuerzo por flexión			
$\sigma_f = \frac{32M}{\pi D^3}$	19	1214,302	$\frac{N}{mm^2}$
Esfuerzo por torsión			
F= F1- F2		1007,7027	N
R		9,5	mm
T=F*r	18	40308,108	N.mm
$\tau_f = \frac{16T}{\pi D^3}$	20	29,93	$\frac{N}{mm^2}$
Variación de esfuerzos			
$\sigma_{fa} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$	21	607,151	$\frac{N}{mm^2}$
Ecuación de esfuerzos combinados			
$\sigma_{eqa} = \sqrt{(\sigma_{fa} + \sigma_{aa})^2 + (\tau_{Ta} + \tau_{ca})^2}$	22	24,64	$\frac{N}{mm^2}$
$\sigma_{eqm} = \sqrt{(\sigma_{fm} + \sigma_{am})^2 + (\tau_{Tm} + \tau_{cm})^2}$	23	89,791	$\frac{N}{mm^2}$
Límite de fatiga			
$Se = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot Se'$	24		
K_a	Tabla 6 – 2	0,897	-
K_b	Gráfica 3 – 2	0,904	-
K_c	Tabla 7 – 2	0,85	-
K_d	Tabla 8 – 2	1	-
K_e	Tabla 9 – 2	1	-
Se'	Tabla 18 - 3	2621,74	$\frac{Kg}{cm^2}$
Criterio legal de Soderberg			
$\frac{\sigma_{eqa}}{Se} + \frac{\sigma_{eqm}}{Sy} = \frac{1}{n}$	25	42,961	-

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

4.4.1. Análisis de fatiga del eje

4.4.1.1. Curva S-N

Mediante la tabla 37 – 3 podemos obtener $1,00E+1$ ciclos y sobreponiendo a la curva inferior se puede ver que la tensión alterna es aproximadamente $1,00E9,5$, lo cual significa que nuestro eje soportará todas las cargas para las cuales está diseñada

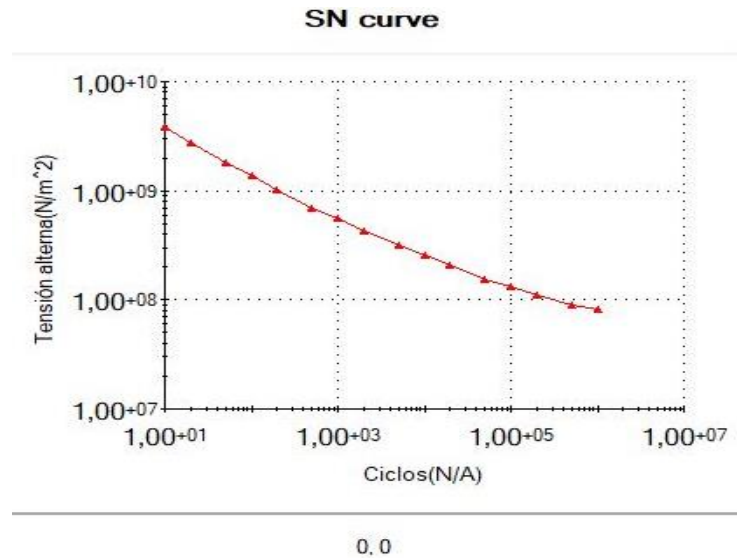


Gráfico 23 – 4: Curva S-N del análisis de fatiga del eje

Fuente: SolidWorks

4.4.1.2. Factor de carga

Según los datos obtenidos en la tabla 20 – 3 tenemos que la fuerza máxima en el extremo de moción es de 1055,49 N y un momento máximo de 817688,103 N*mm, se tomará el factor de carga mínimo y se multiplicará para hallar el daño real, así:

$$D_1 = C * f_c$$

Dónde:

D_1 = Daño real

C = Carga

f_c = Factor de carga

$$D_1 = 1055,49 * 7,277E - 5$$

$$D_1 = 0,07680 \text{ N}$$

$$D_2 = 817688,103 * 7,277E - 5$$

$$D_2 = 59,50 \text{ N * mm}$$

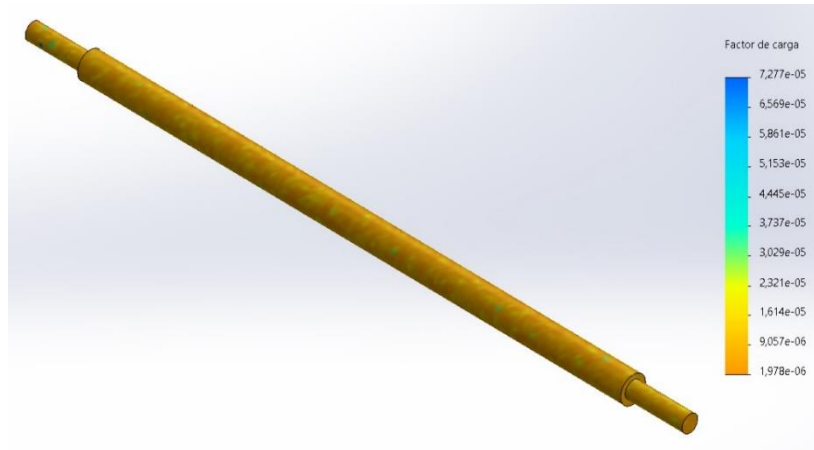


Gráfico 24 – 4: Factor de carga del eje

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Tabla 52 – 4: Factor de carga del eje

Factor de carga máximo	1,966E-6	-
Factor de carga mínimo	7,277E-5	-

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

4.4.1.3. Daño acumulado

Como se puede apreciar en la figura inferior el daño en el eje practicamente es nulo, ya que se encuentra sobredimensionado con un factor de seguridad de 42,961.

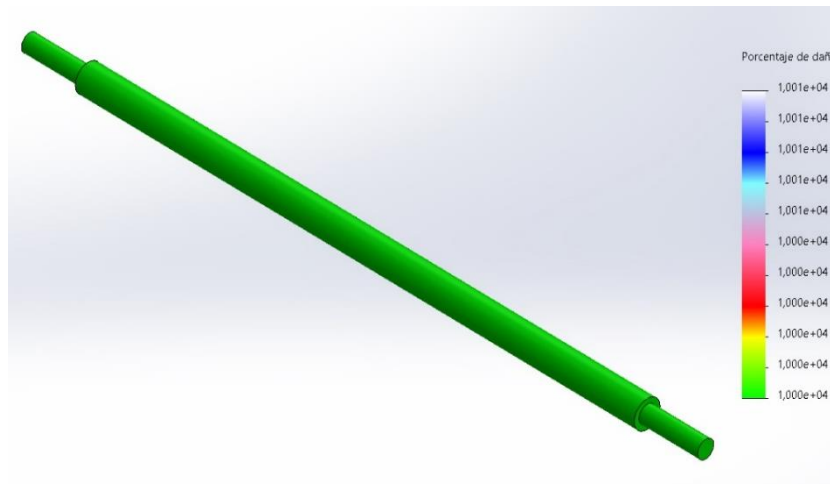


Gráfico 25 – 4: Daño acumulado del eje

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Tabla 53 – 4: Daño acumulado del eje

Daño máximo	1,00E+4	
Daño mínimo	1,00E+4	

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

4.4.1.4. Vida total

Gráfica ligada estrechamente a la curva SN, se tomará como valor referencial para la lectura del ítem 4.4.1.1

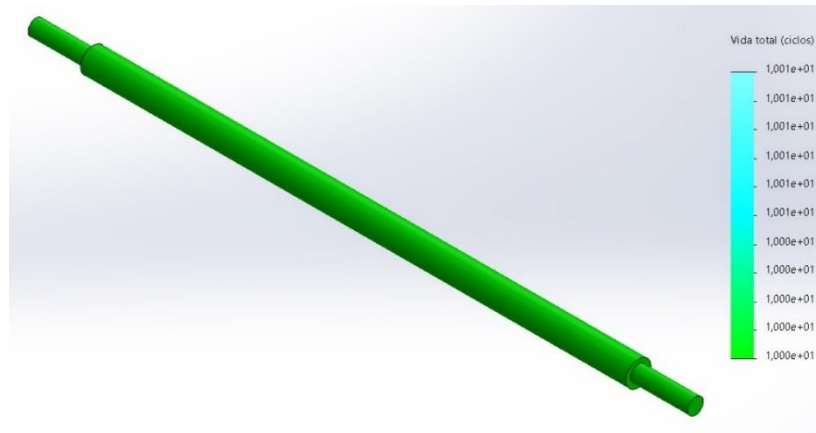


Gráfico 26 – 4: Vida total del eje

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Tabla 54 – 4: Vida total del eje

Vida total máxima	1,000E+1	-
Vida total mínima	1,000E+1	-

Realizado por: Aguas Santiago., 2021

4. 5. Diseño de la cuchilla

Se tomaron como referencia dos tipos de acero para que a continuación se presenta

4.5.1 Análisis comparativo de los materiales de la cuchilla

Para el siguiente análisis se considerará criterios de ingeniería con los valores calculados en los numerales anteriores.

Tabla 55 – 4: Tabla comparativa de los dos aceros analizados

PROPIEDAD	TIPO DE ACERO			
	AISI 1020 LAMINADO EN FRÍO		AISI 4340 RECOCIDO	
	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO
ESFUERZO DE VON MISES	1,66E+05	1,06E+01	1,68E+02	9,58E-01
DESPLAZAMIENTOS	1,07E-01	1,00E-30	1,07E-01	0,00E+00
FACTOR DE SEGURIDAD	3,20E+02	2,11E+01	4,92E+02	2,80E+01

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Para el análisis se considerará que:

MÓDULO DE ELASTICIDAD		
AISI 1020 laminado en caliente	3,50E+2	MPa
AISI 4340 recocido	4,70E+2	MPa

Tabla 56 – 4: Valores máximos calculados de los dos aceros analizados

RESULTADOS MÁXIMOS		
PROPIEDAD	AISI 1020 LAMINADO EN FRÍO	AISI 4340 RECOCIDO
ESFUERZO DE VON MISSES	1,66E+05	1,68E+02
DESPLAZAMIENTOS	1,07E-01	1,07E-01
FACTOR DE SEGURIDAD	3,20E+02	4,92E+02

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Tabla 57 – 4: Valores mínimos calculados de los dos aceros analizados

RESULTADOS MÍNIMOS		
PROPIEDAD	AISI 1020 LAMINADO EN FRÍO	AISI 4340 RECOCIDO
ESFUERZO DE VON MISSES	1,06E+01	9,58E-01
DESPLAZAMIENTOS	1,00E-30	0,00E+00
FACTOR DE SEGURIDAD	2,11E+01	2,80E+01

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Tabla 58 – 4: Valores de los dos aceros analizados en el agujero de la cuchilla

AGUJERO DE LA CUCHILLA		
PROPIEDAD	AISI 1020 LAMINADO EN FRÍO	AISI 4340 RECOCIDO
ESFUERZO DE VON MISSES	3,41E+01	3,43E+01
DESPLAZAMIENTOS	1,07E-02	1,07E-02
FACTOR DE SEGURIDAD	2,11E+01	2,80E+01

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Para una selección adecuada para el trabajo que se realizará se tomará como referencia la tabla 34 – 3, en la cual se puede entender que el acero AISI 4340 recocido es la mejor opción dadas las altas ventajas que posee por sus componentes que hacen de este un acero más resistente, económicamente es elevada la adquisición de la cuchilla en comparación al AISI 1020, pero dadas las ventajas que brinda, el diseñador de este proyecto técnico elegirá esta opción.

El factor de seguridad mínimo es 21,1 en acero AISI 1020 y 28 en acero AISI 4340, lo cual significa que los dos aceros soportarán el trabajo y las cargas a las cuales serán sometidas.

4.5.2. Análisis comparativo a través de las curvas de convergencia

4.5.2.1. Curva de convergencia de la cuchilla con acero AISI 1020

Lo que se puede observar en el gráfico 22 – 4 son las curvas que garantizan la calidad de mallado, así:

La curva café está en 83% aproximadamente, lo cual significa que tenemos un 17 % de error de la tensión de Von Mises, pero como el coeficiente de seguridad es 21 se acepta el diseño ya que es alto y se puede tener un rango para reducir este coeficiente y de esta manera mejorar dicho error.

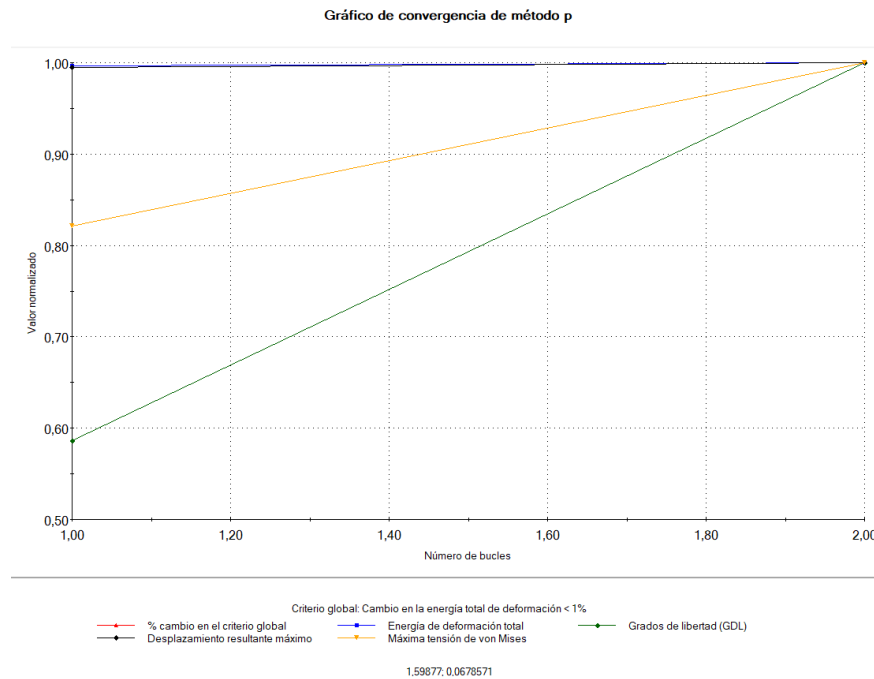


Gráfico 27 – 4: Curva de convergencia de la cuchilla con AISI 1020

Fuente: SolidWorks

4.5.2.2. Curva de convergencia de la cuchilla con acero 4340 recocido

La curva se encuentra en 88%, lo cual significa que tenemos un error del 12% aproximadamente en la tensión de Von Mises, es más bajo que el acero anterior dadas las características que posee el 4340 recocido

Se acepta el diseño dado que el error es bajo y el coeficiente de seguridad es 28.

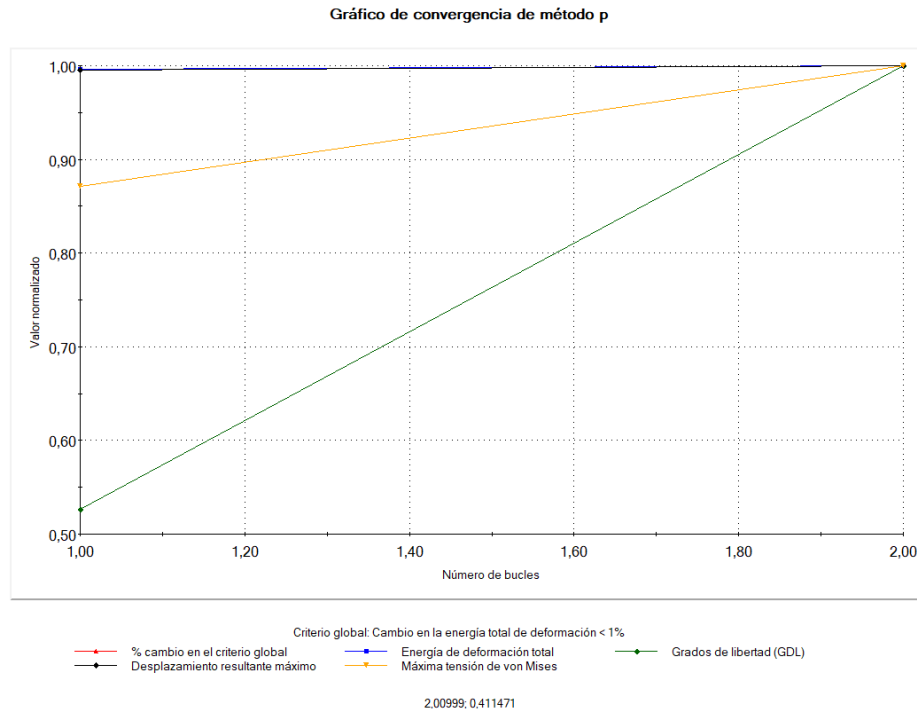


Gráfico 28 – 4: Curva de convergencia de la cuchilla con AISI 4340

Fuente: SolidWorks

Estas curvas de convergencia obtenidas por el software SolidWorks 2020, sirve para que el ingeniero diseñador tenga una idea en la que se encuentra el mallado, más no significa que es determinante al momento de tomar una decisión, ya que solo la experiencia y conocimiento permitirá que se acepte o niegue un diseño, es decir depende del coeficiente de seguridad ya que si el margen de error resultante en la curva de convergencia es alto y mi coeficiente es alto se puede aceptar el diseño simplemente porque está sobredimensionado y se puede obtener un margen más amplio de modificaciones, en otras palabras las curvas de convergencia permiten pulir el mallado y por ende el análisis estructural del elemento mecánico que esté en estudio.

4.6. Estudio comparativo del análisis modal y de frecuencias.

El estudio comparativo entre los cinco modos de frecuencia realizados a la estructura de la máquina y cuyo objetivo fue estudiar las deformaciones máximas producidas se presenta en la tabla inferior.

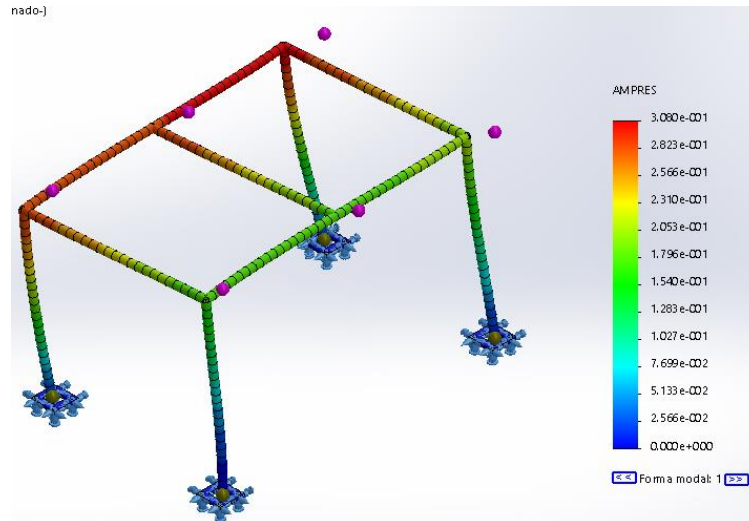


Gráfico 29 – 4: Forma modal de la estructura

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Tabla 59 – 4: Estudio comparativo del análisis de frecuencia

ANÁLISIS MODAL	FRECUENCIA (Hz)	DEFORMACIÓN (mm)
1	31,461	0,43215
2	35,187	0,4652
3	48,091	0,461861
4	92,4954	0,5315
5	119,593	0,2527

Realizado por: Aguas Santiago, 2021

Se puede concluir que las deformaciones que presentará la estructura por efectos de la vibración serán mínimos, la deformación mínima es de 0,2527 mm a una frecuencia de 31,461 Hz y la máxima 0,5315 mm con 92,4954 Hz.

El motorreductor entrega 60Hz, valor que no llegaría a la frecuencia dónde se produjo la máxima deformación, es decir, 92,4954 Hz, para la cual para un diseño óptimo se colocarán amortiguadores de caucho en las patas y un anclaje al suelo para evitar que falle la estructura, un punto muy importante a considerar siguen siendo los coeficientes de seguridad que son altos para esta máquina, lo cual permite aceptar el estudio que se presenta en el documento porque se tiene un margen considerable de error.

4.7. Operación y mantenimiento

Seguridad de operación

Siempre verifica que tus condiciones de trabajo sean seguras por más pequeña o simple sea la actividad que se realizará.

Antes de iniciar con la puesta en marcha de la máquina se debe considerar varios aspectos de seguridad que a continuación se presenta:

Incidente. Evento imprevisto que puede ser tratado por personal capacitado sin necesidad de asistir a un centro médico.

Accidente. Evento inesperado que debe ser atendido en una casa de salud.

Riesgo. Probabilidad de que ocurra un evento inesperado como un accidente o incidente.

Peligro. Condición de trabajo o el medio en el que se realiza la actividad.

Definidas estas palabras podemos determinar los riesgos que se pueden presentar al momento de trabajar con la máquina en la elaboración de cuerdas a partir de botellas pet.

Riesgo mecánico

Probabilidad que ocurra un evento como puede ser un incidente o un accidente mientras se trabaja con una máquina ya sea manual o eléctrica, así como trabajos en alturas.

Ejemplos:

- Cortaduras
- Atrapamiento
- Amputaciones
- Entre otros.



Riesgo eléctrico

Probabilidad que llegue a suceder un incidente o accidente mientras trabajamos con energía eléctrica.

- Electrocutaciones
- Pérdida de conocimiento
- Fibrilación ventricular
- Entre otros.



Verificar que todos los cables cumplan con los requisitos de seguridad como son:

- Los polos que se conectarán a la fuente de alimentación NO deben estar oxidados, mojados o rotos, de ser así cambiar inmediatamente.
- Verificar que se encuentre en modo *apagado* antes de conectar a la red.
- **NO** utilizar cables en mal estado, pelados, sin aislar.
- **NO** se puede colocar cables “remachados”.
- **PROHIBIDO** trabajar sobre superficies mojadas, húmedas o cerca de fuentes hídricas
- **PROHIBIDO** pasar extensiones o cables por ventanas, puertas o pasajes.

El lugar sobre el que se trabajará deberá tener las siguientes consideraciones:

- **Suficiente ventilación**, que evitará la concentración de gases nocivos.
- **Iluminación adecuada**, se puede usar natural o eléctrica.
- **Espacio adecuado**, para que el operador se mueva con facilidad.
- **Orden y limpieza**, el área deberá tener una zona señalizada para las botellas y otro para la máquina con una distancia de al menos 2 metros entre cada una.

Para la parte mecánica se deberá considerar lo siguiente:

- La bancada deberá ser anclada al suelo para evitar que las vibraciones muevan la cuchilla y la botella.
- La bancada deberá ser inspeccionada para hallar fisuras en la estructura o en los puntos de suelda, en caso de existir deberá ser corregida lo más pronto posible.
- Si uno de los ejes se encuentra con fisuras o desalineamiento se debe corregir.
- La cuchilla deberá ser cambiada cuando pierda el filo, es decir cuando las botellas empiecen a salir con deformaciones o de ancho desigual.

Para la operación de la máquina se seguirán los siguientes pasos

1. Las botellas deberán estar limpias y retiradas las etiquetas
2. Las botellas que se encuentren con algún corte en su cuerpo no se podrán utilizar para obtener un producto de buena calidad.
3. Se colocará la botella primero en la sección de “corte de base”.
4. Una vez realizado el corte de la base se lo pasará a la cuchilla principal para el corte que producirá la hebra.
5. Luego se mediante un corte se enlazará al eje para que se produzca el corte limpio.
6. La capacidad de la máquina está para realizar el trabajo hasta cuatro hebras al mismo tiempo.

CONCLUSIONES

- El consumo excesivo de botellas plásticas a nivel mundial ha provocado que muchas empresas brinden una solución más amigable con el medio ambiente, empresas desde el reciclaje de botellas para producirlas en pellets y de esta manera tener productos nuevos hasta la producción de cuerdas mediante el deshilachado para producir ropa, zapatos, alfombras, etc.
- La metodología aplicada para el presente proyecto técnico fue VDI 2221 variación de la metodología VDI 2222 realizada por la asociación de ingenieros alemanes VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI).
- La cuchilla de acero 4340 recocido tiene alta capacidad de resistencia para el corte de la botella plástica dadas las propiedades mecánicas que lo convierten en un acero muy útil para la industria del reciclaje.
- El daño acumulado del eje es 0,07680 N, es decir el eje soportará las cargas a las cuales está diseñado debido también al factor de seguridad que es 42,961
- La deformación máxima producida por el análisis modal y de frecuencias fue de 0.5315 mm lo cual determina que la estructura soporte resistirá toda la carga estática y dinámica para la cual fue diseñada.
- Se diseñó todos los elementos de la máquina con todos sus detalles aplicando normativa nacional para los planos y representaciones.

RECOMENDACIONES

- Se debe fomentar la investigación en las universidades nacionales para buscar alternativas químicas más ambientalmente responsables en la producción del plástico y de esta manera reducir el tiempo de descomposición del pet.
- Se recomienda que se construya el prototipo con todas las características que el presente documento posee para tener un panorama mucho más claro, hacer las correcciones y mejorar de ser el caso
- Se recomienda que se haga un análisis de la cuchilla con acero inoxidable para de esta manera determinar su influencia en la homogeneidad y la producción de hilachas en la cuerda.
- Realizar un estudio de los tratamientos térmicos que se puedan realizar a la cuerda obtenida para tener diferentes aplicaciones.
- Todo documento que intervenga en una máquina como memoria técnica, manuales, planos, etc., deben tener un registro de todos los cambios que se vayan haciendo para tener una bitácora de cambios y actualizaciones.

BIBLIOGRAFÍA

Alonso, Higinio Rubio. 2015. Diseño Mecánico. *Transmisión por correas(1era parte)*. [En línea] 09 de Marzo de 2015. http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/disenio-mecanico-1/material_clase/ocw_correas1.

Alvarez, Sergio. 2016. DiarioMotor para Ford. *"La máquina que cambió el mundo": la revolución industrial del Ford Model T*. [En línea] 29 de Abril de 2016. <http://www.diariomotor.com/espacio-ford/2016/04/29/ford-model-t-produccion-masa/>.

Archila Gonzalez, Diana Janeth y Figueroa Parra, Gloria Consuelo. 2017. *Análisis de la resistencia al corte, tracción, flexión y compresión en probetas de plástico reciclado*. Bogotá D.C. : Universidad La Gran Colombia, 2017.

AUXxon. 2014. Sopladora de Botellas. *Sopladora de Botellas*. [En línea] 13 de 10 de 2014. <http://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/agroindustria/maquinaria/auxxon/auxxon-sp4.htm>.

AvatarEnergía.com. AvatarEnergía.com. *Fabricar telas a partir de botellas de PET para prendas de vestir y mas*. [En línea] AvatarEnergía.com. <https://avatarenergia.com/telas-a-partir-de-botellas-de-pet/>.

Avner, Sydney H. 1995. *Introducción a la metalurgia física*. Mexico - Mexico : Mc Graw - Hill Interamericana, 1995.

Blog de residuos de la Cuarta R. 2012. Blog de residuos de la Cuarta R. [En línea] 17 de Abril de 2012. <http://www.actividades-mcp.es/gestionresiduos/2012/04/botellas-de-plastico-para-contruir-casas/>.

BMI Machines. 2015. BMI Machines. *Paso a paso: Cómo se fabrica una botella de PET*. [En línea] 16 de Septiembre de 2015. <https://www.bmimachines.com/paso-a-paso-como-se-fabrica-una-botella-de-pet/>.

Brainerr. 2016. Brainerr. [En línea] 09 de Octubre de 2016. <https://www.brainerr.com/trabajos-academicos/ingenieria-programacion/programacion-en-matlab/>.

Budynas, Richard G. y Nisbett, J. Keith. 2008. *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. Octava. México D.F. : Mc Graw-Hill Interamericana, 2008.

Carman, Grupo. 2014. Blog de noticias, novedades y promociones del grupo de empresas carman. *Tipos de Software CAD/CAE/CAM*. [En línea] 23 de Octubre de 2014. <http://grupocarman.com/blog/tipos-de-software-cadcaecam/>.

Cerillo, Antonio. 2015. La Vanguardia. *La moda incorpora plástico PET reciclado para confeccionar ropa*. [En línea] 24 de Febrero de 2015. <http://www.lavanguardia.com/natural/20150224/54427561102/plastico-pet-reciclado-confeccionar-ropa.html>.

Colortronic, Motan. 2013. Motan Colortronic. *Preformas/botellas PET*. [En línea] 31 de Octubre de 2013. <http://www.motan-colortronic.com/es/soluciones/moldeo-por-inyeccion/preformasbotellas-pet.html>.

Continental. 2015. Continental. *Correas acanaladas ELAST*. [En línea] 15 de Febrero de 2015. http://aam-europe.contitech.de/pages/antriebsriemen/keilrippenriemen-elast/keilrippenriemen-elast_es.html.

Democophes. 2016. Biomarcadores. *¿Por qué se han seleccionado estos contaminantes como biomarcadores en el estudio Democophes?* [En línea] 20 de Febrero de 2016. <http://democophes.blogs.isciii.es/tag/biomarcadores/>.

Eidelman, Alejandro, Flórez, Luis y Higuera , Oscar. 2013. *Diseño y generación de transmisiones de potencia por correa trapecial en Solidworks mediante una aplicación en Visual Basic*. Colombia : s.n., 2013. ISSN 0121-1129.

estilográficas, Plumas. 2009. Plumas Estilográficas. [En línea] 20 de Julio de 2009. <http://estilografica.blogspot.com/2009/07/el-plumifero-viajero-milan.html>.

García, Juan Manuel Marín. 2006. *Apuntes de diseño de máquinas*. España : Club Universitario, 2006.

Gestión de Calidad Total. 2015. Gestión de calidad total. *Gestión de calidad total*. [En línea] 10 de Abril de 2015. <http://www.gestiondecalidadtotal.com/index.html>.

Geyer, R, Jambeck, J y Lavender , Law. 2017. ScienceAdvances. *Production, use and fate of all plastic ever made*. [En línea] 19 de Julio de 2017. <https://advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700782.full>.

Grupo Carman. 2014. Carman Official Site. *Artículos técnicos, mallado por elementos finitos*. [En línea] 30 de Octubre de 2014.

Hamrcok, Bernard J., Jacobson, Bo O. y Schmid, Steven R. 2000. *Elementos de Máquinas*. México : Mc Graw - Hill, 2000.

Hidalgo Aguilera, Luis, Imbaquingo, Jimmy y Mideros, Daniel. 2017. *Diseño e implementación de una máquina recicladora de botellas plásticas por corte, controlada automáticamente*. [http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/:] Quito : Universidad UTE, 2017. 1390-6542.

<https://es.dreamstime.com/stock-de-ilustracin-transmision-redonda-de-la-correa-image44747643>. 2016. [En línea] 23 de Abril de 2016. <https://es.dreamstime.com/stock-de-ilustracin-transmision-redonda-de-la-correa-image44747643>.

<https://pixabay.com/es/laptop-conocimiento-información-1723059/>. 2016. Pixabay. [En línea] 22 de Marzo de 2016. <https://pixabay.com/es/laptop-conocimiento-información-1723059/>.

ingemecánica. 2017. Ingemecánica. *Correas de transmisión, Cálculo y Diseño*. [En línea] 09 de Marzo de 2017. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>.

Interempresas/Plástico. 2003. *¿Cómo enfriar las aplicaciones calientes? ¿Cómo enfriar las aplicaciones calientes?* [En línea] 15 de Marzo de 2003. <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/6102-Como-enfriar-las-aplicaciones-calientes.html>.

Kalpakjian, Serope y Schmid, Steven R. 2015. *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México : Pearson Education, 2015.

Khurmi, R.S. y Gupta, J.K. 2005. *A textbook of Machine Design*. Ram Nagar; New Delhi : Eurasia Publishing House, 2005.

La Bio Guía. 2014. La Bio Guía. *Hacer hilos y cuerdas para diversos usos reciclando botellas Pet*. [En línea] 13 de Agosto de 2014. <http://www.labioguia.com/notas/hacer-hilos-y-cuerdas-para-diversos-usos-reciclando-botellas-pet>.

Lozano Ramírez, José. 2000. *Diseño de elementos flexibles para la transmisión de potencia mecánica mediante el uso de la computadora*. Nuevo León : CD UNIVERSITARIA, 2000.

Mariano Blog, Tecnología del plástico. 2011. Tecnología del plástico. [En línea] 11 de Mayo de 2011. <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/pet.html>.

Marti Viedma, José María. 2000. *ICBS Intellectual Capital Benchmarking System*. 2000.

Mecapedia . 2008. Mecapedia - Enciclopedia Virtual de Ingeniería Mecánica. *Transmisión por correa*. [En línea] 28 de Febrero de 2008. http://www.mecapedia.uji.es/transmision_por_correa.htm.

Metodología para el diseño y construcción de una máquina para medición del desgaste abrasivo basado en la norma ASTM G-65. Niebles Núñez, Enrique Esteban, y otros. 2009. 1, Colombia : Prospectiva, 2009, Vol. 7.

Montes, Víctor. 2014. Equipo 4: Transmisión de potencia. *Equipo 4: Transmisión de potencia*. [En línea] 18 de Mayo de 2014. <http://equipo4conalep1.blogspot.com/2014/05/indice-transmision-de-potencia-bandas.html>.

Motor Pasión- Moto. 2010. Motor Pasión - Moto. *Transmisiones por cadenas, correa dentada o cardan: para gusto los colores*. [En línea] 29 de Julio de 2010. <https://www.motorpasionmoto.com/tecnologia/transmisiones-por-cadena-correa-dentada-o-cardan-para-gustos-los-colores>.

Mott, Robert L. 2004. *Machine Elements in Mechanical Design*. 4th. New Jersey : Pearson Education Inc., 2004.

Nieto Sánchez, Guillermo. 2019. De botella a alfombra y de yogur a cepillo de dientes: la transformación verde de los productos cotidianos. [En línea] SER, 04 de 12 de 2019. https://cadenaser.com/ser/2019/12/03/ciencia/1575411030_321122.html.

Norton, Robert. 1999. *Diseño de Máquinas*. México : Prentice Hall Hispanoamericana, 1999.

Norton, Robert L. 2009. Diseño de Maquinaria. *Diseño de Maquinas*. México : Mc Graw Hill Education, 2009, págs. 8 - 12.

Plástico. 2011. Tecnología del plástico. México : Publicar B2B Portales, 2011. Vol. 26, 4. ISSN 0120-7644.

Portal, 3D CAD. 2017. 3D CAD Portal. [En línea] 17 de Enero de 2017. <http://www.3dcadportal.com/3d-software/cam/>.

Quiminet. 2011. Conozca el proceso de fabricación de las botellas de plástico. *Conozca el proceso de fabricación de las botellas de plástico*. [En línea] 27 de Diciembre de 2011. <https://www.quiminet.com/articulos/conozca-el-proceso-de-fabricacion-de-las-botellas-de-plastico-2654474.htm>.

- QuimiNet. 2012.** Los elastómeros y sus principales aplicaciones en la industria. *Los elastómeros y sus principales aplicaciones en la industria*. [En línea] 19 de Enero de 2012. <http://www.quiminet.com/articulos/los-elastomeros-y-sus-principales-aplicaciones-en-la-industria-2668514.htm>.
- Ramirez, Elen Roxana Sánchez. 2015.** La innovación de la tecnología. *La innovación de la tecnología*. [En línea] 14 de Octubre de 2015. <http://tecnologiaysuinnovacion.blogspot.com/2015/10/la-innovacion-de-la-tecnologia.html>.
- Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett. 2008.** *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México : Mc Graw - Hill Interamericana, 2008.
- Rodríguez, Felipe Díaz del Castillo. 2011.** Diseño de elementos de máquinas. *Diseño de elementos de máquinas*. [En línea] 14 de Agosto de 2011. olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina.../diseno_elementos%20de%20maquinas.pdf.
- Ruber Beltings. 2015.** Flat Belts. *Flat Belts*. [En línea] 26 de Enero de 2015. <http://www.hitbelt.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=52&id=29>.
- Sanchez, Axel. 2014.** El financiero. *Se pone de moda el PET reciclado en ropa*. [En línea] 10 de Febrero de 2014. <http://www.elfinanciero.com.mx/empresas/se-pone-de-moda-el-pet-reciclado-en-ropa.html>.
- Sedis. 2010.** Sedis. *Sedis*. [En línea] 23 de Abril de 2010. http://www.sedis.com/_bibli_docs/catalogue_manut/manut-p121-chaines_de_transmission_a_rouleaux_adaptees_a_la_manutention.pdf.
- Shackelford, James F. 2005.** *Introducción a la ciencia de materiales para ingeniería*. Sexta. Madrid : Pearson Prentice Hall, 2005.
- Shigley, Joseph E. 1998.** *Teoría de Máquinas y Mecanismos*. 9na. México : Mc Graw - Hill, 1998.
- Smith, William F. y Hashemi, Javad. 2006.** *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. Cuarta. México D.F. : Mc Graw-Hill Interamericana, 2006.
- Tyler, Hicks G. 1998.** *Manual de Cálculos para las Ingenierías*. México : Mc Graw - Hill Interamericana, 1998.
- Vijayaraghavan, G.K. y Vishnupriyan, S. 2009.** *Design of machine elements*. 4th. India : Lakshmi Publication, 2009.
- Vikingo Web Sling & tie downs. 2015.** Vikingo Web Slings & Tie downs. *Cdena Grado 70*. [En línea] 23 de Abril de 2015. <https://www.eslingasvikingo.com/productos-cadenas-grado-70.html>.

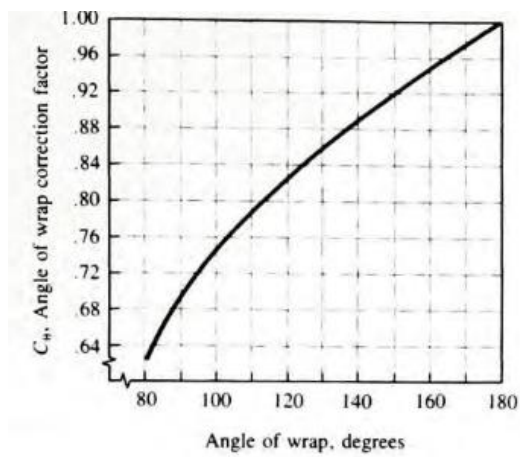
ANEXOS

Anexo A: Cálculo de C2

CORREA No.	28	28	31	35	38	42	46	51	55	60	64	68	75	85	97	112	120	128
Longitud correa mm	690	741	817	917	995	1097	1198	1325	1427	1554	1656	1757	1935	2189	2494	2875	3078	3281
Factor de corrección	0.81	0.82	0.84	0.87	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	0.99	1.00	1.02	1.05	1.08	1.11	1.13	1.14

Fuente: (Mecapedia , 2008)

Anexo B: Cálculo de C3



Fuente: (Mott, 2004)

Anexo C: Cálculo de P1

SECCION B (17x10.5)																											
[Principal]		[Atrás] [Arriba] [Adelante]																									
Diámetro polea chica		RPM DE LA POLEA PEQUEÑA																									
mm	pulg.	Relación de velocidades																									
		1 : i																									
		200	300	400	500	600	720	800	950	1000	1200	1450	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800								
100	4.00	1.00	0.45	0.68	0.81	0.94	1.08	1.19	1.30	1.46	1.49	1.66	1.85	1.93	2.02	2.09	2.14	2.16	2.16	2.13							
		1.05	0.51	0.78	0.94	0.99	1.12	1.24	1.35	1.51	1.55	1.72	1.91	1.99	2.09	2.16	2.21	2.23	2.23	2.21							
		1.20	0.55	0.70	0.87	1.02	1.15	1.28	1.40	1.55	1.60	1.78	1.97	2.06	2.16	2.23	2.30	2.32	2.31	2.28							
		1.50	0.66	0.73	0.90	1.05	1.19	1.32	1.45	1.60	1.65	1.85	2.03	2.13	2.23	2.31	2.37	2.39	2.39	2.36							
		>=	3.00	0.66	0.75	0.92	1.08	1.23	1.36	1.48	1.65	1.71	1.85	2.10	2.20	2.31	2.38	2.44	2.47	2.47	2.43						
112	4.50	1.00	0.64	0.87	1.09	1.29	1.48	1.65	1.82	2.05	2.13	2.40	2.71	2.87	3.05	3.19	3.33	3.41	3.47	3.50							
		1.05	0.66	0.91	1.13	1.34	1.53	1.71	1.88	2.13	2.20	2.49	2.79	2.96	3.15	3.32	3.44	3.53	3.59	3.62							
		1.20	0.69	0.94	1.17	1.38	1.58	1.77	1.94	2.20	2.28	2.57	2.89	3.06	3.25	3.42	3.56	3.66	3.72	3.74							
		1.50	0.70	0.97	1.20	1.43	1.64	1.83	2.02	2.27	2.36	2.66	2.99	3.16	3.36	3.53	3.67	3.78	3.84	3.86							
		>=	3.00	0.73	1.00	1.24	1.47	1.65	1.88	2.08	2.34	2.43	2.74	3.08	3.27	3.47	3.64	3.79	3.89	3.96	3.98						
125	5.00	1.00	0.80	1.11	1.38	1.65	1.91	2.15	2.38	2.70	2.81	3.18	3.62	3.85	4.12	4.36	4.56	4.71	4.82	4.88							
		1.05	0.82	1.14	1.43	1.71	1.98	2.22	2.45	2.79	2.90	3.30	3.74	3.98	4.26	4.51	4.71	4.87	4.98	5.05							
		1.20	0.85	1.18	1.48	1.77	2.04	2.30	2.54	2.85	3.05	3.41	3.87	4.12	4.41	4.68	4.87	5.04	5.15	5.22							
		1.50	0.89	1.23	1.53	1.83	2.11	2.37	2.62	2.98	3.10	3.52	4.00	4.25	4.55	4.82	5.03	5.20	5.32	5.39							
		>=	3.00	0.91	1.26	1.58	1.88	2.17	2.46	2.71	3.07	3.19	3.63	4.13	4.38	4.70	4.97	5.19	5.37	5.49	5.56						
140	5.60	1.00	0.58	1.37	1.72	2.08	2.39	2.71	3.00	3.42	3.56	4.07	4.65	4.95	5.32	5.63	5.90	6.11	6.25	6.35							
		1.05	1.01	1.42	1.79	2.16	2.48	2.81	3.11	3.55	3.69	4.21	4.81	5.12	5.51	5.84	6.11	6.33	6.48	6.57							
		1.20	1.04	1.47	1.85	2.22	2.56	2.90	3.22	3.67	3.81	4.36	4.97	5.31	5.70	6.04	6.31	6.55	6.70	6.79							
		1.50	1.08	1.51	1.91	2.30	2.65	2.99	3.32	3.79	3.93	4.51	5.14	5.48	5.88	6.23	6.52	6.75	6.92	7.01							
		>=	3.00	1.12	1.55	1.97	2.37	2.73	3.08	3.42	3.91	4.05	4.64	5.29	5.65	6.07	6.42	6.73	6.97	7.14	7.24						
160	6.30	1.00	1.21	1.71	2.17	2.62	3.04	3.45	3.84	4.39	4.56	5.22	5.97	6.38	6.85	7.25	7.58	7.83	7.99	8.06							
		1.05	1.26	1.77	2.26	2.71	3.15	3.57	3.97	4.54	4.72	5.40	6.18	6.59	7.09	7.50	7.84	8.11	8.27	8.35							
		1.20	1.30	1.83	2.33	2.81	3.25	3.68	4.10	4.69	4.88	5.59	6.39	6.82	7.33	7.76	8.11	8.38	8.56	8.63							
		1.50	1.35	1.89	2.40	2.88	3.36	3.80	4.24	4.85	5.04	5.78	6.61	7.04	7.57	8.01	8.38	8.66	8.84	8.91							
		>=	3.00	1.38	1.95	2.49	2.99	3.46	3.92	4.37	4.95	5.20	5.96	6.81	7.26	7.81	8.27	8.65	8.92	9.12	9.20						
180	7.10	1.00	1.40	2.05	2.62	3.16	3.68	4.17	4.64	5.32	5.54	6.34	7.25	7.42	8.28	9.11	9.36	9.50	9.50								
		1.05	1.51	2.13	2.71	3.27	3.80	4.31	4.81	5.50	5.72	6.57	7.50	8.00	8.87	9.06	9.42	9.69	9.82	9.84							
		1.20	1.55	2.20	2.81	3.38	3.93	4.46	4.97	5.68	5.91	6.78	7.76	8.27	8.95	9.36	9.75	10.00	10.20	10.20							
		1.50	1.60	2.27	2.90	3.49	4.06	4.60	5.12	5.88	6.11	7.01	8.01	8.54	9.16	9.67	10.10	10.30	10.50	10.50							
		>=	3.00	1.66	2.34	2.98	3.61	4.19	4.75	5.29	6.06	6.30	7.24	8.26	8.80	9.45	9.97	10.40	10.70	10.80	10.80						
200	8.00	1.00	1.69	2.35	3.05	3.69	4.30	4.88	5.44	6.23	6.48	7.43	8.46	9.01	9.63	10.10	10.50	10.70	10.70	10.60							
		1.05	1.75	2.48	3.17	3.83	4.44	5.05	5.62	6.45	6.70	7.69	8.77	9.33	9.97	10.50	10.80	11.10	11.10	11.00							
		1.20	1.81	2.56	3.27	3.95	4.60	5.22	5.82	6.67	6.93	7.94	9.05	9.64	10.30	10.80	11.20	11.40	11.50	11.40							
		1.50	1.87	2.65	3.38	4.08	4.75	5.39	6.01	6.89	7.16	8.21	9.35	9.96	10.60	11.20	11.60	11.80	11.90	11.70							
		>=	3.00	1.93	2.73	3.49	4.21	4.89	5.56	6.19	7.10	7.38	8.46	9.65	10.30	11.00	11.50	11.90	12.10	12.30	12.10						
250	10.00	1.00	2.27	3.23	4.13	4.99	5.81	6.61	7.36	8.42	8.74	9.97	11.30	11.90	12.50	12.90	13.10	13.00									
		1.05	2.34	3.34	4.27	5.17	6.02	6.84	7.61	8.71	9.05	10.30	11.70	12.30	13.00	13.40	13.50	13.40									
		1.20	2.43	3.46	4.42	5.34	6.23	7.07	7.87	9.00	9.36	10.70	12.00	12.80	13.40	13.80	14.00	13.80									
		1.50	2.50	3.56	4.57	5.51	6.42	7.30	8.14	9.30	9.67	11.00	12.40	13.10	13.80	14.30	14.50	14.30									
		>=	3.00	2.59	3.68	4.71	5.70	6.63	7.53	8.39	9.59	9.97	11.40	12.90	13.50	14.20	14.70	14.90	14.80								

CORREA No	35	38	42	46	51	60	68	75	86	105	120	136	158	173	195	240	270	300
Longitud correa mm	965	1008	1110	1211	1338	1507	1770	1948	2202	2710	3091	3497	4056	4437	4996	6106	6868	7630
Factor de corrección	0.81	0.83	0.85	0.87	0.89	0.92	0.95	0.97	0.99	1.04	1.07	1.09	1.13	1.15	1.18	1.22	1.25	1.27

Fuente: (Mecapedia , 2008)

Anexo D: Coeficiente de fricción para cálculo de tensiones en las poleas

MATERIAL	JUNTA	TAMAÑO	TENSIÓN PERMISIBLE* (lb)	CARGA ÚLTIMA* (lb)	RESISTENCIA ÚLTIMA (kpsi)	PESO (lb/plg ²)
Cuero curtido con corteza de roble	Maciza	1/32 capa		700	3 a 4	0.0035 - 0.045
Cuero curtido con corteza de roble	Remachada	1/32 capa		300 a 600	1 a 2	0.0035 - 0.045
Cuero curtido con corteza de roble	Enlazada	1/32 capa		300 a 600	1 a 2	0.0035 - 0.045
Caucho y lona de algodón	Vulcanizada	28 oz	15 a 25	280		0.041
Caucho y lona de algodón	Vulcanizada	32oz	15 a 25	300		0.047
Algodón(totalmente)	Tejida	35 oz	15 a 25	320		0.051
Algodón(totalmente)	Cosida				5	0.045
Nylon	Núcleo solamente				7	0.044
Lona de balaza	Vulcanizada		22 a 25		3	0.040

*En libras fuerza por pulgada de ancho y por capa

Coeficiente de fricción para el caso de cuero,caucho(o hule) y lona de algodón,sobre acero son de 0,40; 0,35 y 0,30 respectivamente.

Otros coeficientes pueden varias desde 0,30 hasta 0,70 en casos excepcionales.

Fuente: (Hamrcok, y otros, 2000)

Anexo E: Longitudes estándar para correas en V clásicas, sección B

Sección RMA-MPTA-RCA						B		
Longitud Paso		Designación	Longitud Paso		Designación	Longitud Paso		Designación
mm	pulg	RMA-MPTA-RCA	mm	pulg	RMA-MPTA-RCA	mm	pulg	RMA-MPTA-RCA
757	29,8	B-28	1697	66,8	B-65	2637	104	B-102
782	30,8	B-29	1722	67,8	B-66	2662	105	B-103
808	31,8	B-30	1748	68,8	B-67	2713	107	B-105
833	32,8	B-31	1773	69,8	B-68	2738	108	B-106
859	33,8	B-32	1798	70,8	B-69	2789	110	B-108
884	34,8	B-33	1824	71,8	B-70	2840	112	B-110
909	35,8	B-34	1849	72,8	B-71	2891	114	B-112
935	36,8	B-35	1875	73,8	B-72	2941	116	B-114
960	37,8	B-36	1900	74,8	B-73	2992	118	B-116
986	38,8	B-37	1925	75,8	B-74	3043	120	B-118
1011	39,8	B-38	1951	76,8	B-75	3094	122	B-120
1036	40,8	B-39	1976	77,8	B-76	3195	126	B-124
1062	41,8	B-40	2002	78,8	B-77	3246	128	B-126
1087	42,8	B-41	2027	79,8	B-78	3297	130	B-128
1113	43,8	B-42	2052	80,8	B-79	3424	135	B-133
1138	44,8	B-43	2078	81,8	B-80	3500	138	B-136
1163	45,8	B-44	2103	82,8	B-81	3602	142	B-140
1189	46,8	B-45	2129	83,8	B-82	3653	144	B-142
1214	47,8	B-46	2154	84,8	B-83	3703	146	B-144
1240	48,8	B-47	2179	85,8	B-84	3805	150	B-148
1265	49,8	B-48	2205	86,8	B-85	3856	152	B-150
1290	50,8	B-49	2230	87,8	B-86	3957	156	B-154
1316	51,8	B-50	2258	88,8	B-87	4059	160	B-158
1341	52,8	B-51	2281	89,8	B-88	4161	164	B-162
1367	53,8	B-52	2306	90,8	B-89	4440	175	B-173
1392	54,8	B-53	2332	91,8	B-90	4618	182	B-180
1417	55,8	B-54	2357	92,8	B-91	4821	190	B-188
1443	56,8	B-55	2383	93,8	B-92	4872	192	B-190
1468	57,8	B-56	2408	94,8	B-93	4999	197	B-195
1494	58,8	B-57	2433	95,8	B-94	5253	207	B-205
1519	59,8	B-58	2459	96,8	B-95	5380	212	B-210
1544	60,8	B-59	2484	97,8	B-96	5723	225	B-225
1570	61,8	B-60	2510	98,8	B-97	6104	240	B-210
1595	62,8	B-61	2535	99,8	B-98	6485	255	B-225
1621	63,8	B-62	2560	101	B-99	6866	270	B-240
1646	64,8	B-63	2586	102	B-100	7247	285	B-255
1671	65,8	B-64	2611	103	B-101	7628	300	B-300
						8009	315	B-315

Fuente: (Lozano Ramírez, 2000):

Anexo F: Motorreductor

MOTOR	0,75HP
TYPE	SEMKq 86-282F
RPM	2820
COS	0,92
S1	220v 60hZ
IP	55
CA	35uF/450V
CB	25uF/450V
A	5,2
TEC	34-1



Fuente: Tramec

Anexo G: Planos