



+

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA
RECOLECCIÓN, SEPARACIÓN Y
ALMACENAMIENTO DE PARTÍCULAS DE
POLIETILENO FLOTANTES EN EL AGUA EN EL
ÁREA DE MOLIENDA DE LA EMPRESA REGOVEN**

Autores

Roberto A. Rojas M.

Tutor: Ing. Giovanni Pizzella Pierro

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego

Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 87123



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA RECOLECCIÓN, SEPARACIÓN Y
ALMACENAMIENTO DE PARTÍCULAS DE POLIETILENO FLOTANTES
EN EL AGUA EN EL ÁREA DE MOLIENDA DE LA EMPRESA REGOVEN**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de

INGENIERO MECÁNICO

Autores

Roberto Rojas

C.I: 23.429.308

Tutor: Ing. Giovanni Pizzella

San Diego, julio 2020



FI-M -0012-2020-1CR (TG)

Valencia, 08 de junio de 2020

Ciudadano:
Rojas M., Roberto A.
23.429.308
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° **02-2020** de fecha **11-02-2020** aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado ***DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA RECOLECCIÓN, SEPARACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE PARTICULAS DE POLIETILENO FLOTANTES EN EL AGUA EN EL ÁREA DE MOLIENDA DE LA EMPRESA REGOVEN*** presentado por usted (es) como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación del Ing. Giovanni Pizzella C.I: 4.455.859 como Tutor Académico que lo asesorara en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,



Prof. Luís Lira

Decano de la Facultad de Ingeniería



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ING. MECÁNICA

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Giovanni Pizzella P. portador de la cédula de identidad N° V-4.455.859, en mi carácter de tutor del Informe de Trabajo Especial de Grado presentado por el ciudadano Roberto Anibal Rojas Marin, portador de la cédula de identidad N° V-23.429.308, titulado **DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA RECOLECCIÓN, SEPARACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE PARTÍCULAS DE POLIETILENO FLOTANTES EN EL AGUA EN EL ÁREA DE MOLIENDA DE LA EMPRESA REGOVEN**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico, acepto la tutoría del mencionado proyecto durante su etapa de desarrollo hasta su elaboración y evaluación, según las condiciones de la Coordinadora de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad José Antonio Páez y sus correspondientes reglamentos.

En San Diego, a los dos días del mes de junio del año dos mil veinte.

Ing. Giovanni Pizzella Pierro
C.I.: V- 4.455.859
Tutor Académico



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ING. MECANICA

San Diego, junio 2020

ACTA DE REVISIÓN DEL PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado: **DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA RECOLECCIÓN, SEPARACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE PARTÍCULAS DE POLIETILENO FLOTANTES EN EL AGUA EN EL ÁREA DE MOLIENDA DE LA EMPRESA REGOVEN.** Ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Prof. Ing. Giovanni Pizzella

06/06/2020

Tutor Académico

Firma

Fecha

Prof. Ing. Alicia de Pizzella

06/06/2020

Tutor Metodológico

Firma

Fecha

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fortaleza, la salud, sabiduría y por siempre acompañarme en mis faenas día tras día, pero sobre todo en darme una familia tan maravillosa.

Agradezco a mis padres **Aroldo Rojas y Reina Marin** por darme la vida y estar siempre apoyándome en el trascurso de mi desarrollo, brindándome toda ayuda que llegase a necesitar y por su aliento para completar esta fase de crecimiento personal tan importante.

Agradezco a mis hermanos **Eduardo Rojas y Marianny Rojas**, quienes con migo batallaron para lograr esta meta.

Agradezco a mis primos **Luisana Ochoa, Mariana Ochoa, Rodrigo Rojas**, por siempre estar ahí y brindarme consejos cuando más los necesitaba.

A mi tutor académico el **Ing. Giovanni Pizzella P** quien, por sus amplios conocimientos, capacidades docentes y profesionales considero fue el mejor apoyo con el que pude contar durante este trabajo.

A mi tutora metodológica **Ing. Alicia de Pizzella** por su guía y apoyo en el desarrollo de este trabajo de grado.

A mis amigos, **Fernando Herrera, Víctor Mier y Terán, José Ledezma, Héctor Barrios, Francisco Montilla, Wilmer Soto, Alirio Sanchez, Victor Mujica**, por estar presente a lo largo de esta experiencia y por todos esos grandes momentos.

A los Profesores, de la Universidad José Antonio Páez por todos los conocimientos impartidos durante estos años, que me permitieron alcanzar la meta de ser Ingeniero Mecánico.

Agradezco cordialmente, a cada una de las personas que de una u otra manera aportaron un granito de arena para que yo pudiera alcanzar esta meta, por sus buenos sentimientos, y muestras de apoyo, a los que siempre estuvieron para ayudarme de manera incondicional.

¡MUCHAS GRACIAS A TODOS!

-Roberto Anibal Rojas Marin

DEDICATORIA

A Dios, por ser quien siempre me ha guiado y brindado fortaleza para perseverar y llegar hasta el final.

A mis Padres, Aroldo Rojas y Reina Marín, por ser los pilares fundamentales de mi vida, siempre darme su amor y brindarme su apoyo incondicional; por sus sabios consejos y valores impartidos, por siempre estar allí para mí cuando más los necesito, por tener en mis capacidades y ser ejemplos de trabajo, perseverancia y lucha constante.

A mis Hermanos, Eduardo Rojas y Marianny Rojas, quienes me dieron su apoyo incondicionalmente y siempre creyeron en mí.

Pero esta tesis es dedica en especial a mi abuela **Dolores de Marín** y mi tía **Cecilia Marín**, quienes siempre estuvieron orgullosas de mí y quisieron verme cumplir mis metas.

A todos Ustedes le dedico este logro y los por venir.

¡Mucha Gracias!

-Roberto Aníbal Rojas Marín

ÍNDICE GENERAL.

CONTENIDO	PP
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE CUADROS	xii
RESUMEN INFORMATIVO	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Formulación del problema.....	6
1.3 Objetivos de la investigación.....	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.4 Justificación del Problema.....	7
1.5 Limitaciones.....	7
1.6 Alcance.....	8
II MARCO TEÓRICO	9
2.1 Antecedentes.....	9
2.2 Bases teóricas.....	10
2.2.1 Polietileno.....	10
2.2.2 Clasificación de los polímeros.....	12
2.2.3 Codificación de los plásticos.....	14
2.2.4 Clasificación de los 7 códigos de identificación de los plásticos.....	15
2.2.5 Reciclaje.....	16
2.2.6 Reciclado de los plásticos (polímeros).....	17
2.2.7 Ventajas de la reducción de la fuente.....	17
2.2.8 Reciclado Químico.....	18
2.2.9 Reciclado Mecánico.....	19
2.2.10 Área de lavado en la empresa REGOVEN.....	21
2.2.11 Consideración de diseño.....	22
2.2.12 Normas y códigos.....	22
2.2.13 Factor de seguridad.....	25
2.2.14 Esfuerzos.....	25
2.2.14.1 Esfuerzos uniformemente distribuidos.....	25
2.2.14.2 Esfuerzo normales por flexión.....	27
2.2.14.3 Esfuerzo a compresión en piezas largas (Pandeo por compresión).....	28

2.2.14.4 Puntales o elementos cortos sometido a compresión.....	30
2.2.14.5 Esfuerzo por Torsión en elementos de sección circular.....	32
2.2.14.6 Esfuerzo combinados.....	34
2.2.14.7 Selección de los rodamientos.....	36
2.2.15 Elementos de control.....	38
2.2.15.1 Actuadores.....	39
2.2.15.2 Actuador de simple efecto.....	40
2.2.15.3 Actuador de doble efecto.....	40
2.2.15.4 Mando directo e indirecto de los Actuadores.....	41
2.2.15.5 Actuadores giratorios.....	43
2.2.15.6 Sensor (Rockell, Allen Bradkey, 2007).....	44
2.2.15.7 Tipos de sensores.....	45
2.2.15.8 Control lógico programable (PLC).....	48
2.2.15.9 Lenguaje de programación en escalera.....	49
2.3 Definición de términos básicos.....	50
III MARCO METODOLÓGICO	53
3.1. Tipo de Investigación.....	53
3.2. Nivel de la investigación.....	54
3.3. Diseño del investigación.....	54
3.4. Población y muestra.....	55
3.4.1. Población.....	55
3.4.2. Muestra.....	55
3.5 Técnica e instrumentos de recolección de datos.....	55
3.6 Fases de la Investigación.....	57
IV RESULTADOS	60
4.1 Estudiar las condiciones actuales de funcionamiento del proceso de recolección, separación y almacenamiento de las partículas de polietileno.....	60
4.1.1 Volumen de partículas extraída del depósito.....	61
4.2 Establecer las variables que pueden ser controladas y/o modificadas para realizar un adecuado sistema de separación, recolección y almacenamiento de las partículas.....	62
4.3 Diseñar el sistema mecánico de separación, recolección y almacenamiento de las partículas de polietileno flotantes en el agua.....	63
4.3.1 Selección de la mejor solución.....	67
4.3.1.1 Restricciones.....	68
4.3.1.2 Criterios.....	68
4.3.1.3 Aplicación de restricciones a posibles soluciones.....	69

4.3.1.4 Ponderación de criterios.....	69
4.3.1.5 Ponderación de soluciones respecto al criterio C1.....	69
4.3.1.6 Ponderación Final.....	72
4.3.2 Diseño de la mejor solución.....	73
4.3.2.1 Descripción de la solución seleccionada.....	73
4.3.2.2 Selección del material del brazo de recolección del dispositivo.....	74
4.3.2.3. Selección de la sección transversal de la palanca.....	75
4.3.2.4. Dimensiones de la cesta de recolección del sistema seleccionado.....	75
4.3.2.5 Fabricación de la cesta de recolección.....	78
4.3.2.6 Cálculo de la fuerza que actúa sobre la cesta en contacto con el agua.....	80
4.3.2.7 Cálculo de las fuerzas de cada elemento del brazo de recolección.....	84
4.3.2.8 Cálculo de la fuerza y el momento torsor al que estará sometido el brazo de recolección de partículas de polietileno.....	85
4.3.2.9 Cálculo de los cordones de soldadura.....	95
4.3.2.10 Cálculo de los esfuerzos en el brazo de recolección.....	99
4.3.2.11 Cálculo de las deformaciones producidas en el brazo de recolección de partículas.....	107
4.3.2.12 Elementos de Funcionamiento del Dispositivo	109
4.3.2.13 Diseño del eje de soporte de cargas en el actuador uno.....	114
4.3.2.14 Selección de los rodamientos.....	118
4.3.2.15 Diseño del eje del motor paso a paso.....	119
4.3.2.16 Selección de los rodamientos.....	123
4.3.2.17 Diseño de la base del actuador 1.....	124
4.3.2.18 Base vertical para soportar la chumacera del motor paso a paso.....	128
4.3.2.19 Base del actuador giratorio 2.....	131
4.3.2.20 Ruedas y rieles para elevación del Dispositivo.....	135
4.3.2.21 Ruedas para el desplazamiento del Dispositivo.....	136
4.3.2.22 Riel para el desplazamiento del dispositivo...	136
4.3.2.23 Base de la Plataforma móvil.....	138
4.4 Diseñar un sistema de control para el proceso de separación, recolección y almacenamiento de las partículas de polietileno.....	139

4.4.1 Listado de señales de entradas y salidas del sistema.....	139
4.4.2 Descripción del sistema automatizado.....	139
4.4.3 Esquema de distribución neumática del sistema diseñado.....	145
4.4.4 Selección del sistema de control.....	146
4.4.5 Esquema de conexiones.....	147
4.4.6 Programación del PLC.....	148
4.4.6.1 Diagrama de flujo.....	149
4.5 Realizar un estudio de factibilidad económica y técnica.....	154
CONCLUSION	162
RECOMENDACIONES	163
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	164
ANEXO A	167
ANEXO B	175
ANEXO C	188
ANEXO D	197
ANEXO E	199

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PP
1	Proceso de recolección de partículas.....	4
2	Proceso de almacenamiento de partículas.....	4
3	Cesta de almacenamiento de partículas.....	5
4	Monómero de etileno.....	11
5	Codificación de los Plásticos.....	14
6	Línea de Reciclado Mecánico.....	20
7	Factores que deben tomarse en cuenta durante el diseño.....	22
8	Factor de Seguridad.....	26
9	Representación gráfica de los criterios de Euler y de Johnson para elementos de máquina largos sometidos a cargas de compresión.....	30
10	Diagrama de cuerpo libre de un puntal de carga.....	31
11	Barra de sección circular sometida a la acción de un Momento torsor.....	33
12	Factores radiales y de empuje para rodamientos de hilera única, ranura profunda.....	38
13	Vida útil de Diseño recomendada para Rodamientos. Fuente: Manual del Marks. (1.998).....	38
14	Actuador de simple efecto.....	40
15	Actuador de doble efecto.....	41
16	Mando directo de un cilindro de simple efecto.....	42
17	Mando directo de un cilindro de doble efecto.....	42
18	Mandos indirectos.....	43
19	Actuador giratorio simple y doble.....	43
20	Funcionamiento de un cilindro giratorio.....	44
21	Diagrama de escalera.....	49

22	Representación gráfica del diagrama de escaleras.....	50
23	Posible solución número uno (PS1).....	64
24	Posible solución número dos (PS2).....	64
25	Posible solución número tres (PS3).....	65
26	Posible solución número cuatro (PS4).....	66
27	Posible solución número cinco (PS5).....	67
28	Posible solución número seis (PS6).....	68
29	Sistema seleccionado como la mejor solución.....	74
30	(a) Pala de recolección utilizada actualmente por la empresa REGOVEN para la recolección de partículas de polietileno y (b) Depósito de partículas de polietileno. Dimensiones en mm.....	76
31	(a) Vista frontal de la cesta de recolección. (b) Vista lateral de la cesta de recolección.....	77
32	Esquema de la longitud de desarrollo de la cesta.....	79
33	Diagrama de la posición de las fuerzas ejercidas por el agua sobre la sección de la cesta sumergida en el agua.....	81
34	Diagrama de la posición de las fuerzas ejercidas por el agua sobre la sección de la cesta sumergida en el agua.....	82
35	Brazo del dispositivo sin cesta.....	85
36	Diagrama del sistema de recolección de las partículas de polietileno, con sus respectivas fuerzas.....	86
37	Diagrama de la fuerza horizontal aplicada por el agua sobre la cesta.....	87
38	Brazo de recolección de partículas dividido en cuatro elementos para efecto de los cálculos de las inercias. Dimensiones en mm.....	88
39	Elemento uno del brazo de recolección. (Dimensiones en mm).....	89
40	Elemento uno del brazo de recolección. (Dimensiones en mm).....	90
41	Elemento tres del brazo de recolección. (Dimensiones en mm).....	91
42	Elemento cinco del brazo de recolección. (Dimensiones en	

	mm).....	92
43	Localización de la soldadura entre la cesta y el brazo.....	96
44	Representación de los esfuerzos en la garganta de soldadura....	98
45	Elemento uno del brazo de recolección de partículas con las fuerzas y momentos que actúan sobre el mismo.....	100
46	Diagrama de corte y momento del elemento 1 (cesta de recolección).....	101
47	Elemento dos del brazo de recolección de partículas con las fuerzas y momentos que actúan sobre el mismo.....	102
48	Diagrama de corte y momento del elemento dos.....	103
49	Elemento tres del brazo de recolección de partículas con las fuerzas y momentos que actúan sobre el mismo.....	104
50	Elemento cuatro del brazo de recolección de partículas con las fuerzas y momentos que actúan sobre el mismo.....	105
51	Diagrama de corte y momento del elemento 4.....	106
52	Actuador Giratorio con pie de fijación.....	109
53	Actuador Giratorio 2.....	111
54	Actuador Lineal.....	112
55	Brida de Fijación del Actuador Lineal.....	113
56	Motor pasó a paso.....	114
57	Cable de Conexión a un PLC.....	114
58	Diagrama de cuerpo libre del eje de carga del actuador 1.....	115
59	Diagrama de corte y momento del eje de carga del actuador 1.....	116
60	Diagrama de cuerpo libre del eje del motor paso a paso.....	119
61	Diagrama de Corte y Momento del eje del motor paso a paso...	120
62	Diagrama de Cuerpo Libre de la Base.....	125
63	Diagrama de corte y momento de la Base.....	126
64	Diagrama de cuerpo libre de la base vertical.....	128
65	Diagrama de Corte y Momento de la base vertical.....	129
66	Diagrama de cuerpo libre de la lámina base.....	131
67	Diagrama de Corte y Momento de la base.....	132
68	Esquema de las ruedas en su riel.....	135
69	Rueda de la Base del dispositivo.....	136
70	Riel para el desplazamiento del dispositivo.....	137
71	Plataforma móvil.....	138
72	Posiciones de las plataformas móviles.....	142
73	Esquema del sistema neumático.....	143
74	Distribución de sensores alrededor del depósito	144

75	Esquema de la posición de los actuadores lineales en el piso de la planta.....	144
76	Esquema de distribución del sistema neumático.....	146
77	Representación de las entradas del PLC.....	147
78	Representación de las salidas del PLC.....	148
79	Retorno de las plataformas móviles.....	149
80	Diagrama de flujo de la secuencia uno.....	150
81	Diagrama de flujo de la secuencia dos.....	151
82	Diagrama de flujo del sistema.....	152
83	Diagrama de flujo del sistema (Continuación 1).....	153
84	Diagrama de flujo del sistema (Continuación 2).....	154
85	Tasa de cambio del Banco Central de Venezuela para el 06/06/2020.....	158

LISTA DE TABLAS

TABLA		PP
1	Masa total de las partículas extraídas del depósito Diariamente.....	62
2	Ponderación de criterios.....	70
3	Ponderación de soluciones con respecto al criterio C1.....	70
4	Ponderación de soluciones con respecto al criterio C2.....	71
5	Ponderación de soluciones con respecto al criterio C3.....	71
6	Ponderación de soluciones con respecto al criterio C4.....	71
7	Ponderación de soluciones con respecto al criterio C5.....	72
8	Ponderación final para establecer la mejor solución.....	72
9	Ponderación final para establecer la mejor solución (Cont. Tabla 8).....	73
10	Listas de las entradas del sistema de control.....	140
11	Listas de las salidas del sistema de control.....	141
12	Lista de materiales para la realización del diseño.....	155

LISTA DE CUADRO

CUADRO		PP
1	Aplicación de las restricciones a las posibles soluciones planteadas.....	69



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ING. MECÁNICA

DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA RECOLECCIÓN, SEPARACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE PARTÍCULAS DE POLIETILENO FLOTANTES EN EL AGUA EN EL ÁREA DE MOLIENDA DE LA EMPRESA REGOVEN.

Autor: Rojas Roberto.

Tutor: Ing. Giovanni Pizzella.

Fecha: Abril, 2020

RESUMEN INFORMATIVO.

El trabajo de grado presentado a continuación, el cual fue denominado “Diseño de un sistema para la recolección, separación y almacenamiento de partículas de polietileno flotantes en el agua en el área de molienda de la empresa REGOVEN”, tiene como propósito el diseño de un sistema automatizado para la recolección, separación y almacenamiento de partículas de polietileno flotantes en el agua en el área de molienda de la empresa REGOVEN, el cual podrá disminuir el tiempo de recolección, el esfuerzo del personal y las pérdidas del material. En el diseño se tendrá en cuenta esfuerzos, fatiga, material u otros criterios de diseño de elementos de máquina, con el fin de proporcionar un buen prototipo e duradero. Este proyecto metodológicamente se denomina como un proyecto factible enmarcado en una investigación documental-descriptiva.

Descriptores: Diseño, Investigación, Polietileno, Esfuerzo, Elemento de máquina.

INTRODUCCIÓN

El área de molienda de gaveras y otros desechos de plástico en la planta REGOVEN, ubicada en la carretera vieja Valencia -Tocuyito, Municipio Libertador, comprende un proceso de lavado y posterior secado de trozos, los cuales pasan por una centrífuga, que hace que los pedazos más grandes suban y continúen con el proceso. Las partículas más pequeñas o polvillo se almacenan en el depósito que está debajo de la centrífuga, haciendo así que se acumulen y tengan que ser removidas por un personal de la empresa, creando problemas de recolección; ya que muchas de esas partículas llegan al suelo, siendo desperdicio y pérdidas para la empresa; ya que lo recolectado es vendido a otras empresas como materia prima, además de crear enfermedades ocupacionales en esos empleados; ya que realizan movimientos bruscos y continuos al momento de la recolección de las mismas. Por la situación planteada anteriormente se plantea diseñar un dispositivo que elimine todos estos problemas, disminuya el tiempo de recolección de las partículas, e incremente la eficiencia en el proceso de molienda, ya que van a existir menos paradas no programadas para limpiar el depósito y llenar la cesta de almacenamiento rápidamente, aumentando así los ingresos de la empresa.

El estudio de ésta primera parte del trabajo de grado fue distribuido en 4 capítulos a saber:

Capítulo I: Planteamiento del Problema. Se explica profundamente el problema que sufre la planta por la acumulación de esas partículas y las consecuencias de no mejorar lo más pronto posible esa situación. Sucesivamente están los objetivos que se deben realizar para cumplir con la meta de este proyecto, además del alcance del trabajo de grado. El Capítulo II contiene los conceptos básicos de los elementos que se van a utilizar en el desarrollo del dispositivo como solución del problema. También se citan y describen algunos trabajos anteriores con problemas parecidos, creando una guía para aclarar el presente y coadyuvando con la ideas de posibles soluciones. El Capítulo III, contempla el Marco Metodológico. En ésta área se

presentan los pasos a seguir para el diseño del dispositivo, explicando con detalles cada uno, para la obtención de excelentes resultados. El Capítulo IV: Los recursos utilizados y el cronograma del proyecto.

CAPÍTULO I EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema.

Las plantas fabricantes de productos plásticos moldeados por inyección, para botellas cervceras, agua y refrescos utilizan materia prima genuina, así como también la proveniente de un proceso de molienda de gaveras deterioradas o con defectos en su fabricación, y otros productos de desecho de plástico (polietileno) para la elaboración de productos que no requieren parámetros de alta calidad.

Estas gaveras son procesadas en tres (3) etapas; la primera consiste en cortarlas en trozos de tamaño moderado con la finalidad de no afectar las cuchillas delicadas de la maquinaria de la última fase, para luego pasar a la segunda etapa, en la cual estos trozos son limpiados en una máquina que ejerce la función de un lavadora industrial, y por medio de una espiral de alabes presente en el interior de la lavadora, son transportados a la última etapa en donde se procede a moler en su totalidad el material.

La situación problemática se presenta actualmente durante el proceso de limpieza de los fragmentos (segunda etapa), provenientes del corte de las gaveras, el cual se realiza en una lavadora industrial, que cuenta con un depósito con agua situado en la parte inferior de la misma, que sirve para almacenar partículas resultantes del lavado, y por medio de un sistema de bombeo el agua circula nuevamente hacia la lavadora para ser reutilizada en la limpieza de estos trozos, siguiendo un ciclo continuo hasta terminar la jornada de trabajo. El material suspendido en el depósito, es removido de forma manual con un utensilio rudimentario (pala con pequeños agujeros en su interior, ver figura 1) por un determinado personal de la empresa, el cual permanece en su jornada de trabajo realizando grandes esfuerzos físicos para transportar continuamente los residuos hacia cestos (ver figuras 2 y 3), que sirven de

almacenamiento del material, donde se espera su secado al aire libre durante el tiempo que se requiera, ya que este material puede utilizarse como materia prima recuperada, puesto que la materia prima virgen es muy costosa, o puede ser almacenada para luego ser vendida y generarle de esta manera ingresos adicionales a la empresa.



Figura 1: Proceso de recolección de partículas
Fuente: Rojas (2020)



Figura 2: Proceso de almacenamiento de partículas
Fuente: Rojas (2020)



Figura 3: Cesta de almacenamiento de partículas

Fuente: Rojas (2020)

Durante el traslado de las partículas suspendidas en el agua hacia el cesto, algunas caen al piso mezclándose con las partículas de polvo que se encuentran en el mismo, esto hace que sean inservibles para la venta o para ser utilizada como en materia prima reciclada, desperdiciándose así gran cantidad de material, lo cual genera a largo plazo, grandes pérdidas para la empresa. Estos residuos que permanecen en el suelo, tienen que ser limpiados con sumo cuidado, para que no contaminen el agua que fluye por un canal de agua de lluvia situado en las adyacencias del lugar, evitando así un impacto ambiental, logrando con esto, no ser sancionados por la Ley Orgánica del Ambiente.

Además, esta labor acarrea gastos adicionales a la empresa ya que tiene que contratar personal extra para ejecutar dicha tarea. Es importante mencionar que debido a los repetidos esfuerzos realizados por los empleados, éstos se exponen a un evidente peligro, que atenta directamente contra su salud a largo plazo, lo que crea preocupaciones para la empresa, puesto que afecta el bienestar de sus trabajadores y por tanto, altera el perfecto funcionamiento de la misma, además, en el ámbito legal, esto representa un gran problema para la compañía, porque estos daños pasarían con el tiempo a convertirse en enfermedades ocupacionales que deben ser por tanto

indemnizadas, porque así lo establece la ley (LOCYMAT), por lo que es de vital importancia la prevención de ocurrencia de dichas enfermedades, logrando apartar a los empleados de este arduo trabajo, para reubicarlos en la realización de otras labores donde se pueda aprovechar al máximo sus habilidades en la empresa.

Por lo planteado anteriormente se considera necesario el diseño de un sistema para la recolección, separación y almacenamiento de las partículas provenientes del lavado de los fragmentos de las gaveras, que logre realizar éste proceso en el menor tiempo posible y con la mínima intervención de los trabajadores del área, para evitar lesiones graves, pérdida de material, y evitar la contaminación a largo plazo.

1.2 Formulación del problema.

¿Cómo se pueden separar y almacenar las partículas de polietileno flotantes en el agua en el área de molienda de la empresa REGOVEN?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo General.

Diseñar un sistema para la recolección, separación y almacenamiento de partículas de polietileno flotantes en el agua en el área de molienda de la empresa REGOVEN.

1.3.2 Objetivos Específicos.

1. Estudiar las condiciones actuales de funcionamiento del proceso de recolección, separación y almacenamiento de las partículas de polietileno.
2. Establecer las variables que pueden ser controladas y/o modificadas para realizar un adecuado sistema de separación, recolección y almacenamiento de las partículas.
3. Diseñar el sistema mecánico de separación, recolección y almacenamiento de las partículas de polietileno flotantes en el agua.
4. Diseñar un sistema de control para el proceso de separación, recolección y almacenamiento de las partículas de polietileno.
5. Realizar un estudio de factibilidad económica y técnica.

1.4 Justificación del Problema.

La realización de este trabajo de grado es de suma importancia ya que los obreros que se disponen para el proceso de recolección, separación y almacenamiento de las partículas, se ven expuestos a condiciones donde su salud puede verse seriamente afectada, ya que el proceso requiere de movimientos bruscos y repetitivos que le pueden generar dolores musculares, contracturas, entre otras, y por lo tanto se hace prioritario solventar esta situación. Por otra parte la Planta REGOVEN, invierte tiempo adicional en el sistema manual de recolección y almacenamiento actual, generando así menores ingresos a los que debería percibir si tuviera un sistema de recolección más eficiente, ya que si existiese el mismo, se obtuviera el mismo volumen en menor tiempo, aumentando así la cantidad recolectada de partículas en una jornada de trabajo.

Actualmente la empresa realiza una parada de planta programada una vez por mes, para realizar el trabajo de limpieza de todo el proceso de molido de gaveras, ya que se acumula polvillo en el piso y en las máquinas, lo cual genera a la empresa gastos adicionales por la inversión en horas hombres y pérdida de tiempo para el proceso mencionado.

Al diseñar un sistema que realice estas actividades, al mismo tiempo de aumentar el volumen de material reciclado, se evitan los riesgos de lesiones a los empleados, ya que se han presentado casos de contracturas musculares (lumbalgia), hernias, entre otros, por la ejecución de movimientos repetitivos.

1.5 Limitaciones.

- El diseño está restringido a un espacio reducido debido a la distribución de la planta, el cual será un 1900x2620 mm.
- Las características dimensionales del depósito de partículas no pueden sufrir modificaciones.
- Tiene que disminuir el esfuerzo del empleado en el puesto de trabajo.
- La capacidad del dispositivo debe ser tal que maneje 27 kilos/día de material de polietileno.

1.6 Alcance.

El estudio de este proyecto estará orientado al diseño del sistema de recolección, separación y almacenamiento de partículas que disminuya el esfuerzo efectuado por los trabajadores de la empresa REGOVEN en la realización de este proceso, para lograr así, que los mismos puedan ser reubicados en otras actividades más productivas de la empresa. El mismo se referirá a las partículas acumuladas en el depósito, localizado debajo de la lavadora industrial, ya que este representa el mayor problema para la empresa. La construcción del sistema estará a cargo de la empresa. Finalmente el informe de la investigación será obligatorio como trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico en la Universidad José Antonio Páez.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

El marco teórico es el pilar fundamental de la investigación, tiene la finalidad de aportar la información necesaria para el desarrollo del proyecto, en este caso el diseño de un manipulador de herramientas de ajuste, dando a conocer los términos y definiciones involucradas para su diseño. Según Arias (2016): “El marco teórico o marco referencial, es el producto de la revisión documental–bibliográfica, y consiste en una recopilación de ideas, posturas de autores, conceptos y definiciones, que sirven de base a la investigación por realizar”.

Dicho marco teórico generalmente se estructura en tres secciones, los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y la definición de términos básicos. Tomando en cuenta esto, a continuación, se presentan una serie de investigaciones realizadas por otros autores que guardan relación con el tema, contribuyendo con sus logros y conocimientos como precedentes o fuente de apoyo para fundamentar la investigación.

2.1. Antecedentes.

De acuerdo a la metodología aplicada en la investigación y análisis de la Universidad José Antonio Páez, para el desarrollo del trabajo de grado, se encuentran antecedentes existente para tratar de hacer una síntesis conceptual sobre el problema formulado, obteniendo así la información sobre la investigación del trabajo, de esta manera se tomó como soporte para el desarrollo, los siguientes trabajos:

Delgado D. y León J. (2015), presentaron una investigación en la Universidad de Carabobo, cuyo título es **“Diseño de sistema mecánico de extracción de sólidos de los efluentes de una empresa de papeles higiénicos”**, en donde se muestran estudios de campo en la empresa PAPELES VENEZOLANOS, C.A., relacionados con el manejo del volumen de sólidos, basándose en dejar las rejillas del conducto desucción de los materiales dos días seguidos sin limpiar, con la finalidad de conocer el volumen exacto que se maneja por día, para así poder evaluar tres sistemas de

limpieza, dos de ellos son dispositivos mecánicos y uno automatizado, para seleccionar así la solución más factible para la empresa en cuanto a los criterios económicos, facilidad de reparación, estética y tecnología, facilidad de construcción, entre otros. El dispositivo seleccionado por su mejor rendimiento fue el automatizado, ya que éste realizaba el trabajo en un corto tiempo.

Así mismo, Graterol M. y Ochoa D. (2016), en su trabajo de grado titulado **“Diseño de un sistema mecánico para la recolección, transporte y selección de granalla a emplear en una empresa metalmecánica”**, propusieron una solución para la problemática en la empresa Danaven C.A. en la cual la granalla proveniente del proceso de granallado de los largueros, se escapa depositándose en los alrededores y principalmente en una fosa ubicada debajo de la máquina de granallado. La granalla debe ser retirada a mano por los obreros, teniendo que realizar paradas de planta, ocasionando grandes pérdidas económicas. De modo que el sistema diseñado constituye una solución a dicha problemática y aumentando la productividad en la empresa en un 20%.

Hachi J. y Rodríguez J. (2010), en su trabajo de grado titulado **“Estudios factible para reciclar envases plásticos de polietileno tereftalato (PET), en la ciudad de Guayaquil”** realizado en la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, presento un producto de factibilidad que se basa en la necesidad de determinar las posibles formas más convenientes para el reaprovechamiento de residuo de material PET, ya que el reciclaje de cierto tipo de plástico es todavía incipiente en Ecuador, con este estudio se buscó ofrecer alternativas tecnológicas para fortalecer este proceso.

2.2. Bases teóricas.

2.2.1 Polietileno

El polietileno es probablemente el polímero que más se ve en la vida diaria, es el plástico más popular del mundo. El polietileno (PE) es un material termoplástico blanquecino, de transparente a translúcido, y es frecuentemente fabricado en finas

láminas transparentes. Las secciones gruesas son translúcidas y tienen una apariencia de cera. Mediante el uso de colorantes pueden obtenerse una gran variedad de productos coloreados.

Éste es el polímero con el que se hacen las bolsas de almacén, los frascos de champú, los juguetes de los niños, e incluso chalecos a prueba de balas. Por ser un material tan versátil, tiene una estructura muy simple, la más simple de todos los polímeros comerciales. Una molécula del polietileno no es nada más que una cadena larga de átomos de carbono, con dos átomos de hidrógeno unidos a cada átomo de carbono. Se representa por monómeros de etileno como puede verse en la figura 4, sólo con la cadena de átomos de carbono, de miles de átomos de longitud. A veces algunos de los carbonos, en lugar de tener hidrógenos unidos a ellos, tienen asociadas largas cadenas de polietileno. Esto se llama polietileno ramificado, o de baja densidad. Cuando no hay ramificación, se llama polietileno lineal. El polietileno lineal es mucho más resistente que el polietileno ramificado, pero el polietileno ramificado es más barato y más fácil de hacer.

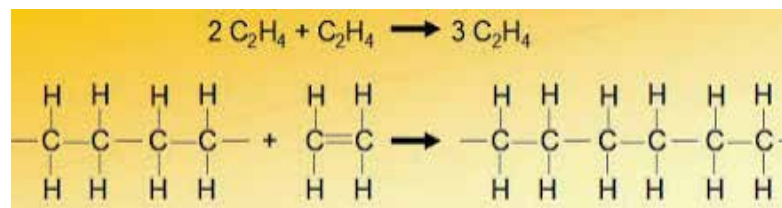


Figura 4: Monómero de etileno.

Fuente: Universidad Politécnica de Valencia

Por la polimerización de etileno pueden obtenerse productos con propiedades físicas muy variadas. Estos productos tienen en común la estructura química fundamental, y en general tienen propiedades químicas de un alcano de peso molecular elevado. Este tipo de polímero se creó para usarlo como aislamiento eléctrico, pero después ha encontrado muchas aplicaciones en otros campos, especialmente envases.

2.2.2 Clasificación de los polímeros.

Los polímeros pueden clasificarse de diferentes maneras, y a su vez, esas clasificaciones, pueden subdividirse en otras. Partiremos de lo más básico a lo más complejo:

- **De acuerdo a su origen:** Naturales y sintéticos

Los polímeros naturales: Son todos aquellos que provienen de los seres vivos, y por lo tanto, dentro de la naturaleza podemos encontrar una gran diversidad de ellos. Las proteínas, los polisacáridos, los ácidos nucleicos son todos polímeros naturales que cumplen funciones vitales en los organismos y por tanto se les llama biopolímeros. Otros ejemplos son la seda, el caucho, el algodón, la madera (celulosa), la quitina, etc.

Los polímeros sintéticos: Son los que se obtienen por síntesis ya sea en una industria o en un laboratorio, y están conformados a base de monómeros naturales, mientras que los polímeros semisintéticos son resultado de la modificación de un monómero natural. El vidrio, la porcelana, el nailon, el rayón, los adhesivos son ejemplos de polímeros sintéticos, mientras que la nitrocelulosa o el caucho vulcanizado, lo son de polímeros semisintéticos. Hoy en día, al fabricarse polímeros se le pueden agregar ciertas sustancias que modifican sus propiedades, ya sea flexibilidad, resistencia, dureza, elongación, etc.

Polímeros semisintéticos: Se obtienen por transformación de polímeros naturales. Ejemplo: caucho vulcanizado, etc.

- **Según sus propiedades Físicas:**

Termoestables: son polímeros que no se pueden fundir a través de un proceso de calentamiento simple, puesto que su masa es tan dura que necesita temperaturas muy elevadas para sufrir algún tipo de destrucción.

Elastómeros: son polímeros que aunque pueden ser deformados, una vez que desaparece el agente que causó la pérdida de su forma pueden retornar a ella. Tienen la propiedad de recuperar su forma al ser sometidos a una deformación de ella. Ej. Caucho vulcanizado.

Termoplásticos: este es un tipo de polímeros que tienen facilidad para ser fundidos, y por lo tanto pueden ser moldeados. Si tienen una estructura regular y organizada, pertenecen a la subdivisión de los cristalinos, pero si su estructura es desorganizada e irregular, se consideran amorfos.

Resinas: Son polímeros termoestables que sufren una transformación química cuando se funden, convirtiéndose en un sólido que al volverse a fundir, se descompone. Ej. PVC, Baquelita y Plexiglás.

Fibras: Tienen la forma de hilos. Se producen cuando el polímero fundido se hace pasar a través de unos orificios de tamaño pequeño de una matriz adecuada y se le aplica un estiramiento.

- **Según su proceso de obtención:**

Los polímeros se obtiene gracias a la polimerización, en esta los monómeros se agrupan entre si y forman el polímero.

Por condensación: Son polímeros obtenidos como consecuencia de la unión de monómeros propiciada por una eliminación molecular.

Por adición: son polímeros que resultan de la unión de monómeros por medio de enlaces múltiples.

- **Según sus monómeros:**

Homopolímeros: son polímeros que están constituidos por monómeros idénticos.

Copolímeros: son polímeros que están constituidos por diversos sectores repetidos, los cuales son iguales entre sí, pero las cadenas que forman esos sectores son diferentes las unas de las otras.

· **Según la orientación de sus monómeros:**

Polímeros lineales: son aquellos que, como su nombre lo dice, cuentan con una estructura lineal.

Polímeros ramificados: son aquellos que además de la cadena principal, presentan varias de carácter secundario.

2.2.3 Codificación de los plásticos.

Existe una gran variedad de plásticos y para clasificarlos, se usa un sistema de codificación que se muestra en la figura 5. Los productos llevan una marca que consiste en el símbolo internacional de reciclado, con el código correspondiente en medio según el material específico. El objetivo principal de este código es la identificación del tipo de polímero del que está hecho el plástico para su correcto reciclaje.

El número presente en el código, está designado arbitrariamente para la identificación del polímero del que está hecho el plástico y no tiene nada que ver con la dificultad de reciclaje ni dureza del plástico en cuestión.

TIPOS DE PLASTICOS	ACRONIMOS	CODIGO
Polietileno Tereftalato	PET	1
Polietileno de alta densidad	PEAD/HDPA	2
Policloruro de Vinilo	PVC	3
Polietileno de baja densidad	PEBD/LDPE	4
Polipropileno	PP	5
Poliestireno	PS	6
Otros	Otros	7

Figura 5: Codificación de los plásticos.

Fuente: Consejo Americano de Química

2.2.4 Clasificación de los 7 códigos de identificación de los plásticos.

- **PET):** Es el tipo de plástico más utilizado en los envases alimentarios gracias a propiedades como su ligereza, su bajo coste de producción, así como sus grandes posibilidades de reciclaje. Lo habitual es encontrarlo en botellas de agua y otras bebidas, así como en envases de aceite. Además, una vez reciclado, el PET puede utilizarse para piezas de automóvil, muebles, alfombras y ocasionalmente para nuevos envases de alimentos.
- **(HDPE):** Se trata de un plástico resistente a productos químicos, poco flexible, pero fácil de fabricar y de manejar. Sus usos más habituales son las bolsas de supermercado, productos de limpieza y de higiene personal, envases de leche, zumos o yogurt. Una vez reciclado puede utilizarse nuevamente para botellas de detergente, tubos, envases de aceite o incluso para muebles de jardín.
- **(PVC):** Se corresponde con materiales que destacan por su escaso reciclaje y por ser menos utilizados en la cadena alimentaria dada su facilidad para soltar diversas toxinas. Sin embargo, por su alta resistencia a los ácidos, así como por su dureza es utilizado sobre todo para tubos y cañerías, botellas de detergente, equipamientos médicos, suelas para zapatos y un largo etcétera.
- **(LDPE):** De la familia de los polietilenos, se trata de un plástico muy flexible y transparente cuya utilidad es frecuente en forma de bolsas de todo tipo, envases de laboratorio o de comida congelada. Además, tras su reciclaje se puede utilizar de nuevo en contenedores y papeleras, paneles, tuberías o baldosas.
- **(PP):** Se trata de un material perfecto para envases microondables ya que destaca por su dureza, barrera al vapor y resistencia al calor. También es habitual encontrarlo en botes de salsas, tapas y envases de uso médico y veterinario. Además, tras su proceso de reciclado, es habitual para cepillos, bandejas, cables de batería o señales luminosas.

- **(PS):** Este es otros de los materiales menos recomendados para uso alimentario dada su facilidad para emitir toxinas. Sin embargo, debido a su bajo coste y a su rigidez es habitual encontrarlo en forma de cubiertos, vasos y platos de plástico, envases cosméticos o cajas de CD. Además, se trata de un material difícil de reciclar.
- **(OTROS):** Dentro de los códigos de identificación de los plásticos, el número 7 es aquel en el que se incluyen una gran variedad de materiales plásticos que son muy difíciles de reciclar. Aunque es habitual encontrarlos en gafas de sol o DVD, también se utiliza en algunas clases de botellas de agua o ciertos envases alimentarios.

2.2.5 Reciclaje.

El reciclaje consiste en someter un material o producto ya utilizado a un nuevo ciclo de tratamiento total o parcial, para obtener una nueva materia prima o un nuevo producto. También se podría definir como la obtención de materia prima a partir de desechos, introduciéndolos en el ciclo de reutilización, esto se produce a través de la perspectiva del agotamiento de recursos naturales y para eliminar de forma eficaz los desechos.

Como en cualquier material en los plásticos también se aplica la conocida norma de las tres erres (RRR) para solucionar el problema de residuos: reducir, reutilizar y reciclar.

- **Reducir:** generar menos cantidad de residuos, este punto es labor de todos, tanto a nivel industrial como a nivel de consumidor. La idea consiste en reducir la cantidad de plástico que se emplea en el origen para dar lugar un producto ayudándose del avance tecnológico, a nivel de consumidor este debe considerar utilizar envases de grandes cantidades y una vez no vaya a usarlos más reciclarlos, en el contenedor correspondiente.
- **Reutilizar:** esta acción depende exclusivamente del consumidor, consiste en hallar un uso a todos los productos plásticos que estén bajo su disposición.

- **Reciclar:** este punto trata de dar una oportunidad a un material antes de dar como acabada su vida útil, esto se puede realizar mediante el análisis del ciclo de vida de un material en el que se considera un balance de materia-energía de los impactos medioambientales que ocasiona desde la gestión de los recursos hasta la gestión de sus residuos.

2.2.6 Reciclado de los plásticos (polímeros).

Principalmente se debería disminuir el volumen y peso de los residuos para resolver el problema global de los mismos. Toda gestión de los residuos plásticos debe comenzar por la reducción de la fuente.

La reducción de la fuente se refiere directamente al diseño y a la etapa de productividad, principalmente de envases antes de ser consumido. Es una manera de concebir los productos con un nuevo criterio ambiental; generar menos residuos. Y esto es aplicable a todas las materias primas: vidrio, papel, cartón, aluminio y plásticos.

En el caso de los residuos plásticos, la reducción en la fuente es responsabilidad de la industria petroquímica (fabricantes de los diferentes tipos de plásticos), de las industrias transformadoras (que toman esos plásticos para fabricar los diferentes productos finales), y de quien diseñan el envase (envasador).

También podría decirse que el consumidor le corresponde una buena parte de la responsabilidad, ya quien tiene la facultad de elegir entre un producto que ha sido concebido con criterio de reducción de la fuente y otro que derrochan materia prima y aumentan innecesariamente el volumen de los residuos.

2.2.7 Ventajas de la reducción de la fuente.

Las principales ventajas de la reducción de la fuente son:

- Disminuye la cantidad de residuos, es mejor no producir residuos que decidir quehacer con ellos.
- Ayuda a que los rellenos sanitarios no se saturen rápidamente.

- Se ahorran recursos naturales, energía, materia prima y recursos financieros.
- La reducción de los plásticos aminora la polución y el efecto invernadero.
- Requiere menos energía trasportar materiales más livianos. Menos energía significa menos combustible quemado, lo que significa a su vez menos agresión al ambiente.

Para el reciclaje de plástico se debe separar los distintos tipos de plásticos en fracciones individuales. Luego existen dos opciones para el reciclaje de plástico, mecánica o química.

2.2.8 Reciclado Químico.

El reciclado químico trata de diferentes procesos mediante los cuales las moléculas de los polímeros son craqueadas (rotas) dando origen nuevamente a materias primas básicas que pueden ser utilizadas para fabricar nuevos plásticos.

El reciclado químico comenzó a ser desarrollado por la industria petroquímica con el objeto de lograr las metas propuestas para la optimización de recursos y recuperación de residuos. Algunos métodos de reciclados químicos ofrecen las ventajas de no tener que separar tipos de resinas plásticas, es decir, que pueden tomar residuos plásticos mixtos reduciendo de esta manera los costos de recolección y clasificación.

Los principales procesos existentes son:

- **Pirolisis:** es el craqueo de las moléculas por calentamiento en el vacío. Este proceso genera hidrocarburo líquido o solido que pueden ser procesados luego en refinerías.
- **Hidrogenación:** en este caso los plásticos son tratados con hidrogeno y calor. Las cadenas poliméricas son rotas y convertido en un petróleo sintético que pueden ser utilizados en refinerías y plantas químicas.

- **Gasificación:** Los plásticos son calentados con aire o con oxígeno, así se obtienen los siguientes gases de síntesis: monóxido de carbono e hidrogeno, que pueden ser utilizado para la producción de metal o amoniaco o incluso como agente para la producción de acero en hornos de venteno.
- **Quimiolisis:** este proceso se aplica a poliésteres, poliuretano, poli acetales y poliamidas. Requieren altas cantidades separadas por tipos de resina. Consisten en la aplicación de procesos solvolíticos como hidrolisis, glicolisis o alcoholisis para reciclarlos y transformarlos en sus monómeros básicos para la repolimeracion en nuevos plásticos.

2.2.9 Reciclado Mecánico.

Consiste fundamentalmente en aplicar calor y presión a los objetos para darles nueva forma. De todos los tipos de plásticos, este proceso sólo puede aplicarse al grupo de los termoplásticos, que funden al ser calentados por encima de la temperatura de fusión. El proceso de este tipo de reciclado se muestra a continuación, ver figura 6:

- Cuando el material llega a la central de reciclado pasa a una zona de lavado y secado para evitar que se mezclen impurezas.
- Una vez limpio se le somete a una trituración mediante máquinas de molienda, de forma que los trozos de material salen muy pequeños, en forma de bolitas o incluso a veces en forma de polvo.
- Este material triturado alimenta una máquina de extrusión que proporciona calor y presión para que la masa de plástico se funda y pueda utilizarse para extrusión o moldear piezas nuevas.

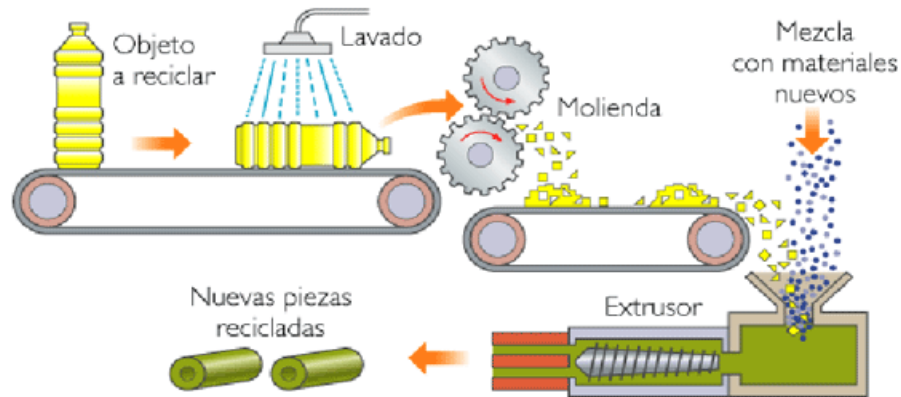


Figura 6: Línea de Reciclado Mecánico.

Fuente: Bertel J y Porto A (2015)

Este tipo de reciclado se considera para aquellos productos procedentes del consumo, es decir, para aquellos que hayan tenido ya una utilización, es necesario aclarar que en este reciclado no entran aquellos productos que son resultado de una producción fallida o restos de esta, que se reciclan o se venden a otras empresas.

Un plástico que ha sido utilizado pierde cierto grado de sus propiedades ya sea debido al inicio de su degradación que puede sufrir durante su uso o por la presencia de sustancias que se encuentren en el entorno. Esta atenuación de las propiedades hace que los plásticos reciclados deban emplearse en la fabricación de productos diferentes a los de su uso inicial. El interés del reciclado mecánico recae en sus consideraciones económicas. El precio de la granza debe ser superior a la del material postconsumo limpio y seco puesto en la fábrica transformadora para tener interés comercial. Esta granza se puede utilizar según los requisitos del producto final:

- Procesado del producto reciclado, con su correspondiente formulación. En este caso, las piezas que se obtendrá como producto final tienen en general propiedades menores a las fabricadas con un polímero virgen, lo necesario para la utilidad deseada, si se quiere mejorar alguna propiedad puede hacerse mediante la adición de aditivos, según la finalidad del cliente.

Mezcla de granza reciclada con polímero virgen para obtener prestaciones bajo demanda. Por ejemplo, adición del polímero virgen a la mezcla de termoplásticos.

- Coextrusión del producto reciclado. Un ejemplo de esta técnica sería la fabricación de recipientes para detergentes, donde la capa intermedia puede ser de polímero reciclado y la interior en contacto con el producto y la exterior de polímero virgen.

2.2.10 Área de lavado en la empresa REGOVEN.

Esta área es la encargada de lavar los distintos plásticos ya clasificados, con el fin de quitarle todo tipo de impurezas para evitar que se mesclen con el producto deseado, ya que esto podría llevar a la disminución de las propiedades mecánicas del plástico.

Este lavado se realiza mediante un chorro de agua y un juego de aspas que actúan como una lavadora industrial, que elimina las impurezas que pueda tener el material, con esto además se desprende pequeñas virutas de plástico que viajan por un desagüe hasta llegar a un depósito donde se deposita el agua que cae del proceso de lavado y con estas las pequeñas virutas de plásticos. El agua es reciclada a igual que las virutas de plásticos que son almacenadas en una cesta para su posterior venta.

Para recolectar las virutas en el tanque de depósito la planta hace un paro programado para que un personal remueva de forma manual con un utensilio rudimentario (pala con pequeños agujeros en su interior, como se observó en la figura 1), el cual permanece en su jornada de trabajo realizando grandes esfuerzos físicos para transportar continuamente los residuos hacia cestos, que sirven de almacenamiento del material, donde se espera su secado al aire libre durante el tiempo que se requiera, ya que este material puede utilizarse como materia prima recuperada, puesto que la materia prima virgen es muy costosa, o puede ser almacenada para luego ser vendida y generarle de esta manera ingresos adicionales a la empresa.

2.2.11 Consideración de diseño.

A veces la resistencia de un elemento en un sistema es un asunto muy importante para determinar la configuración geométrica y las dimensiones que tendrá dicho elemento. En tal caso, se dice que la resistencia es un factor importante de diseño. Cuando se utiliza la expresión consideración de diseño se está refiriendo a una característica que influye en el diseño de un elemento, quizá, en todo el sistema. Generalmente se tienen que tomar en cuenta varios de estos factores en un caso de diseño determinado.

Según Budynas R. y Nisbett J. (2.008) algunos de los más importantes son los que se observan en la figura 7.

Algunos de estos factores se refieren directamente a las dimensiones, al material, al procesamiento o proceso de fabricación, o bien a la unión o ensamble de los elementos del sistema. Otros se relacionan con la configuración total del sistema.

1. Resistencia.	13. Ruido.
2. Confiabilidad.	14. Fabricación.
3. Propiedades térmicas.	15. Forma.
4. Corrosión.	16. Tamaño.
5. Desgaste.	17. Flexibilidad.
6. Fricción (o rozamiento).	18. Control.
7. Mano de obra empleada	19. Rigidez.
8. Utilidad.	20. Acabado de superficies.
9. Costo.	21. Lubricación.
10. Seguridad.	22. Mantenimiento.
11. Peso.	23. Volumen.
12. Duración.	24. Responsabilidad legal

Figura 7: Factores que deben tomarse en cuenta durante el diseño

Fuente: Budynas R. y Nisbett J. (2.008)

2.2.12 Normas y códigos.

Es necesario que todo diseño mecánico cumpla con las normas establecidas dentro de la rama de diseño. Ello mejora la calidad del producto a realizar y brinda seguridad a los usuarios. Para el diseño se empleará la soldadura, por lo que se

requiere el cálculo del cordón de soldadura así como los materiales de unión. Este procedimiento está estandarizado por:

- **American Welding Society (AWS)**

La Sociedad Americana de Soldadura, fue fundada en 1919 como una organización multifacética con el objetivo de avanzar en la ciencia, tecnología y aplicación de la soldadura en las disciplinas relacionadas con la unión. Desde la fábrica hasta la construcción de rascacielos, hasta armamento militar y productos para el hogar, AWS apoya a la educación de la soldadura y el desarrollo tecnológico para garantizar una competitiva forma de vida para los estadounidenses.

La AWS ha establecido normas para estandarizar y regular los procedimientos de soldadura, esto es:

- Û Materiales empleados.
- Û Cálculo de cordones de soldadura (ángulo de contacto, espaciado entre puntos, esfuerzos, fatigas, entre otros).
- Û Procedimientos empleados.

Ahora bien, para el diseño mecánico, la resistencia de las piezas, las uniones y los elementos de máquina, se deben emplear los estándares basados en:

- **ANSI: American National Standards Institute**

Fundada en 1918, El Instituto Nacional de Normalización Estadounidense (ANSI por su sigla en inglés) es una organización privada sin fines lucrativos que administra y coordina la normalización voluntaria y las actividades relacionadas a la evaluación de conformidad en los Estados Unidos.

La misión del Instituto es mejorar tanto la competitividad mundial de las empresas estadounidenses, así como la calidad de vida estadounidense, promoviendo y facilitando normas voluntarias de consenso y sistemas de evaluación de conformidad, y protegiendo su integridad.

- **ASME: American Society of Mechanical Engineers**

Fundada en 1880 como la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, ASME es una organización profesional sin fines de lucro que permite la colaboración, intercambio de conocimientos y desarrollo de habilidades en todas las disciplinas de ingeniería, así como fomentar el papel esencial del ingeniero en la sociedad. Los códigos ASME y las normas, publicaciones, conferencias, educación continua y programas de desarrollo profesional constituyen una base para avanzar en los conocimientos técnicos y un mundo más seguro.

ASME ofrece múltiples códigos y estándares para las áreas de mecánica e ingenierías multidisciplinarias, desarrollando códigos, normas y programas de evaluación universales, por los productos y servicios relacionados para el beneficio de la humanidad.

- **ASTM: American Society for Testing and Materials**

ASTM International es una de las organizaciones de desarrollo de normas internacionales más grande del mundo. En ASTM se reúnen productores, usuarios, consumidores, entre otros, para crear normas consensuales voluntarias. Las normas de ASTM se crean usando un procedimiento que adopta los principios del World Trade Organization Technical Barriers to Trade Agreement (Convenio de obstáculos técnicos al comercio de la Organización Mundial de Comercio). El proceso de creación de normas de ASTM es abierto y transparente; lo que permite que tanto a individuos como gobiernos participen directamente, y como iguales, en una decisión consensual global.

Con el fin de facilitar las contribuciones a nivel mundial, ASTM International utiliza tecnologías en línea que fomentan la participación abierta y el interés por las necesidades de la industria. Entre ellas están los foros de desarrollo de normas por medio de Internet, lo que permite el acceso mundial 24 horas

diarias, los 7 días de la semana, votación en línea, actas y plantillas electrónicas, así como los últimos adelantos en los métodos de distribución.

Las normas de ASTM International se usan en investigaciones y proyectos de desarrollo, sistemas de calidad, comprobación y aceptación de productos y transacciones comerciales alrededor del mundo. Son los componentes integrales de las estrategias comerciales competitivas de hoy en día.

2.2.13 Factor de seguridad.

Para minimizar el riesgo de diseño, que surge de la imposibilidad de la certeza total de los resultados por medio de los criterios considerados, se introduce el denominado Factor de Seguridad, el cual se designa por la letra **N**, y se define según la siguiente expresión:

$$N = \frac{\text{Condición de Falla}}{\text{Condición de Trabajo}} > 1,0 \quad \text{Ec. 1}$$

En el diseño, cuando se deba calcular un elemento de máquina, se adoptará entonces un valor de **N** tanto mayor, cuanto mayor sea la consecuencia de la falla de dicha pieza. En la figura 8 se muestran algunos factores de seguridad utilizados por los diseñadores, sugeridos por Norton R. (1999).

2.2.14 Esfuerzos.

Se producen al aplicar una carga sobre un área de una pieza. Los esfuerzos producen deformación, fatiga, tolerancias, incremento de la temperatura de la pieza, y en el extremo rotura. La ley de Hooke establece que dentro de ciertos límites, el esfuerzo en un material es directamente proporcional a la deformación que lo produce.

2.2.14.1 Esfuerzos uniformemente distribuidos.

Son aquellos esfuerzos donde las líneas de acción de los esfuerzos unitarios de la pieza son paralelas. Esto esfuerzos se dividen en *tensión pura*, *compresión pura* ó *cortante puro*.

Información	Calidad de la información	Factor
Datos del material disponibles de pruebas	El material realmente utilizado fue probado	1,3
	Datos representativos del material disponibles a partir de pruebas	2
	Datos suficiente a partir de pruebas	3
	Datos pocos representativos a partir de pruebas	5+
Condiciones del entorno en el cual se utilizará	Idénticas a las condiciones de prueba del material	1,3
	Esencialmente en un entorno de ambiente de habitación	2
	Entorno moderadamente agresivo	3
	Entorno extremadamente agresivo	5+
Modelos analíticos para carga y esfuerzos	Los modelos han sido probados contra experimentos	1,3
	Los modelos representan al sistema con precisión	2
	Los modelos representan al sistema aproximadamente	3
	Los modelos son una burda aproximación	5+

Figura 8: Factores de Seguridad

Fuente: Norton R. (1999)

- **Tensión pura:** Dada una fuerza F que es aplicada por los pasadores en los extremos de una barra, se define que el esfuerzo está uniformemente distribuido a lo largo de la barra si cumple con las siguientes condiciones: La barra sea recta y de material homogéneo. La línea de acción de la fuerza pase por el centroide de la sección. La sección esté lo suficientemente alejada de los extremos y de cualquier discontinuidad o cambio brusco en la sección transversal. La ecuación de diseño es:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde:

σ : Esfuerzo a compresión o flexión [Pa]

P : Carga [N]

A : Área transversal [m^2]

- **Compresión pura:** Consiste en la misma definición que los esfuerzos de tensión pura, pero las fuerzas se orientan en sentido hacia el centroide de la pieza, provocando que se contraiga. Para el diseño se utiliza la misma Ec. 2.
- **Cortante puro:** Las fuerzas son tangenciales a la superficie, generan torque que produce una deformación angular de la pieza.

$$\tau = \frac{V}{A} \quad \text{Ec. 3}$$

Dónde:

τ : Esfuerzo cortante [Pa]

P : Carga [N]

V : Fuerza Cortante [N]

A : Área transversal [m^2]

2.2.14.2 Esfuerzos normales por flexión.

Son esfuerzos generados en una viga homogénea cuando se le aplica un momento flexionante puro. Para el cálculo de flexión en piezas se emplea:

$$\sigma_f = \frac{M_f \times c}{I} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

M_f : Momento flector [N]

2.2.14.3 Esfuerzos a compresión en piezas largas (Pandeo por compresión)

Si las piezas son cortas, la falla se presentará cuando la tensión calculada σ es por lo menos igual a la resistencia de fluencia S_y del material con el cual fabricamos el elemento de máquina. Pero igualmente, puede ser importante para efectos de diseño, el comparar el valor de σ con la resistencia última S_u de ese material. De cualquier manera, se puede indicar que la condición de falla no se presentará, si se cumplen las desigualdades que se indican a continuación, en las cuales se ha incluido el factor de seguridad N para cada caso, que sea resistencia de fluencia o última (con los subíndices y o u respectivamente):

$$\sigma < \frac{S_y}{N_y} \quad \text{Ec. 6}$$

$$\sigma < \frac{S_u}{N_u} \quad \text{Ec. 7}$$

Existen elementos de máquina, que no fallan cuando la tensión resultante aplicada se acerca a los valores de resistencia del material, sino mucho antes ¿A qué se debe este comportamiento? El mismo obedece a la existencia de un llamado equilibrio inestable. Un ejemplo típico de lo que aquí se dice, son las columnas. No hay que pensar que se refiere únicamente a las columnas de un edificio... Muchos elementos de máquina se comportan como si fueran columnas, sin... serlo. Algunos ejemplos que se pueden citar son: la biela de un motor de combustión interna, el soporte central del tren de aterrizaje de un avión, el vástago del émbolo del cilindro hidráulico del freno de un vehículo de pasajeros, etc.

La primera vez que se escuchó este término fue en el año 1.744, en un tratado de Leonhard Euler (1.707-1.783), matemático, físico e ingeniero que paso largos años para tratar de explicar este problema, ya que la estabilidad elástica solo explica cuando la pieza se endereza, el verdadero problema es explicar cuando la pieza llegará a la “inestabilidad elástica o geométrica”, es decir, cuando el momento

elástico interno ya no es capaz de contrarrestar el efecto de P, ¿y qué ocurre? Pues, la pieza falla (cede) abruptamente y se produce el colapso.

La ecuación de Euler se escribe como sigue:

$$P_{cr} = n \frac{\pi^2 EI}{h^2} \quad \text{Ec. 8}$$

Dónde:

E: Módulo de Elasticidad del material que conforma la pieza [Pa]

I: Inercia de la sección transversal de la pieza [m⁴]

h: Longitud de la pieza [m]

P_{cr}: Carga que lleva a la pieza a la inestabilidad elástica, en el instante de la falla [N]

n: Es el factor de fijación de extremos.

$$n = \begin{cases} \mathbf{1} & (\text{extremos libres de girar}) \\ \mathbf{1/4} & (\text{un extremo empotrado y el otro libre}) \\ \mathbf{2} & (\text{un extremo empotrado y el otro guiado}) \\ \mathbf{4} & (\text{ambos extremos empotrados}) \end{cases} \quad \text{Ec. 9}$$

La ecuación o fórmula de Euler no predice la falla en todos los casos, existe otro criterio de diseño en los casos donde Euler no funciona, por su sencillez y por lo adecuadas y predecibles que son sus resultados, la más utilizada es la *fórmula empírica de Johnson*; J.B. Johnson entre 1.908 y 1.910 propuso lo siguiente.

$$\frac{P_{cr}}{A} = S_{ycomp} \left(\frac{S_{ycomp}}{2\pi} \right)^2 \frac{1}{n E} \left(\frac{h}{R} \right)^2 \quad \text{Ec. 10}$$

En la Ec.10, fórmula empírica de Johnson, los parámetros a utilizar son los mismos que los de la Ec. 8, o fórmula de Euler, con la excepción de:

$\frac{h}{R}$: Coeficiente de esbeltez, siendo h la longitud entre articulaciones de la pieza y R radio de giro de la misma, y

S_{ycomp} : Límite de fluencia a compresión del material de la pieza [**Pa**].

La representación de ambos criterios se puede observar en la gráfica de la figura 9.

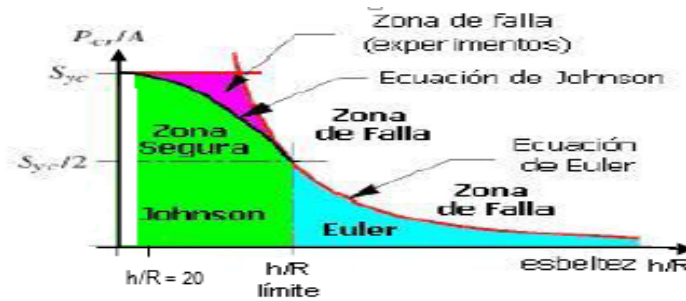


Figura 9: Representación gráfica de los criterios de Euler y de Johnson para elementos de máquina largos sometidos a cargas de compresión
Fuente: Tassoni D. (2.006)

La ecuación 10, es una expresión parabólica tangente al punto $\frac{P_{cr}}{A} = S_{y \text{ comp}}$ y a la parábola de Euler en $\frac{P_{cr}}{A} = \frac{S_{y \text{ comp}}}{2}$, en donde el valor de la esbeltez para la cual ambos criterios de diseño son válidos, igualando ambas ecuaciones es:

$$\bar{R}|_{\text{Limite}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 n E}{S_{y \text{ comp}}}} \quad \text{Ec. 11}$$

La Ec 11 es el valor del coeficiente de esbeltez para el cual, las parábolas de EULER y de JOHNSON, son tangentes en el punto $\frac{P}{A} = \frac{S_{y \text{ comp}}}{2}$, es decir, ambos criterios son válidos.

La parábola de Johnson es válida hasta los valores de esbeltez que igualan la expresión de la Ec.11. Para valores mayores a éste, debe utilizarse la fórmula de Euler. Para valores inferiores a una esbeltez de **20**, se trata de elementos de máquina cortos, sometidos a compresión, cuya falla es por fluencia.

2.2.14.4 Puntales o elementos cortos sometidos a compresión

Una barra corta sometida a compresión pura por una fuerza P que actúa a lo largo del eje centroidal se acortará de acuerdo con la ley de Hooke, hasta que el esfuerzo alcance el límite de elasticidad del material. En este punto se produce una deformación permanente y la utilidad como elemento de máquina quizá llegue a su

fin. Si la fuerza P se incrementa aún más, el material adopta una forma como de “barril” o se fractura. Cuando hay excentricidad en la carga, el límite elástico se alcanza con cargas pequeñas.

Un puntal es un elemento corto sometido a compresión, como el de la figura 10. La magnitud del esfuerzo de compresión en la dirección x en el punto B en una sección intermedia es la suma de una componente simple P/A y una componente flexionante Mc/I ; esto es,

$$\sigma_{comp} = \frac{P}{A} + \frac{M c}{I} = \frac{P}{A} + \frac{P e c A}{I A} = \frac{P}{A} \left(1 + \frac{e c}{R^2} \right) \quad \text{Ec.12}$$

Dónde:

P : Carga aplicada [N]

c : Distancia a la fibra más alejada [m]

e : Excentricidad de la carga [m]

A : Área de la sección transversal [m^2]

I : Es la inercia de la sección transversal de la pieza [m^4].

$$R = \sqrt{\frac{I}{A}} : \text{Radio de giro [m]}$$

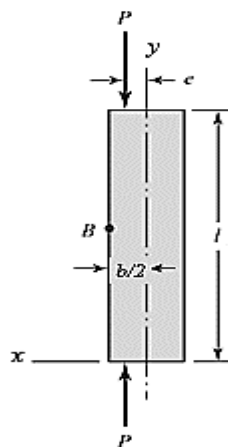


Figura 10: Diagrama de cuerpo libre de un puntal de carga

Fuente: Tassoni D. (2.006)

2.2.14.5 Esfuerzos por Torsión en elementos de sección circular.

La torsión pura es una acción deformadora, producida por un Momento Torsor Puro (Par de Fuerzas) que actúa en el plano de la sección resistente del elemento de máquina, generando en el mismo tensiones de corte (esta tensión es la tercera de los tipos que pueden presentarse en una pieza, hasta ahora se trató tensiones de compresión y de tracción).

Cualquier vector momento que sea colineal con un eje de un elemento mecánico se llama vector de par de torsión, porque el momento causa que el elemento se tuerza respecto a ese eje. Una barra sometida a un momento de ese tipo se dice que está sometida a torsión. Como se muestra en la figura 11, el par de torsión T que se aplica a una barra se designa dibujando flechas en la superficie de la barra para indicar su dirección o dibujando flechas de vector-par de torsión a lo largo de los ejes de torsión de la barra. Los vectores de par de torsión son las flechas huecas que se muestran en el eje x de la figura 11. Observe que siguen la regla de la mano derecha para vectores. El ángulo de giro, en radianes, de una barra sólida de sección circular se calcula mediante

$$\theta = \frac{T l}{G J} \quad \text{Ec. 13}$$

Dónde:

θ : Ángulo de giro [rad].

T : Torque aplicado [$N \cdot m$]

G : Módulo de rigidez [Pa]

J : Segundo momento polar de área [m^4].

A través de la sección transversal se desarrollan esfuerzos cortantes. Para una barra sólida circular en torsión, estos esfuerzos son proporcionales al radio y están dados por

$$\tau = \frac{T \rho}{J} \quad \text{Ec. 14}$$

Si se designa a r como el radio de la superficie exterior, se tiene

$$\tau = \frac{T r}{J} \quad \text{Ec. 15}$$

Los supuestos que se aplicaron en el análisis son:

- Sobre la barra actúa un par de torsión puro y las secciones bajo consideración se encuentran alejadas del punto de aplicación de la carga y de un cambio de diámetro.
- Las secciones transversales originalmente planas y paralelas permanecen planas y paralelas después de la torsión, y cualquier línea radial permanece recta.
- El material obedece la ley de Hooke.

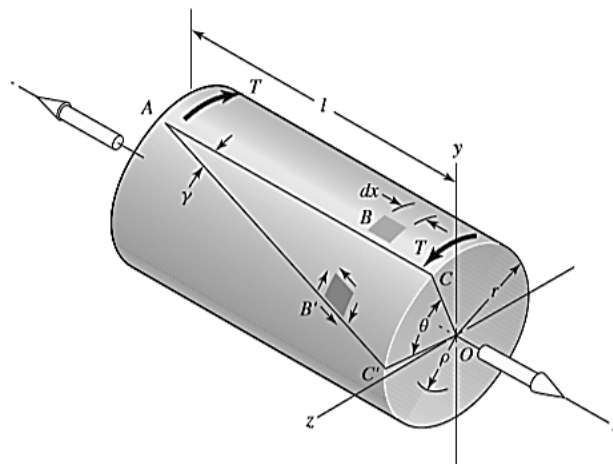


Figura 11: Barra de sección circular sometida a la acción de un Momento torsor

Fuente: Budynas, R. y Nisbett, J. (2.008)

2.2.14.6 Esfuerzos combinados.

Cuando un elemento de máquina está sometido a un sistema de cargas simple, el criterio de falla es sumamente fácil de aplicar: cuando una de las tensiones directas, tensiones de tracción \mathbf{S}_{trac} , o de compresión \mathbf{S}_{comp} , o de corte \mathbf{t} , actuando

separadamente, es superior a la resistencia a la fluencia del material del cual está fabricada la pieza o el elemento de máquina considerado, se dice que hay falla. Pero cuando éste elemento, está sometido a un estado no simple de tensiones: ¿Cómo predecir su fallo? Uno de estos casos no simples de estados de tensión, se presenta cuando un elemento de máquina está sometido a tensiones de tracción, compresión y corte, simultáneamente en algún punto. ¿Cómo predecir su condición de falla? ¿En cuál condición se presenta esta falla? Para dar respuesta a estas preguntas, se introducen las teorías de falla las cuales son explicaciones, o ensayos de explicaciones, que tratan de señalar cuando y como falla un elemento de máquina.

a) Tresca: Teoría de Tensión de Corte Máxima.

Se considera que está es la teoría de falla más antigua. Originalmente fue propuesta por el francés C. A. Coulomb (1.736-1.806). Tresca, en 1.864 escribió acerca de la *teoría del esfuerzo cortante máximo*, y J.J.Guest en Inglaterra realizó ensayos en el año 1.900, que condujeron a la aceptación de la teoría.

$$t_1 = \frac{s_1 - s_2}{2}, \quad t_2 = \frac{s_2 - s_3}{2}, \quad t_3 = \frac{s_1 - s_3}{2} \quad \text{Ec. 16}$$

Donde: σ_1, σ_2 y σ_3 son los esfuerzos principales en las tres direcciones expresados en Pascales.

La falla iniciará cuando la tensión mayor de corte entre los tres valores de t_i (sea ésta $t_{i,MAX}$) representados en las expresiones indicadas en (Ec 16), se iguala a la mitad del valor de la resistencia a la fluencia del material de fabricación de la pieza, obtenido en un ensayo de tracción simple. Esto es

$$t_{i, MAX} = \frac{S_y}{2} \quad \text{Ec. 17}$$

La teoría de la tensión de corte máxima, indica igualmente que el límite de fluencia a corte S_{ycorte} de un material es, a lo sumo, igual a la mitad de su límite de fluencia a tracción S_y , esto es,

$$S_{y_{corte}} = 0,5 S_y \quad \text{Ec. 18}$$

Esta teoría ofrece buenos resultados en el diseño de elementos de máquina, para cuya fabricación se utilizarán materiales dúctiles (latones, bronces, aluminio y aceros laminados y recocidos).

b) Von Mises – Hencky: También denominada, *teoría de la energía de corte o teoría de la energía de distorsión*.

En 1.904, en Polonia, M. T. Hueber escribió por primera vez sobre la energía de la máxima distorsión; pero, fueron R. von Mises (Alemania y USA) en 1.913 y H. Hencky (Alemania y USA) en 1.925 quienes más contribuyeron a ella. Recientemente, S. Timoshenko, en su *History of Strength of Materials* McGraw-Hill, Nueva York, 1.953, ha atribuido esta teoría a J. C. Maxwell de Inglaterra, que la plantea en 1.856. Esta teoría sostiene que cualquier pieza esforzada en forma elástica sufre un (ligero) cambio en forma, volumen o en ambos, pero no en tamaño. La energía necesaria para producir este cambio se almacena en forma de energía elástica. Por lo tanto, un determinado material tiene una capacidad limitada y definida de energía de distorsión o de corte, y por lo tanto cualquier intento por someter al material a cantidades mayores de energía de distorsión, provocaría la falla del elemento, La forma más corrientemente utilizada para expresar la teoría de la energía de distorsión, es

$$\frac{S_y}{N} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad \text{Ec. 19}$$

Según esta teoría, cuando el sistema de carga que actúa sobre el elemento de máquina produce tensiones de torsión pura) se obtiene que la falla del material y por ende de la pieza, se inicia cuando se alcanza cuando:

$$\tau = 0,577S_y \quad \text{Ec. 20}$$

Pero el inicio de la falla por torsión pura, no es más que haber alcanzado el límite de fluencia a corte del material de fabricación de la pieza, $S_{y_{corte}}$; es decir que podemos escribir, a partir de la Ec.19, que:

$$S_{y_{corte}} = 0,577S_y \quad \text{Ec. 21}$$

Si se comparan la Ec. 21, criterio de Von Mises-Hencky, y la Ec. 18, criterio de Tresca, que representan los valores del límite de fluencia a corte, vemos que predicen valores sustancialmente diferentes entre ellas. La diferencia Tresca y von Mises-Hencky es de 15,4%.

2.2.14.7 Selección de los rodamientos

La selección de un rodamiento toma en cuenta la capacidad de carga, como se analizó, al igual que la geometría del rodamiento que asegurará que puede instalarse en forma conveniente en la máquina. En primer lugar, se consideran rodamientos no montados que sólo soportan cargas radiales. Después, se consideraran rodamientos no montados que soportan una combinación de carga radial y carga de empuje. El término no montado se refiere al caso en el que el diseñador debe prever la aplicación correcta del rodamiento en el eje y dentro de la carcasa.

La selección de un cojinete de tamaño apropiado dependerá de la magnitud de las cargas estáticas y dinámicas aplicadas, y de la vida a la fatiga deseada; para nuestro diseño escogeremos cojinetes de rodillo ya que pueden soportar cargas dinámicas (impacto) superiores a los cojinetes de bolas y son menos costosos para tamaños y cargas mayores.

El cálculo de la vida útil es dependiente del rodamiento en particular, esto lo convierte en un cálculo iterativo en el cual se escoge un rodamiento y se comprueba su vida útil, si el resultado es satisfactorio, la selección ha terminado, pero si la vida es menor o muy mayor de lo recomendado debe escogerse otro rodamiento y recalcular la vida.

La carga equivalente sobre el rodamiento se obtiene de fórmulas como la siguiente:

$$P = X V F_r + Y F_a \quad \text{Ec. 22}$$

Dónde: F_r es la carga radial que se aplica sobre el rodamiento; F_a es la carga axial que se aplica sobre el rodamiento; X es el factor de carga axial de la Figura 11;

Y es el factor de carga de empuje de la Figura 11 y V es un factor de rotación igual a 1 si gira la pista interna ó 1,2 si gira la externa.

La duración de un rodamiento para una carga cualquiera es:

$$\frac{L_d}{10^6} = \left(\frac{C}{F_d} \right)^a \quad \text{Ec. 23}$$

Dónde: C es la capacidad básica de carga. Es la carga radial constante que puede soportar un rodamiento hasta una duración nominal de un millón de revoluciones; L_d es la vida útil del diseño; F_d es la carga de diseño; a vale 3 para rodamientos de bolas y $10/3$ para rodamientos de rodillos.

La carga necesaria C para una carga y una vida útil de diseño específicas será:

$$C = F_d \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{a}} \quad \text{Ec. 24}$$

Es habitual también que el fabricante proporcione la capacidad de carga para una vida útil a una velocidad especificada. Así, L_d Número de revoluciones de diseño se calcularía de la forma:

$$L_d = (h) \cdot (rpm) \cdot 60 (min/h) \quad \text{Ec. 25}$$

Donde h es la vida útil de diseño en horas, tomada de la Figura 12.

0,19	0,014	2,30	0,34	0,170	1,31
0,22	0,028	1,99	0,38	0,280	1,15
0,26	0,056	1,71	0,42	0,420	1,04
0,28	0,084	1,55	0,44	0,560	1,00
0,30	0,110	1,45			

Nota: $\alpha = 0,56$ para todos los valores de β .

Figura 12: Factores radiales y de empuje para rodamientos de hilera única, ranura profunda.

Fuente: Pizzella G. (2006)

<i>Uso</i>	<i>Vida útil de diseño L₁₀, h</i>
Aparatos domésticos	1 000–2 000
Motores para aviones	1 000–4 000
Automotriz	1 500–5 000
Equipo agrícola	3 000–6 000
Elevadores, ventiladores industriales, engranes de uso múltiple	8 000–15 000
Motores eléctricos, ventiladores industriales con tolva, máquinas industriales en general	20 000–30 000
Bombas y compresoras	40 000–60 000
Equipo crítico en operación continua las 24 horas	100 000–200 000

Figura 13: Vida útil de Diseño recomendada para Rodamientos.

Fuente: Avalone E. y Baumister T. (1986).

2.2.15 Elementos de control.

Estos elementos permiten controlar el paso de la electricidad según convenga. El ejemplo más sencillo es un interruptor que enciende o apaga la luz dejando pasar la electricidad cuando nos conviene. Dependiendo de cómo se accionen hay varios tipos de elementos de control.

- **Accionamiento manual:**

Los interruptores, pulsadores, mandos giratorios, etc. Permiten a las personas controlar los aparatos eléctricos.

- **Protección eléctrica:**

El fusible, diferencial, interruptor automático, etc. Cortan la electricidad para proteger la instalación eléctrica y que no se quemen los cables si hay un cortocircuito o una sobrecarga.

También nos protegen la vida cortando la corriente antes de que una derivación eléctrica pueda electrocutarnos.

- **Accionamiento automático:**

Algunos elementos de control se accionan a partir de señales eléctricas. Esto permite un control automático, sin que nadie intervenga. Por ejemplo la luz de escalera que se apaga sola al cabo de un tiempo, una puerta eléctrica que se abre al detectar presencia, o un edificio inteligente que controla mediante ordenador la temperatura, humedad, apertura de puertas, riego, etc.

2.2.15.1 Actuadores.

Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control, como por ejemplo una válvula.

Existen varios tipos de actuadores como son:

- Hidráulicos
- Neumáticos
- Eléctricos
- Automáticos

Los actuadores hidráulicos, neumáticos y eléctricos son usados para manejar aparatos mecatrónicos. Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son simples posicionamientos. Sin embargo, los hidráulicos requieren mucho equipo para suministro de energía, así como de mantenimiento periódico. Por otro lado, las aplicaciones de los modelos neumáticos también son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento.

2.2.15.2 Actuadores de simple efecto.

Los cilindros de simple efecto son aquellos que solo realizan un trabajo cuando se desplaza su elemento móvil (**vástago**) en un único sentido; es decir, realizan el trabajo en una sola carrera de ciclo. El retroceso se produce al **evacuar** el aire a

presión de la parte posterior, lo que devuelve al vástago a su posición de partida. Estos cilindros se utilizan para trabajos de desplazamientos cortos en los que el vástago del cilindro no realice carreras superiores, generalmente, a 100 mm.(ver figura 14)

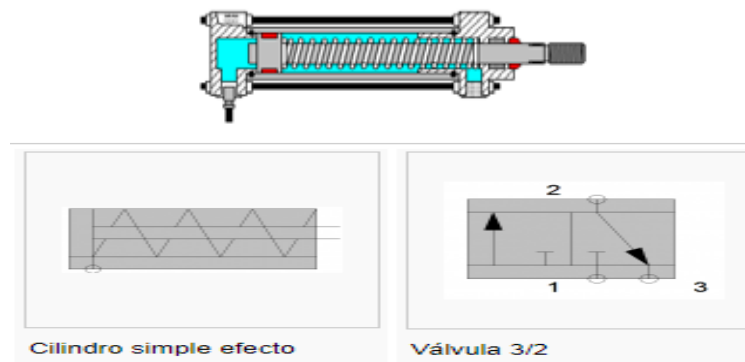


Figura 14: Actuador de simple efecto.

Fuente: <http://www.automatastr.galeon.com>. (2.020)

2.2.15.3 Actuadores de doble efecto.

Los cilindros de doble efecto son capaces de producir trabajo útil en dos sentidos, ya que disponen de una fuerza activa tanto en **avance** como en **retroceso**. Se construyen siempre en formas de cilindros de embolo y poseen dos tomas para aire comprimido, cada una de ellas situada en una de las tapas del cilindro.

Se emplea, en los casos en los que el émbolo tiene que realizar también una función en su retorno a la posición inicial. La carrera de estos cilindros suele ser más larga (hasta 200 mm) que en los cilindros de simple efecto, hay que tener en cuenta el pandeo o curvamiento que puede sufrir el vástago en su posición externa. Cuando el aire comprimido entra por la toma situada en la parte posterior (1), desplaza el émbolo y hace salir el vástago (avance). Para que el émbolo retorne a su posición inicial (retroceso), se introduce aire por la toma situada en la tapa delantera (2). De esta manera, la presión actúa en la cara del émbolo en la que está sujeto el vástago, lo que hace que la presión de trabajo sea algo menor debido a que la superficie de aplicación es más pequeña. Hay que tener en cuenta que en este caso el volumen de aire es menor, puesto que el vástago también ocupa volumen.(ver figura 15)

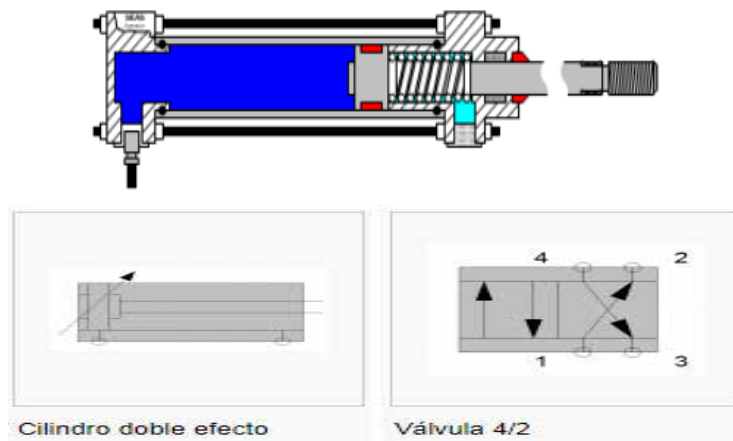


Figura 15: Actuador de doble efecto.

Fuente: <http://www.alecar.com>. (2.020)

2.2.15.4 Mando directo e indirecto de los actuadores.

- **Mando directo:** Los actuadores, en este caso, solo precisan de una válvula distribuidora que reúne en sí misma todas las funciones de órgano de regulación, elemento de mando y emisor de señales. El mando de las válvulas será manual o eléctrico directo.
- **Mando de cilindros de simple efecto:** La forma habitual de mando directo de cilindros de simple efecto consiste en usar válvulas 3/2 monoestables. Por lo general, estas válvulas son normalmente cerradas para que el cilindro mantenga el vástago recogido en su posición de reposo. Al pilotar la válvula, el cilindro sale y se mantiene fuera mientras se mantenga pilotada la válvula. En cuanto desaparece el pilotaje, vuelve a recogerse el émbolo.(ver figura 16)

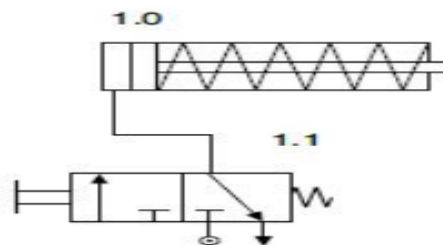


Figura 16: Mando directo de un cilindro de simple efecto.

Fuente: <http://www.automatastr.galeon.com>. (2.020)

- **Mando de cilindros de doble efecto:** Las válvulas que habitualmente se usan para el gobierno de cilindros de doble efecto son las de 4/2 o 5/2, que se disponen para que el cilindro mantenga normalmente el vástago recogido. Mientras se activa 1.1, sale el émbolo y, al desactivarla, regresa. En estas condiciones, la carrera de avance se realiza a menor velocidad porque se tarda más tiempo en llenar la cámara anterior (mayor volumen). En esta carrera de avance se obtiene también una mayor fuerza de trabajo por tener mayor sección la cara del émbolo que da a la cámara anterior.(ver figura 17)

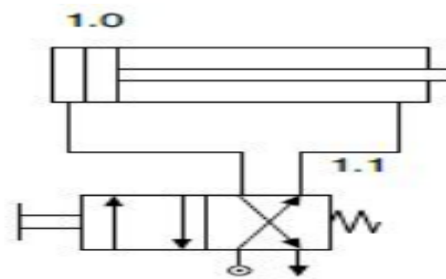


Figura 17: Mando directo de un cilindro de doble efecto.
Fuente: <http://www.automatastr.galeon.com>. (2.020)

- **Mando indirecto:** Si el cilindro es de gran tamaño será necesaria una gran fuerza de mando para conmutar las válvulas que lo comandan. La forma con que se obtiene la separación de la parte de información de la parte de trabajo es mediante el pilotaje neumático. Así, la parte del circuito encargada del mando neumático puede funcionar a una baja presión mediante válvula 4/2 monoestable y ahorrará costes; mientras, la parte de potencia, es decir, el elemento de trabajo y la válvula distribuidora de gobierno, funciona a la presión normal. De forma habitual, se usan válvulas 3/2 normalmente cerradas para el pilotaje de las válvulas de gobierno de cilindros, que en este caso son válvulas de accionamiento neumático. Estas pueden ser monoestables (con posición de reposo) o biestables. En el primer caso solo se precisa una válvula

de mando. Mientras se activa 1.2, se comanda 1.1 y el cilindro sale. En cuanto se deja de comandar, el cilindro entra.(ver figura 18)

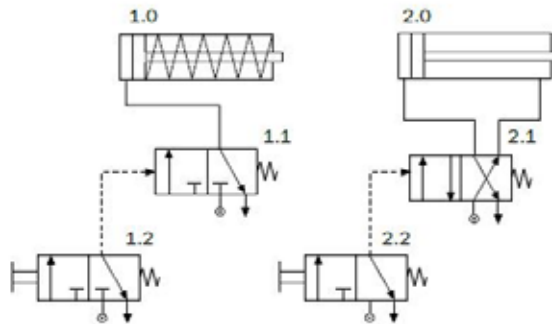


Figura 18: Mandos indirectos.

Fuente: <http://www.automatastr.galeon.com>. (2.020)

2.2.15.5 Actuadores giratorios.

Los actuadores rotativos constan de una cámara cilíndrica que incluye, en su construcción más estándar, una barrera estacionaria y un eje central con una paleta (simple) o dos paletas (dobles) acopladas a él.(ver figura 19)

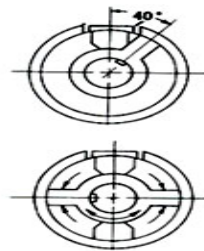


Figura 19: Actuador giratorio simple y doble.

Fuente: Hydren Oleohidráulica (2015).

La potencia se obtiene al aplicar la presión hidráulica sobre el área total de las paletas, que al desplazarse, hacen girar el eje del actuador. El torque que desarrolla un actuador depende del área de la paleta y de la presión hidráulica a la que es sometida la cámara. Aunque la barrera estacionaria limita el dar una revolución completa, el movimiento, ya sea en un sentido u otro, puede ser controlado por válvulas

direccionales (A). La velocidad, al igual que cualquier elemento dinámico oleo hidráulico depende del caudal que circule por el actuador y que se regula normalmente con válvulas estranguladoras (B).(ver figura 20)

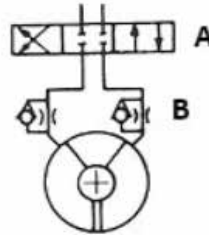


Figura 20: Funcionamiento de un cilindro giratorio.

Fuente: Hydren Oleohidráulica (2015).

El fluido utilizado en los actuadores rotativos puede ser tanto aceite (oleohidráulico) como aire (neumático), emulsiones o aceites sintéticos. Los actuadores rotativos pueden montarse de forma vertical, horizontal o inclinada. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que son elementos sometidos a pares de torsión extremadamente altos y la fijación debe ser estudiada en función de las fuerzas actuantes.

2.2.15.6 Sensores (Rockwell, Allen Bradley, 2007).

Un sensor es todo aquello que tiene una propiedad sensible a una magnitud del medio, y al variar esta magnitud también varía con cierta intensidad la propiedad, es decir, manifiesta la presencia de dicha magnitud, y también su medida

Un sensor en la industria es un objeto capaz de variar una propiedad ante magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas con un transductor en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: intensidad lumínica, temperatura, distancia, aceleración, inclinación, presión, desplazamiento, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, etc. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica , etc.

2.2.15.7 Tipos de sensores.

Encontramos diferentes tipos de sensores, según el tipo de variable que deban medir o detectar.

Sensor de temperatura: El sensor de temperatura nos proporciona información de la temperatura del exterior (es decir, del medio), mediante impulsos eléctricos. Estos sensores permiten controlar la temperatura de ambiente.

Los sensores de temperatura son en realidad resistencias, cuyo valor asciende con la temperatura, o disminuye con ella. En el primer caso, lo denominamos termistor PTC, y en el segundo, termistor NTC.

A su vez, los sensores de temperatura pueden ser de diferentes tipos: de contacto, de no-contacto, mecánicos y eléctricos. Un ejemplo de sensor de temperatura es un termómetro (el clásico, de mercurio) (en este caso, se trata de un sensor mecánico). Este tipo de sensores son especialmente utilizados en el sector industrial; su objetivo es controlar la temperatura de las diferentes máquinas, entre otros.

- **Sensores de luz:** Otros tipos de sensores son los de la luz; en este caso, se trata de dispositivos electrónicos que responden al cambio en la intensidad de la luz. Es decir, permiten determinar la presencia de luz. Así, este tipo de sensores detectan la luz visible (es decir, la que percibimos con el ojo), y además, responden en función de su intensidad.

Un ejemplo de sensor de luz es la célula fotoeléctrica, un dispositivo que transforma la energía lumínica en energía eléctrica, a través de un efecto denominado “efecto fotoeléctrico”. Este dispositivo permite generar energía solar fotovoltaica.

- **Sensores de distancia:** Los sensores de distancia son dispositivos que permiten medir distancias; además, dependiendo del tipo, también pueden utilizarse como sensores de presencia o movimiento.

Un ejemplo de sensor de distancia es el infrarrojo, basado en un sistema de emisión y recepción de radiación. También encontramos, como ejemplo de

sensor de distancia, el sensor ultrasónico, que envía pulsos haciendo que las ondas reboten en la superficie.

- **Sensores de proximidad:** Los sensores de proximidad, consisten en transductores que detectan la presencia de objetos (obstáculos, personas...) sin necesidad de un contacto. En algunos casos también se pueden configurar para que midan la distancia.
- **Sensores de posición:** Los sensores de posición nos permiten determinar qué ubicación tiene un determinado objeto. Como característica de los mismos, encontramos que generalmente disponen de un sistema electrónico particular, a fin de que puedan determinar la ubicación con la máxima precisión.
- **Sensores de color:** Los sensores de color convierten la luz en frecuencia, a fin de poder detectar los colores de determinados objetos a partir de su radiación reflejada; lo que hacen es comparar estas radiaciones con los valores de referencia guardados.

Estos tipos de sensores emiten tres tipos de luz: roja, verde y azul, y lo hacen sobre los objetos que pretenden analizar. Finalmente, estos dispositivos generan una señal de salida (una respuesta).

- **Sensores de la humedad:** Estos tipos de sensores lo que hacen es medir la humedad relativa, así como la temperatura del ambiente. Concretamente, actúan emitiendo una señal acondicionada, gracias a una serie de circuitos integrados de que disponen.

Los sensores de humedad captan las señales del ambiente para detectar estos parámetros (humedad y temperatura). Además, el margen de error que tienen suele ser muy pequeño.

Por otro lado, a modo de ejemplo, este tipo de sensores se pueden aplicar para detectar el nivel de líquido en un depósito; también se utilizan en sistemas de riego de jardines, con el objetivo de determinar cuándo las plantas necesitan riego y cuándo no.

- **Sensores de velocidad:** También conocidos como “velocímetros”, los sensores de velocidad permiten detectar la velocidad de un objeto (generalmente un vehículo).
Un ejemplo de ellos son los radares, que detectan si un vehículo iba a una velocidad superior a la permitida.
- **Sensores de sonido:** Los siguientes tipos de sensores son los de sonido; se encargan de captar los sonidos del exterior (ambiente), a través de un micrófono o de un sistema de sonar.
Las ondas de sonido que reciben estos sensores se propagan por el aire del medio y después son detectadas por los sensores.
Se utilizan normalmente para recibir estímulos del exterior en forma de órdenes (provenientes de personas), de forma remota.
- **Sensores de contacto:** Los sensores de contacto tienen la finalidad de detectar el final del recorrido de componentes mecánicos (o en otras palabras, su posición límite). Un ejemplo de ellos son: puertas que se abren de forma automática, que cuando ya están completamente abiertas, el motor que las acciona “sabe” que debe detenerse.
- **Sensores ópticos:** En este caso, estos tipos de sensores permiten detectar la presencia de un objeto (o de una persona) que interrumpe un haz de luz que llega hasta el sensor.
Un ejemplo de ellos (y los principales) son las llamadas “fotorresistencias” (también denominadas LDR). Las LDR se utilizan especialmente en robótica, con el objetivo de regular el movimiento de los robots y de detener su movimiento en el momento en el que estén a punto de tropezar con algún otro objeto.
- **Sensores magnéticos:** Los sensores magnéticos actúan detectando los campos magnéticos que provocan las corrientes eléctricas o los imanes.

Un ejemplo de estos tipos de sensores es el interruptor Reed, que consiste en dos láminas metálicas introducidas en el interior de una cápsula; dichas láminas están en presencia de un campo magnético, y se atraen entre ellas (es decir, cierran el circuito).

2.2.15.8 Controlador lógico programable (PLC).

Es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, electroneumáticos, electrohidráulicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje u otros procesos de producción así como atracciones mecánicas.

Los PLC son utilizados en muchas industrias y máquinas. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura ampliados, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Los programas para el control de funcionamiento de la máquina se suelen almacenar en baterías, copia de seguridad o en memorias no volátiles. Un PLC es un ejemplo de un sistema de tiempo real, donde los resultados de salida deben ser producidos en respuesta a las condiciones de entrada dentro de un tiempo limitado, de lo contrario no producirá el resultado deseado.

Dentro de las ventajas que estos equipos poseen se encuentra que, gracias a ellos, es posible ahorrar tiempo en la elaboración de proyectos, pudiendo realizar modificaciones sin costos adicionales. Por otra parte, son de tamaño reducido y mantenimiento de bajo costo, además permiten ahorrar dinero en mano de obra y la posibilidad de controlar más de una máquina con el mismo equipo. Así como soportar las vibraciones mecánicas generadas por la maquinaria ya que otros dispositivos serían altamente frágiles o propensos a fallas o rupturas.

2.2.15.9 Lenguaje de programación en escalera.

El diagrama de escalera o ladder logic es un programa muy utilizado para programar PLC o autómatas programables. El diagrama de escalera fue uno de los

primeros lenguajes utilizados para programar PLC debido a su similitud con los diagramas de relés que los técnicos ya conocían.

Este lenguaje permite representar gráficamente el circuito de control de un proceso, con ayuda de símbolos de contactos normalmente cerrados (N.C.) y normalmente abiertos (N.A.), relés, temporizadores, contadores, registros de desplazamiento, etc. Cada uno de estos símbolos representa una variable lógica cuyo estado puede ser verdadero o falso.

En el diagrama de escalera, (ver figura 21) ,la fuente de energía se representa por dos “rieles” verticales, y las conexiones horizontales que unen a los dos rieles, representan los circuitos de control. El riel o barra del lado izquierdo representa a un conductor con voltaje positivo y el riel o barra de lado derecho representa tierra o masa.

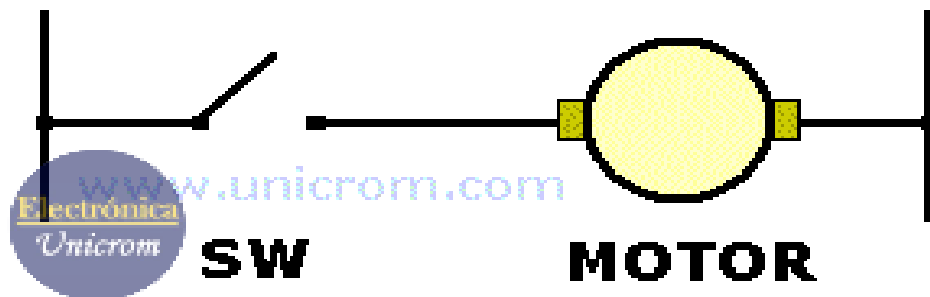


Figura 21: Diagrama de escalera.
Fuente: Electrónica Unicrom (2016).

El programa se ejecuta de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha. Observar el diagrama anterior, donde se muestra el circuito para el accionamiento de un motor. Este motor se activa cuando el interruptor se cierra y permite el paso de corriente del riel del lado izquierdo al riel del lado derecho a través de él.

Acordarse que el riel izquierdo es el conductor con voltaje y el riel o barra derecha está a tierra. En la figura 22, se gráfica la representación del anterior diagrama en lenguaje de escalera.

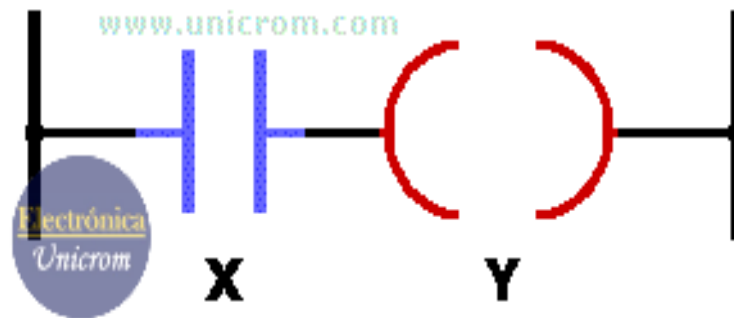


Figura 22: Representación gráfica del diagrama de escaleras.
Fuente: Electrónica Unicrom (2016).

- “X” representa el interruptor normalmente abierto y se representa con esa letra porque es una entrada. “Y” representa al motor que se desea activar y se representa con esa letra porque es una salida.
- Cuando se activa X, se completa el circuito entre el riel izquierdo y el riel derecho a través del motor (Y), que se pone en funcionamiento.
- Cuando se desactiva X, se abre el circuito entre el riel izquierdo y el riel derecho y el motor deja de funcionar.

2.3 Definición de términos básicos.

-Átomo: Es la unidad constituyente más pequeña de la materia que tiene las propiedades de un elemento químico. Cada sólido, líquido, gas y plasma se compone de átomos neutros o ionizados.

-Cadenas poliméricas: Es una técnica de polimerización donde moléculas de un monómero insaturado se adicionan al sitio activo de una cadena polimérica creciente uno a la vez.

-Craquear: Romper, por elevación de temperatura y a veces con ayuda de catalizadores, las moléculas de ciertos hidrocarburos con el fin de aumentar la proporción de los más útiles.

-Contracturas: Es la contracción continuada e involuntaria de un músculo y sus fibras, que provocan dolor y una alteración de su funcionamiento habitual.

-Efecto invernadero: Es un proceso en el que la radiación térmica emitida por la superficie planetaria es absorbida por los gases de efecto invernadero atmosféricos y es irradiada en todas las direcciones.

-Electrodo: Es un material conductor de electricidad empleado en la soldadura para cerrar un circuito eléctrico para calentar una pieza o el mismo electrodo, y fusionar los materiales a soldar.

-Espiral: Es una línea curva generada por un punto que se va alejando progresivamente del centro a la vez que gira alrededor de él

-Ionización: Es el fenómeno químico o físico mediante el cual se producen iones, estos son átomos o moléculas cargadas eléctricamente debido al exceso o falta de electrones respecto a un átomo o molécula neutra.

-Molécula: Es la partícula más pequeña que presenta todas las propiedades físicas y químicas de una sustancia, y se encuentra formada por dos o más átomos.

-Nitrocelulosas: Es un sólido parecido al algodón, o un líquido gelatinoso ligeramente amarillo o incoloro.

-Partícula: Es un concepto con varios usos. Por lo general se emplea para nombrar a una porción de dimensiones muy reducidas de materia

-Polisacáridos: Es un polímero que está compuesto por una extensa sucesión de monosacáridos, unidos entre sí a través de enlaces glucosídicos.

-Polución: Se trata de la contaminación ambiental que provocan ciertas sustancias y desechos. La polución, en este sentido, genera múltiples problemas para la naturaleza y para todos los seres vivos.

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

La metodología es un procedimiento general para lograr una manera precisa los objetivos de una investigación, se podría decir que constituye lo significativo de los hechos o fenómenos hacia los cuales está encaminado el interés del mismo. Para Balestrini (2012) el marco metodológico es:

“El conjunto de procedimientos lógicos, tecno-operacionales implícitos en todo proceso de investigación, con el objeto de ponerlos de manifiesto y sistematizarlos: a propósito de permitir descubrir y analizar los supuestos del estudio y de reconstruir los datos, a partir de los conceptos teóricos convencionalmente operacionalizados”. (p.125).

Es por ello, que en el presente capítulo se describirá la metodología utilizada en la investigación la cual se encuentra formada por los siguientes tópicos: tipo de investigación, diseño de la investigación, nivel de la investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y finalmente fases de la investigación.

3.1. Tipo de Investigación

Este trabajo se encuentra enmarcado en una investigación de tipo proyecto factible, ya que se trata de una propuesta de acción para resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha propuesta se acompañe de una investigación, que demuestre su factibilidad o posibilidad de realización” (Arias, 2016, p.134). Es un proyecto factible dado que es un modelo viable para solventar problemas y requerimientos de producción de la empresa REGOVEN en una realidad determinada de demanda. De allí, que la delimitación del planteamiento final sea única y exclusivamente dirigido a diseñar un sistema para la recolección, separación y almacenamiento de partículas de polietileno flotantes en el agua, a consecuencia de la elaboración de un diagnóstico de prioridades y funciones

de la misma, a fin de generar un nuevo modelo operativo en función de los aspectos demandados por la realidad abordada.

3.2. Nivel de la investigación

Así mismo, el estudio estará enmarcado dentro de un nivel descriptivo, según Arias (2016). La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. En este orden de ideas, la investigación se basa en describir la situación y las variables que afectan o que debe estudiarse en la empresa REGOVEN y de esta manera fijar los parámetros por los cuales se regirá la investigación.

3.3. Diseño de la investigación

En la perspectiva que aquí se adopta, es documental, motivado a que, está basada en el análisis e interpretación de fuentes documentales de diversos autores. “Se concreta exclusivamente en la recopilación de información en diversas fuentes. Indaga sobre un tema en documentos-escritos u orales- uno de, los ejemplos más típicos de esta investigación son las obras de historia” (Palella y Martins, 2012, p.90).

En concordancia con los objetivos propuestos, los datos necesarios para esta evaluación, serán recolectados de forma directa en base a las impresiones de los directivos y fundadores de esta empresa, por lo que enmarco un diseño de campo. El diseño es de campo, para Arias F., (2016) este consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad ocurren los hechos (datos primarios). Claro está, en una investigación de campo también se emplean datos secundarios, sobre todo los provenientes de fuentes bibliográficas, a partir de los cuales se elabora el marco teórico.

Es de campo porque los datos se recogerán en el sitio donde ocurre la problemática en estudio y a su vez se ejecuta un proceso riguroso y sistemático de recolección, tratamiento y análisis de datos obtenidos específicamente de la situación en las que se enderezan los chasis. Siendo los datos suministrados correspondiente al personal que labora en la institución. Es por eso, que esta investigación quiere indagar en la búsqueda de una solución efectiva que pueda ser aplicado a la empresa

REGOVEN, a través del diseño de un sistema para la recolección, separación y almacenamiento de partículas de polietileno flotantes en el agua. Según Vilchez N. (2007), en su publicación Estrategias Creativas en el Diseño Mecánico, ediciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, debe expandirse el proceso creativo a partir de ideas que consoliden una aproximación a la satisfacción de la necesidad planteada sin descartar ninguna de las alternativas propuestas para así generar una tormenta de ideas que permitan establecer el orden de prioridades e importancia y con esto garantizar una solución más óptima y acertada de solución para dicha necesidad.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

Según Arias (2016):

“La población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuáles serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio”. (p.81).

Tomando en cuenta lo antes mencionado se logra puntualizar que son elementos seleccionados con características comunes para lograr llegar a cabo la investigación que en este caso es en la empresa REGOVEN, específicamente en el área del lavado de los fragmentos de las gaveras.

3.4.2. Muestra

“La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” (Arias, 2016, p. 83). Tomando esto de referencia tenemos que la muestra es un grupo que será seleccionado en la zona de estudio del proyecto que representara a la población total.

Teniendo claro esto se puede decir que la muestra tomada en este caso será en el área del lavado de los fragmentos de las gaveras.

3.5 Técnica e instrumentos de recolección de datos.

Arias (2.016) afirma:

Una vez efectuada la operacionalización de las variables y definidos los indicadores, es hora de seleccionar las técnicas e instrumentos de recolección de datos pertinentes para verificar las hipótesis o responder a las interrogantes formuladas. Todo en correspondencia con el problema, los objetivos y el diseño de la investigación. (p.67).

En el desarrollo de la investigación realizada para este proyecto, se aplicaron las siguientes técnicas:

a) Observación del proceso de separación, recolección, y almacenamiento de partículas de polietileno flotantes en el agua, simultáneamente con la revisión bibliográfica, y consultas con el supervisor del proceso de molido de gaveras, con el técnico especialista de la planta, y con los empleados que laboran en la misma, para sustentar la información encontrada y conocer en profundidad dicho proceso.

b) Definición de las propiedades y características del polietileno (material del que están hechas las gaveras) a partir de fuentes secundarias.

c) Realización de ensayos experimentales para determinar la cantidad de material que va a ser manejado por el dispositivo a diseñar.

Una vez obtenidos los datos experimentales, tanto de fuentes primarias como de las secundarias, se emplearon las siguientes técnicas que permitieron procesar la información para obtener los resultados experimentales:

i. Tabulación de las propiedades y características físicas del polietileno (material usado en la fabricación de las gaveras).

ii. Análisis de los requerimientos para el diseño y la selección de los elementos mecánicos y/o eléctricos del dispositivo.

iii. Dibujo del diseño del dispositivo en AutoCAD.

iv. Caracterización técnica del dispositivo a diseñar.

v. Análisis de costo mediante la comparación de los flujos monetarios para verificar la factibilidad económica del proyecto.

3.6 Fases de la Investigación

En este capítulo se describirá el procedimiento ejecutado durante el desarrollo de la investigación la cual fue desplegada en cinco fases las cuales proporcionarán el cumplimiento a los objetivos específicos ya mencionados.

Fase I. Estudiar las condiciones actuales de funcionamiento del proceso de recolección, separación y almacenamiento de las partículas de polietileno.

Actualmente el proceso de recolección, separación y almacenamiento se realiza manualmente por un operador. Para lo cual se cuenta con una piscina donde se almacenan las partículas suspendidas en el agua, esperando que el operador recoja estas partículas con un utensilio rudimentario, sumergiéndolo en la piscina y levantándolo para así separar las partículas del agua, y colocarlas en un depósito hasta llenarlo por completo. Esto se realiza diariamente durante todo el turno de trabajo, disminuyendo o aumentando la concentración de partículas dependiendo de la cantidad de gaveras que se procesen.

Condiciones en las cuales trabaja el dispositivo. Se evaluarán las condiciones ambientales y físicas que inciden en la manera actual de realizar el proceso de recolección, y almacenamientos de las partículas de polietileno.

Capacidad de almacenamiento del dispositivo a diseñar. Se determinó el volumen de material que maneja el sistema diariamente, por medio de medidas experimentales realizadas en la empresa, con ayuda del personal que labora actualmente en esta área.

Fase II. Establecer las variables que pueden ser controladas y/o modificadas para realizar un adecuado sistema de separación, recolección y almacenamiento de las partículas.

Variables Controladas. Se investigaron las variables que tendrán que ser controladas por el sistema a diseñar, en el proceso de recolección y/o almacenamiento de las partículas de polietileno, para la solución de la problemática actual en la empresa REGOVEN.

Características de los materiales. Se identificaron las propiedades que deben tener los materiales para satisfacer las condiciones a las cuales estará sometido el sistema.

Fase III. Diseñar el sistema mecánico de separación, recolección y almacenamiento de las partículas de polietileno flotantes en el agua.

Generación de ideas. Como su nombre lo indica, en esta fase primero se generarán la mayor cantidad de posibles soluciones, apoyándose en métodos como: tormentas de ideas, para crear, seleccionar y comparar soluciones que remedien la situación problemática actual, permitiendo de manera objetiva elegir la solución más adecuada.

Toma de decisiones. Una vez planteadas las alternativas de solución se procederá a elegir la mejor opción, con el fin de desarrollarla, basándose en la comparación de las ventajas y desventajas que tiene cada solución, y la que genere la mayor cantidad de beneficios será la mejor decisión, además se realizará un análisis con la ayuda de criterios y restricciones, para hacer una selección acertada.

Capacidad de los medios de fabricación. En este punto se busca tener una idea detallada de la ayuda tecnológica y científica disponible para la realización del dispositivo, a través de la investigación exhaustiva en catálogos de productos que cumplan con los requerimientos en la fabricación, o por medio de visitas a empresas que cuenten con sistemas automatizados para la recolección y/o almacenamientos de materiales.

Fase IV. Diseñar un sistema de control para el proceso de separación, recolección y almacenamiento de las partículas de polietileno.

Aquí se detallan las especificaciones técnicas de cada componente y/o elemento de la alternativa seleccionada, y además se presentaran los planos de cada componente del sistema a diseñar.

Fase V. Realizar un estudio de factibilidad económica y técnica.

Este se refiere a la comparación de algunos factores económicos importantes, es decir, evaluar si la construcción del mismo está justificada por la ganancia que generará este.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En los capítulos anteriores se establecieron los parámetros técnicos, teóricos y metodológicos que dan sustento a la realización del proyecto, no obstante en las siguientes páginas se presentan los resultados obtenidos durante la ejecución de las fases enunciadas anteriormente.

4.1 Estudiar las condiciones actuales de funcionamiento del proceso de recolección, separación y almacenamiento de las partículas de polietileno.

Actualmente el proceso de recolección, separación y almacenamiento se realiza manualmente por un operador. Para lo cual se cuenta con una piscina donde se almacenan las partículas suspendidas en el agua, esperando que el operador recoja estas partículas con un utensilio rudimentario, sumergiéndolo en la piscina y levantándolo para así separar las partículas del agua, y colocarlas en un depósito hasta llenarlo por completo. Esto se realiza diariamente durante todo el turno de trabajo, disminuyendo o aumentando la concentración de partículas dependiendo de la cantidad de gaveras que se procesen. Estas gaveras son procesadas en tres (3) etapas; la primera consiste en cortarlas en trozos de tamaño moderado con la finalidad de no afectar las cuchillas delicadas de la maquinaria de la última fase, para luego pasar a la segunda etapa, en la cual estos trozos son limpiados en una máquina que ejerce la función de un lavadora industrial, y por medio de una espiral de alabes presente en el interior de la lavadora, son transportados a la última etapa en donde se procede a moler en su totalidad el material. Durante el proceso de limpieza de los fragmentos (segunda etapa), provenientes del corte de las gaveras, el cual se realiza en una lavadora industrial, que cuenta con un depósito con agua situado en la parte inferior de la misma, que sirve para almacenar partículas resultantes del lavado, y por medio de un sistema de bombeo el agua circula nuevamente hacia la lavadora para ser reutilizada en la limpieza de estos trozos, siguiendo un ciclo continuo hasta terminar

la jornada de trabajo. El material suspendido en el depósito, es removido de forma manual con un utensilio rudimentario (pala con pequeños agujeros en su interior, ver figura 1) por un determinado personal de la empresa, el cual permanece en su jornada de trabajo realizando grandes esfuerzos físicos para transportar continuamente los residuos hacia cestos (ver figuras 2 y 3), que sirven de almacenamiento del material, donde se espera su secado al aire libre durante el tiempo que se requiera, ya que este material puede utilizarse como materia prima recuperada, puesto que la materia prima virgen es muy costosa, o puede ser almacenada para luego ser vendida y generarle de esta manera ingresos adicionales a la empresa.

4.1.1 Volumen de partículas extraída del depósito.

En los depósitos de almacenamiento, se encuentran bolsas, las cuales se llenan en su totalidad en tres o cuatro días dependiendo de la producción, luego de esto son vendidas a otras empresas como materia prima. Con la ayuda de una báscula se documentó la masa de las partículas de polietileno que extraen diariamente del depósito, un determinado personal de la empresa, esta se reflejó en la Tabla 1, con la finalidad de conocer el volumen máximo que va a manejar el dispositivo diseñado, despejándolo de la ecuación de densidad que es conocida y se encuentra tabulada en la Figura 9 y es igual a 959,50 Kg/m³

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

Donde:

^{3]}

m: Masa de las partículas [Kg]

V: Volumen [m³]

Tabla 1: Masa total de las partículas extraídas del depósito diariamente.

Fecha	Masa (g)	Volumen (m ³)
11/05/2020	194000	0,2022
13/05/2020	208750	0,2176
14/05/2020	202500	0,2110
18/05/2020	230000	0,2397
20/05/2020	250000	0,2606
21/05/2020	110000	0,1146
25/05/2020	115000	0,1199
27/05/2020	290000	0,3022
28/05/2020	294000	0,3064
01/06/2020	100000	0,1042
02/06/2020	134000	0,1397
03/06/2020	133330	0,1390
04/06/2020	195500	0,2038
05/06/2020	365000	0,3804

Fuente: REGOVEN (2.020)

4.2 Establecer las variables que pueden ser controladas y/o modificadas para realizar un adecuado sistema de separación, recolección y almacenamiento de las partículas.

VARIABLES CONTROLADAS. Se investigaron las variables que pueden ser controladas por el sistema a diseñar, en el proceso de recolección y/o almacenamiento de las partículas de polietileno, para la solución de la problemática actual en la empresa REGOVEN.

Las variables controladas y/o modificadas en el sistema, fueron las siguientes:

– **Posición del dispositivo.**

La posición fue modificada, ya que se cuenta con el espacio y los medios para abarcar todo el plano del depósito, y realizar una recolección eficiente.

– **Velocidad de funcionamiento**

Otra variable que se modificó fue la velocidad de funcionamiento, la cual con diversos elementos permitiría seleccionar la rapidez de recolección, separación y/o almacenamiento que se considere apropiada.

4.3 Diseñar el sistema mecánico de separación, recolección y almacenamiento de las partículas de polietileno flotantes en el agua.

Para la realización del proceso de recolección, separación y almacenamiento de partículas de polietileno, se plantearon 6 (seis) posibles soluciones, que podrían cumplir con todos los requisitos planteados en el presente trabajo, los cuales se describen a continuación:

– **Posible solución número uno (PS1)**

Sistema automático (Visualizar en la figura 23.), constituido por una palanca (2) que por medio de una ranura, situada en una estructura metálica (3), se desliza linealmente de arriba hacia abajo y viceversa (5), para así lograr sumergir en el depósito de partículas, una pala (1), que ejerce la función de colador, con la finalidad de separar las mismas del agua, y transportarlas a los cestos (4) (utilizados actualmente en la empresa) haciendo girar la estructura un ángulo de 180°, para finalmente girar la bandeja 180° dejando caer las partículas en los mismos, para lograr su almacenamiento, empleándose elementos neumáticos para realizar tales fines.

- **Posible solución número dos (PS2)**

Dispositivo automático (Ver en la figura 24.) que consta de una tubería (3) que dirige el agua con las partículas, desde el depósito de partículas de polietileno (2) hacia un cono invertido hueco (3), el cual, posee en su interior una rejilla que permite el paso del agua hacia un ducto (1), que la devuelve nuevamente al depósito por medio de un sistema de bombeo, dejando así, solo las partículas en el cono. Luego haciendo girar el mismo a unas determinadas revoluciones, las mismas ascienden hacia una tubería para su posterior almacenamiento.

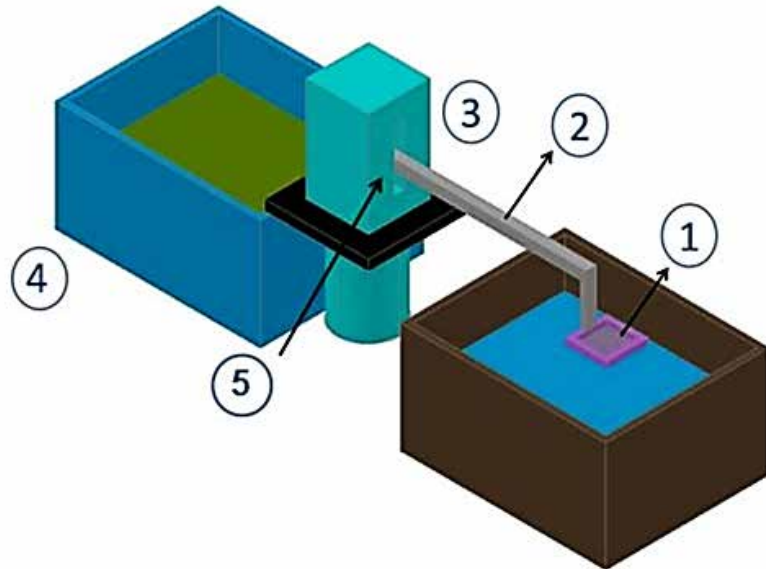


Figura 23: Posible solución número uno (PS1)
Fuente: Propia (2.020)

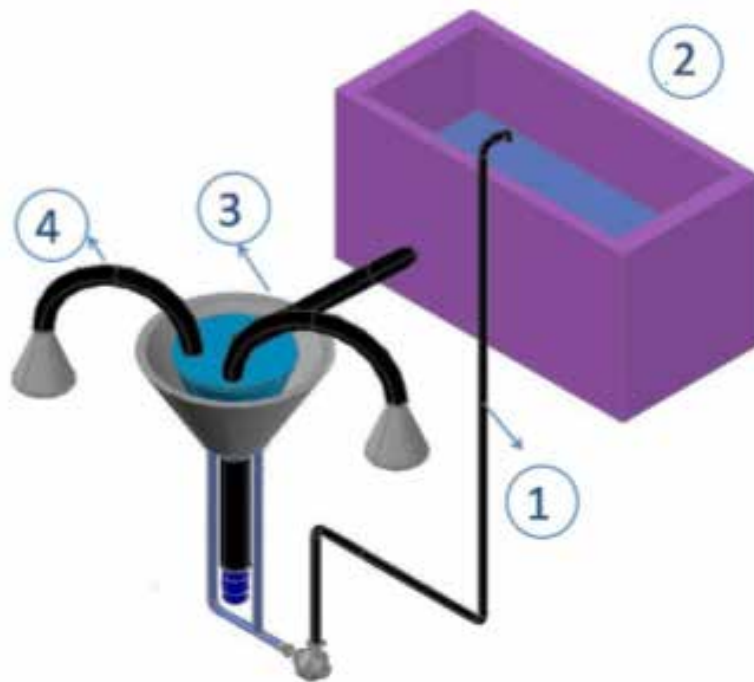


Figura 24: Posible solución número dos (PS2)
Fuente: Propia (2.020)

- **Posible solución número tres (PS3).**

La tercera alternativa es parecida a la primera solución descrita (Véase figura 25), diferenciándola, el hecho de que, en vez de hacer girar la estructura 180°, el mismo se desplazará por un lado del depósito, con la ayuda de un riel (1) localizado en el piso, para transportar las partículas hacia los cestos de almacenamiento, los cuales se encuentran adyacentes al depósito, para finalmente hacer girar la bandeja un ángulo de 180° dejando caer las partículas en los mismos.

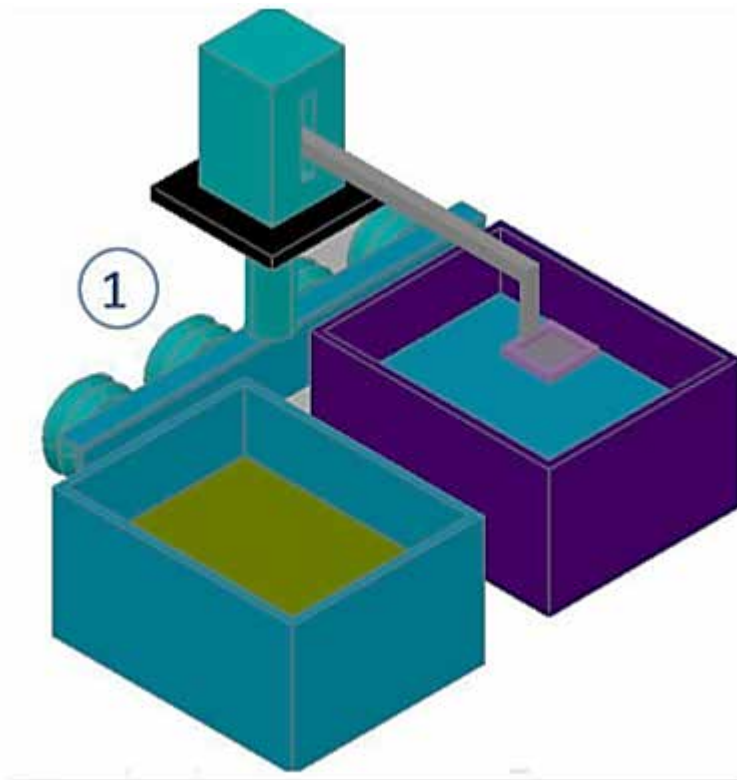


Figura 25: Posible solución número tres (PS3)

Fuente: Propia (2.020)

- **Posible Solución número cuatro (PS4).**

Sistema automático (Véase figura 26) que está formado por un sistema de bombeo (2), que se conecta a una tubería (1) que dirige el fluido hacia un filtro (3) (situado en una plataforma a una altura superior a la que posee el depósito, separando el agua de

las partículas de polietileno, y devolviéndola nuevamente al depósito (4), por efecto de la gravedad. Posteriormente el sistema de almacenamiento del filtro será vaciado y remplazado por un determinado personal de la empresa cuando sea necesario.

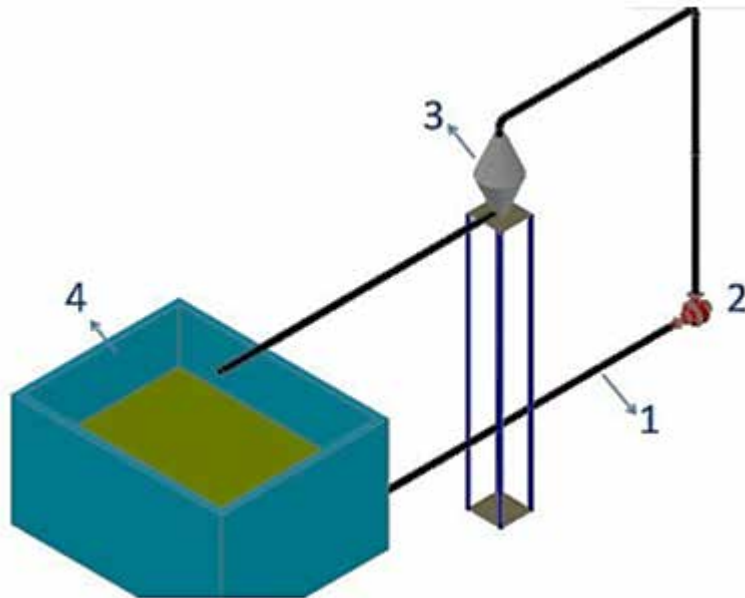


Figura 26: Posible solución número 4 (PS4)
Fuente: Propia (2.020)

- **Posible Solución número cinco (PS5).**

Sistema automático (Véase figura 27), formado por una palanca (3), que tiene la facilidad de desplazarse verticalmente (con ayuda de una ranura en la carcasa del dispositivo, estructura parecida a la primera posible solución) y de girar 360° alrededor del eje de la misma. Posee en su extremo una rejilla de recolección en forma de “C” (2), con la finalidad de que ésta recolecte partículas de polietileno por los lados del depósito (1), con la ayuda del desplazamiento del dispositivo (4) a lo largo de un riel situado en la parte inferior del mismo, conectándolo con el piso adyacente al depósito, y al llegar al final de una de las aristas de éste, se conectará con una plataforma que ayudará al sistema, a trabajar al otro lado del depósito. Ésta secuencia de actividades se repetirá por tres lados del dispositivo y luego volverá a su

punto inicial por el lado restante del mismo, lo que trae como beneficio abarcar un área de recolección mayor.

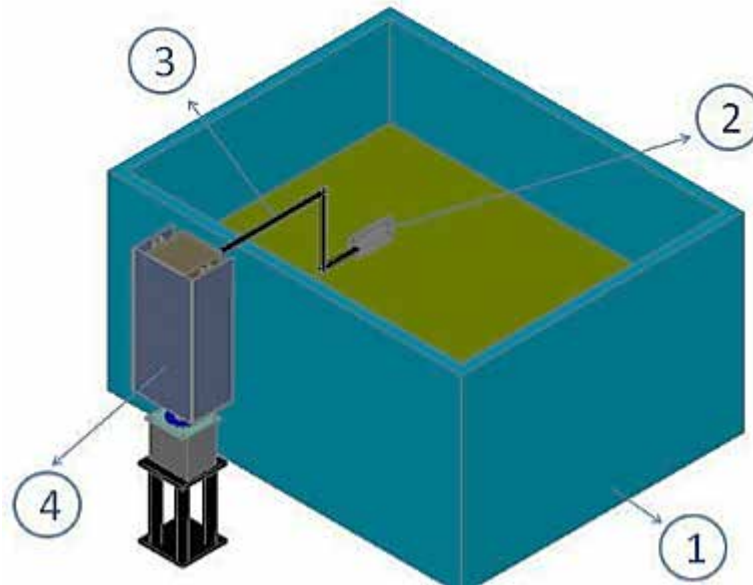


Figura 27: Posible solución número 5 (PS5)
Fuente: Propia (2.020)

- **Posible Solución número seis (PS6).**

Sistema semi-automático (Véase figura 28), formado por una carcasa (1), la cual contiene en su interior una bomba que succionará el agua con las partículas, y pasará a una tubería con una tela-rejilla, para lograr separarlas y al mismo tiempo regresar el agua al depósito (2). Este dispositivo flotará en la piscina, haciendo un recorrido alrededor de la misma, y la bolsa de almacenamiento de las partículas, que se encuentra dentro del mismo, será removida por un determinado personal de la empresa.

4.3.1 Selección de la mejor solución.

El proceso de la selección de la mejor solución se realizará con la ayuda de la identificación de varias restricciones y criterios, que representarán las referencias, con

la finalidad de establecer comparaciones entre las soluciones, y lograr así el descarte de las que resulten menos apropiadas para cumplir con los objetivos deseados

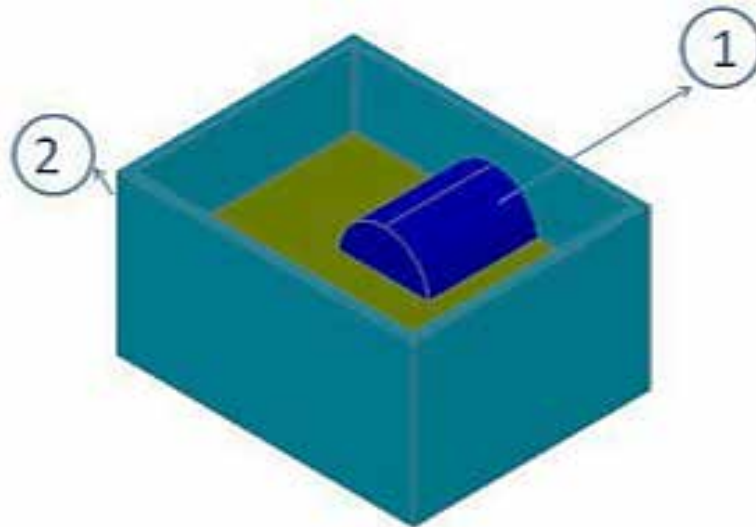


Figura 28: Posible solución número 6 (PS6)
Fuente: Propia (2.020)

4.3.1.1 Restricciones.

1. R1 El diseño está restringido a un espacio reducido debido a la distribución de la planta, el cual será de 1900 mm de largo y 2230 mm de ancho.
2. R2 El sistema a diseñar no debe modificar las características dimensionales del depósito de partículas.
3. R3 Tiene que disminuir el esfuerzo del empleado en el puesto de trabajo.
4. R4 La capacidad del dispositivo debe ser tal que maneje 27 kilos/día de material de polietileno aproximadamente.

4.3.1.2 Criterios.

1. C1: Menor costo de fabricación.
2. C2: Mayor facilidad para ser operado por cualquier personal de la empresa.
3. C3: Mayor seguridad para el usuario.
4. C4: Menor costo de mantenimiento.
5. C5: Mayor confiabilidad en cuanto a funcionamiento

4.3.1.3 Aplicación de restricciones a posibles soluciones

En el cuadro 1 se muestran las posibles soluciones que cumplen con las restricciones identificadas anteriormente.

Cuadro 1: Aplicación de las restricciones a las posibles soluciones planteadas

	PS1	PS2	PS3	PS4	PS5	PS6
R1	Si	Si	Si	Si	Si	Si
R2	Si	Si	Si	Si	Si	Si
R3	Si	Si	Si	Si	Si	Si
R4	Si	Si	Si	Si	Si	Si
R5	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Fuente: Propia (2.020)

Como se desprende de la Tabla 2, todas las posibles soluciones cumplen con las restricciones, por lo tanto se convierten en soluciones, representadas por la letra S, tal y como se cita a continuación:

La PS1 se convierte en la S1

La PS2 se convierte en la S2

La PS3 se convierte en la S3

La PS4 se convierte en la S4

La PS5 se convierte en la S5

La PS6 se convierte en la S6

4.3.1.4 Ponderación de criterios.

Para establecer la prioridad de los criterios al momento de realizar la selección de la mejor solución, los mismos se compararon entre sí, en la Tabla 2, y se le otorgó un valor numérico a cada uno, que representa el nivel de importancia, siendo el de mayor valor el más relevante.

4.3.1.5 Ponderación de soluciones respecto al criterio C1.

En la Tabla 3, se estableció la jerarquía de las soluciones, verificando las que cumplen con el criterio uno, estableciendo comparaciones entre ellas, para asignarle

un número de acuerdo a la cantidad de veces que se repite una misma solución, obteniendo el mayor valor, la que más aparezca en la misma.

Tabla 2: Ponderación de criterios

	C1	C2	C3	C4	C5	Número de veces	PC _x
C1						4	PC ₁ =5
C2	C1					0	PC ₂ =1
C3	C1	C3				3	PC ₃ =4
C4	C1	C4	C3			1	PC ₄ =2
C5	C1	C5	C3	C5		2	PC ₅ =3
Orden de importancia	1ero.	5to.	2do.	4to.	3ero.		

Fuente: Propia (2.020)

Tabla 3: Ponderación de soluciones con respecto al criterio C1.

C1	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Número de veces	P _{X1} = N
S1							2	P ₁₁ = 3
S2	S1						0	P ₂₁ = 1
S3	S3	S3					3	P ₃₁ = 4
S4	S4	S4	S4				4	P ₄₁ = 5
S5	S1	S5	S3	S4			1	P ₅₁ = 2
S6	S6	S6	S6	S6	S6		5	P ₆₁ = 6
Orden de importancia	4to.	6to.	3ero.	2do.	5to.	1ero.		

Fuente: Propia (2.020)

De la misma forma que se construye la Tabla 3, donde se comparan las distintas soluciones respecto al criterio 1, se comparan las soluciones respecto a los restantes criterios y se construyen las siguientes 4 Tablas.

Tabla 4: Ponderación de soluciones con respecto al criterio C2.

C2	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Número de veces	P_{X1} = N
S1							2	P ₁₂ = 3
S2	S1						1	P ₂₂ = 2
S3	S3	S3					4	P ₃₂ = 5
S4	S4	S4	S4				5	P ₄₂ = 6
S5	S5	S5	S3	S4			3	P ₅₂ = 4
S6	S1	S2	S3	S4	S5		0	P ₆₂ = 1
Orden de importancia	4to.	5to.	2do.	1ero.	3ero.	6to.		

Fuente: Propia (2.020)

Tabla 5: Ponderación de soluciones con respecto al criterio C3.

C3	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Número de veces	P_{X1} = N
S1							2	P ₁₃ = 3
S2	S2						4	P ₂₃ = 5
S3	S3	S2					3	P ₃₃ = 4
S4	S1	S2	S3				1	P ₄₃ = 2
S5	S5	S5	S5	S5			5	P ₅₃ = 6
S6	S1	S2	S3	S4	S5		0	P ₆₃ = 1
Orden de importancia	6to.	4to.	5to.	1ero.	2do.	3ero.		

Fuente: Propia (2.020)

Tabla 6: Ponderación de soluciones con respecto al criterio C4.

C4	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Número de veces	P_{X1} = N
S1							2	P ₁₄ = 3
S2	S1						1	P ₂₄ = 2
S3	S3	S3					3	P ₃₄ = 4
S4	S4	S4	S4				5	P ₄₄ = 6
S5	S5	S5	S5	S4			4	P ₅₄ = 5
S6	S1	S2	S3	S4	S4		0	P ₆₄ = 1
Orden de importancia	4to.	5to.	3ero.	1ero.	2do.	6to.		

Fuente: Propia (2.020)

Tabla 7: Ponderación de soluciones con respecto al criterio C5

C5	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Número de veces	P_{x1} = N
S1							2	P ₁₅ = 3
S2	S1						1	P ₂₅ = 2
S3	S3	S3					4	P ₃₅ = 5
S4	S4	S4	S3				3	P ₄₅ = 4
S5	S5	S5	S5	S5			5	P ₅₅ = 6
S6	S1	S2	S3	S4	S5		0	P ₆₅ = 1
Orden de importancia	4to.	5to.	2do.	3ero.	1ero.	6to.		

Fuente: Propia (2.020)

4.3.1.6 Ponderación Final

En las Tabla 8 y 9 se representan las multiplicaciones de las ponderaciones de cada uno de los criterios, con las de las soluciones, siendo la mejor solución, la que presente el mayor valor en la suma de estos resultados.

Tabla 8: Ponderación final para establecer la mejor solución

PC_x	P1_x	PC_x P1_x	P2_x	PC_x P2_x	P3_x	PC_x P3_x
PC₁ = 5	P ₁₁ = 3	15	P ₂₁ = 1	5	P ₃₁ = 4	20
PC₂ = 1	P ₁₂ = 3	3	P ₂₂ = 2	2	P ₃₂ = 5	5
PC₃ = 4	P ₁₃ = 3	12	P ₂₃ = 5	20	P ₃₃ = 4	16
PC₄ = 2	P ₁₄ = 3	6	P ₂₄ = 2	4	P ₃₄ = 4	8
PC₅ = 3	P ₁₅ = 3	9	P ₂₅ = 2	6	P ₃₅ = 5	15
Sumatoria		45		37		64

Fuente: Propia (2.020)

Tabla 9: Ponderación final para establecer la mejor solución (Cont. Tabla 8)

PC _x	P4 _x	PC _x P4 _x	P5 _x	PC _x P5 _x	P6 _x	PC _x P6 _x
PC ₁ = 5	P4 ₁ = 5	25	P5 ₁ = 2	10	P6 ₁ = 6	30
PC ₂ = 1	P4 ₂ = 6	6	P5 ₂ = 4	4	P6 ₂ = 1	1
PC ₃ = 4	P4 ₃ = 2	8	P5 ₃ = 6	24	P6 ₃ = 1	4
PC ₄ = 2	P4 ₄ = 6	12	P5 ₄ = 5	10	P6 ₄ = 1	2
PC ₅ = 3	P4 ₅ = 4	12	P5 ₅ = 6	18	P6 ₅ = 1	3
Sumatoria		63		66		40

Fuente: Propia (2.020)

Comparando los resultados de las Tablas 8 y 9, la solución que resulta adecuada para solventar el problema de la recolección, separación y almacenamiento de partículas de polietileno presente actualmente en la empresa, es la número 5, con 66.

4.3.2 Diseño de la mejor solución

4.3.2.1 Descripción de la solución seleccionada

La solución seleccionada (Ver figura 29) consta de un dispositivo (4) que se desplaza alrededor del depósito, recolectando partículas, con la ayuda de un brazo, las cuales se acumulan en el borde del depósito, ya que en el centro se encuentra una máquina centrífuga, que posee en su extremo una cesta que tiene forma curva por conveniencia, y al final de cada lado del mismo, almacena éstas en una cesta diseñada para tal fin. Éste se traslada con la ayuda de cuatros rieles (2) colocados en el piso adyacente al tanque, tres diseñados para la recolección, y uno únicamente para que el mismo regrese a su posición inicial. Al final de estos se encuentran cestos de almacenamientos de partículas (3). El equipo tiene en su interior tres actuadores, dos giratorios que le ayudaran a realizar las rotaciones del brazo recolector y uno lineal, para sacarlo e introducirlo de nuevo en el depósito de partículas. Además cuenta con un motor paso a paso, coloca el dispositivo en la posición adecuada para comenzar un nuevo recorrido en cada lado.

Para realizar el cruce en cada lado del depósito, el sistema posee unas plataformas (1), que tienen en su parte superior rieles, para que el dispositivo se conecte con éstas, y en la parte inferior, ruedas para desplazarse por carriles localizados debajo de las mismas y adyacentes también a éste

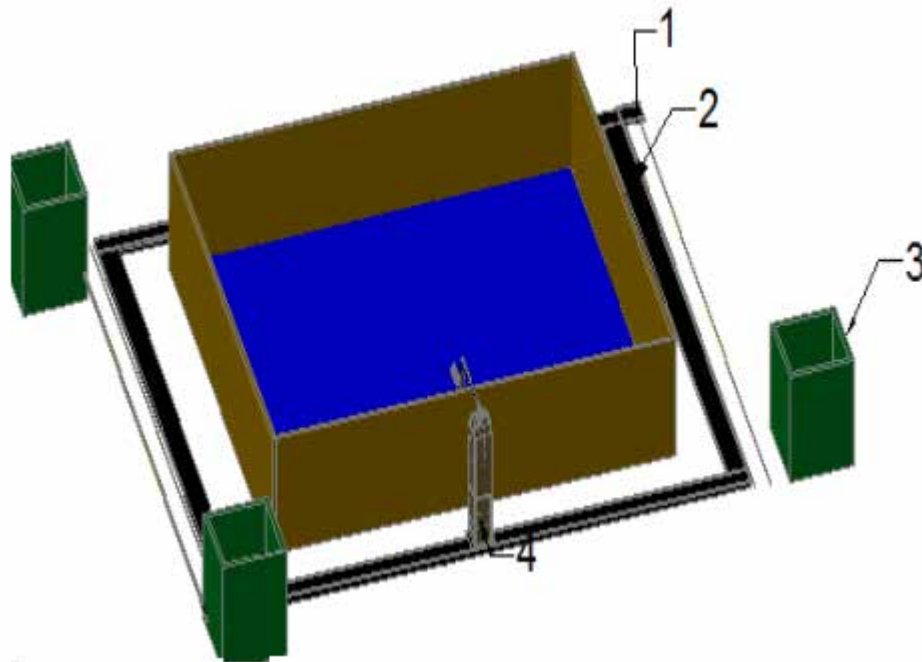


Figura 29: Sistema seleccionado como la mejor solución
Fuente: Propia (2.020)

4.3.2.2 Selección del material del brazo de recolección del dispositivo.

El brazo de recolección de partículas de polietileno, se estableció de acero inoxidable, puesto que el dispositivo va a estar en contacto continuo con el fluido del depósito, y ya que el material es resistente a la corrosión debido al fenómeno de la pasivación, resulta ser el apropiado para el diseño. Los elementos de la aleación presentes en los aceros inoxidables reaccionan muy fácilmente con el medio ambiente y uno de ellos en particular, el cromo, ayuda a formar una película fina y adherente que protege el material contra ataques corrosivos. La selección correcta del tipo de

acero inoxidable y de su acabado superficial es muy importante para garantizar un largo ciclo de vida útil al material. Por lo que se decidió trabajar con acero inoxidable 304, porque es adecuado para ser usado con soldaduras y lo más importante, se consigue fácilmente en el país.

4.3.2.3. Selección de la sección transversal de la palanca.

La sección transversal apropiada para el sistema es la circular, ya que tanto la cesta como el brazo de la misma, están sometidos a fuerzas radiales de diferentes valores. Además, las tuberías circulares son las más usadas y fáciles de conseguir.

4.3.2.4. Dimensiones de la cesta de recolección del sistema seleccionado.

Con las medidas que posee actualmente la pala de recolección utilizada en la empresa, se calculan las dimensiones de la cesta que tendrá el dispositivo. Las dimensiones de ésta y las del depósito de partículas se pueden apreciar en la figura 30.

Asumiendo que el volumen a sacar del depósito con la pala de recolección actual, será el volumen máximo a extraer del mismo con el nuevo diseño cada vez que se realice el proceso de recolección, se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Volumen}_{\text{maximo a sacar}} &= \text{Volumen}_{\text{actual de la pala}} \\ \text{Volumen}_{\text{maximo a sacar}} &= (25)(29)(2) = 1.450 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

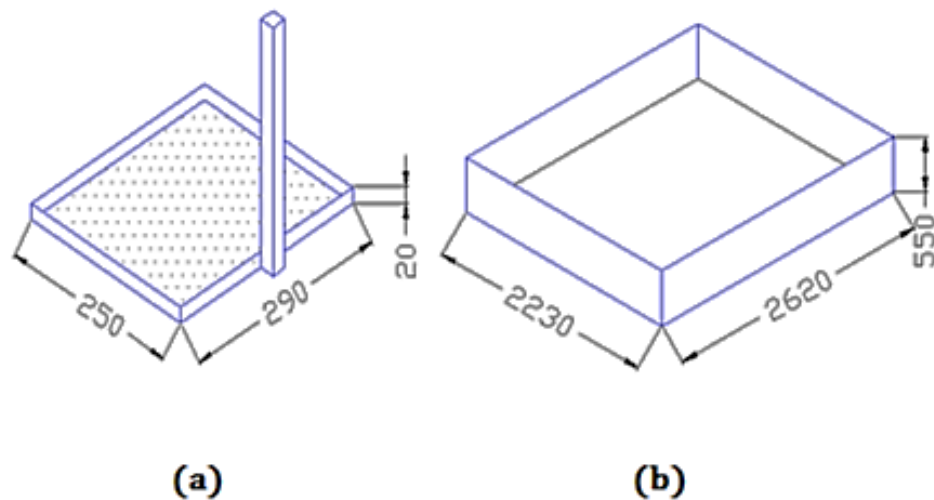


Figura 30: (a) Pala de recolección utilizada actualmente por la empresa REGOVEN para la recolección de partículas de polietileno y (b) Depósito de partículas de polietileno. Dimensiones en mm.

Fuente: Propia (2.020)

La densidad del producto que se está manipulando es, según Brydson J. (2.000) igual a $\rho = 0,9595 \text{ g/cm}^3$, luego la masa es igual a:

$$m = \rho \text{ Volumen} = (0,9595) (1.450)$$

$$m = 1.391,28 \text{ g} \quad 1,4 \text{ kg}$$

La nueva geometría de la cesta es similar a la mitad de un cilindro, porque de ésta manera se garantiza que al momento de la recolección, no se desborde el agua con las partículas, facilitando la extracción de las mismas en comparación con el sistema actual. Si se considera la geometría de la cesta como la mitad de un cilindro, se considera la forma de este como se puede ver en la figura 31.

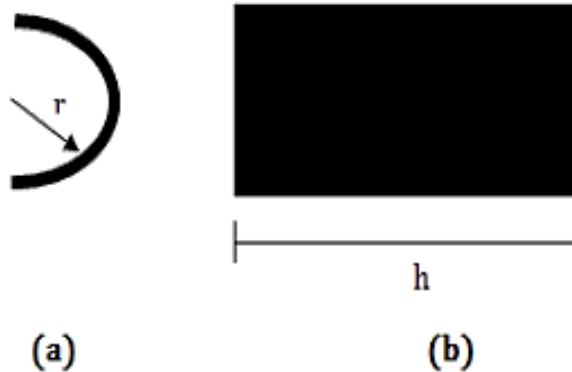


Figura 31: (a) Vista frontal de la cesta de recolección.
 (b) Vista lateral de la cesta de recolección
Fuente: Propia (2.020)

Considerando la geometría de la figura 31, el volumen es igual a:

$$V = \frac{1}{2}\pi r^2 h$$

Donde:

V= Volumen ocupado [m³]

r = Radio del cilindro [m]

h = Altura del cilindro [m]

Conociendo la altura del cilindro, la cual será considerada como el valor más largo que tiene la pala de recolección actual (Ver figura 31-a) se tiene:

$$1.450 = \frac{1}{2}\pi r^2 (29) \quad r^2 = 31,83 \quad r = 5,64 \quad 6 \text{ cm}$$

Seguidamente se seleccionó del catálogo (Anexo A- Figura 6) una lámina de acero inoxidable 304 de 3 mm de espesor, para la construcción de la cesta de recolección, ya que no se desea adicionarle peso innecesario al dispositivo. La cesta posee unas tapas a los lados de acero inoxidable, con un espesor de 3mm, para que no genere peso innecesario en el sistema.

4.3.2.5 Fabricación de la cesta de recolección.

Los orificios se realizaron con un taladro, con un diámetro de $D = 2 \text{ mm}$ puesto que es el que posee la cesta actual en la empresa, con una separación entre ellos de 3,05 mm, que representa el espesor de la lámina, como se puede apreciar en la figura 32. La longitud de desarrollo a , el largo o perímetro de la cesta P y el número de agujeros NH se calcularon con las ecuaciones que a continuación se plantean:

$$P = \pi r \quad \text{Ec. 26}$$

$$a = 2B + NH D + (NH - 1) C \quad \text{Ec.27}$$

$$B = 1,5 e \quad \text{Ec. 28}$$

$$C = e \quad \text{Ec. 29}$$

Donde:

a: Longitud de desarrollo [mm]

B: Distancia entre el extremo de la longitud de desarrollo y el orificio [mm]

C: Distancia de separación entre los orificios [mm]

NH: Número de agujeros

D: Diámetro de los agujeros [mm]

P: Perímetro [mm]

r: radio de la circunferencia [mm]

e: Espesor de la tubería [mm]

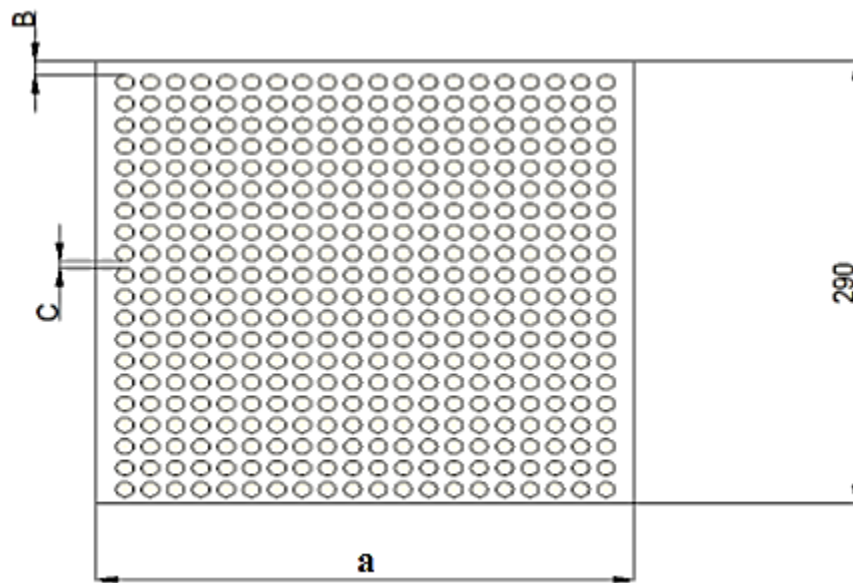


Figura 32: Esquema de la longitud de desarrollo de la cesta
Fuente: Propia (2.020)

- Lado 1, $a = 29 \text{ cm}$

Despejando el número de agujeros de la Ec. 27 y calculando la separación B con la Ec. 28, se tiene:

$$B = 1,5(3,95) = 4,575 \text{ mm}$$

$$NH_1 = \frac{290 - 2(4,575) + 3,05}{3,05 + 2} = 56,22 \quad 57 \text{ agujeros.}$$

- Lado 2.

La distancia en este lado viene dado por el perímetro de la tubería, luego $a = P$ y empleando la Ec. 26

$$a = P = \pi(57,17)$$

$$a = 179,54 \text{ mm}$$

$$NH_2 = \frac{179,54 - 2(4,575) + 3,05}{3,05 + 2} = 34,34 \quad 35 \text{ agujeros.}$$

La cantidad total de orificios de la tubería será la multiplicación de los dos resultados anteriores, de la siguiente manera:

$$NH_{total} = NH_1 \cdot NH_2 \quad \text{Ec. 30}$$

Donde:

NH_{total} : Número total de orificios en la tubería

NH_1 : Número de orificios en la lado 1

NH_2 : Número de orificios en la lado 2.

Sustituyendo NH_1 y NH_2 en la Ec. 30 se tiene el total de agujeros u orificios en la tubería de la cesta.

$$NH_{total} = 35(57) = 1.995 \text{ orificios.}$$

4.3.2.6 Cálculo de la fuerza que actúa sobre la cesta en contacto con el agua

La cesta está expuesta al fluido por ambas caras de la misma, por lo que se debe calcular tanto las fuerzas (por efecto del agua) que actúan sobre ella, tanto interna como externamente debido a la columna de fluido en contacto con ambos lados. El líquido en el cual estará sumergida la cesta es agua, cuyo peso específico es $\gamma = 9,81 \text{ kN/m}^3$, el radio de la cesta es de $r = 5,71 \text{ cm}$, que para efecto de cálculos de la fuerza es el ancho de la cesta es $W = 29 \text{ cm}$.

· Cálculo de las fuerzas internas de la cesta

Las fuerzas internas de la cesta se deducen con el cuadrante que se forma por la acumulación de fluido en el interior de la misma como se observa en la figura 33. Éstas se encuentran actuando en el centroide del cuadrante, con un sentido hacia abajo (fuerza vertical) y hacia la derecha (fuerza horizontal).

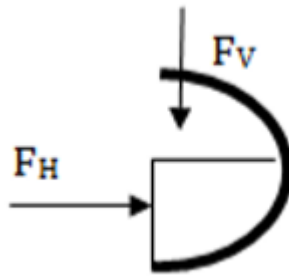


Figura 33: Diagrama de la posición de las fuerzas ejercidas por el agua sobre la sección de la cesta sumergida en el agua.

Fuente: Propia (2.020)

El área sumergida de la cesta, AS , va a ser la mitad del área de un círculo, por lo tanto la ecuación queda de la siguiente forma:

$$AS = \frac{1}{4}\pi r^2 = \frac{1}{4}\pi(0,0571)^2$$

$$AS = 2,5607 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Y el volumen sumergido es:

$$VS = AS \cdot W = 2,5607 \times 10^{-3} (0,29)$$

$$VS = 7,4261 \times 10^{-4} \text{ m}^3.$$

Finalmente el peso de la masa de agua donde se encuentra sumergida la cesta es:

$$P = \gamma \cdot VS = 9,81 \text{ kN/m}^3 \cdot 7,4261 \times 10^{-4} \text{ m}^3.$$

$$P = 7,29 \times 10^{-3} \text{ kN}.$$

La fuerza vertical interna que ejerce el agua sobre la cesta, que se encuentra actuando hacia abajo y a través del centroide del volumen, resulta ser:

$$F_{Vi} = P = 7,2850 \times 10^{-3} \text{ kN}$$

Y la fuerza horizontal se especifica a continuación:

$$F_H = \gamma d_c A \quad \text{Ec. 31}$$

Donde:

F_H = Fuerza horizontal ejercida por el fluido sobre la superficie sumergida [N]

3]

A = Área de la placa sumergida [m²]

d_c = Distancia de la superficie libre de líquido al centroide de la figura [m]

La figura que se forma al sumergir la mitad de la cesta, es un cuadrante, y la distancia al centroide es la siguiente:

$$d_c = 0,424 r$$

Entonces la fuerza queda de la siguiente manera:

$$F_{Hi} = (9,81)(0,424)(0,0543)(0,0543)(0,29) = 3,56 \text{ N}$$

· **Cálculo de las fuerzas externas de la cesta**

Las fuerzas externas se calculan con el mismo procedimiento usado para la resolución de las internas, pero con otra área de contacto, generando otro punto de centroide distinto. Ver figura 34.

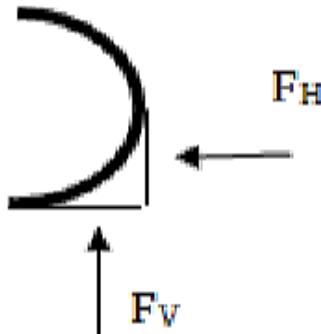


Figura 34: Diagrama de la posición de las fuerzas ejercidas por el agua sobre la sección de la cesta sumergida en el agua.

Fuente: Propia (2.020)

Para el cálculo de estas fuerzas es necesario calcular de nuevo el área sumergida AS y el volumen sumergido VS , debido a que existe otra geometría de contacto

$$AS = \frac{1}{3}a^2 \quad \text{y} \quad VS = AS \cdot W$$

$$AS = \frac{1}{3}(5,71)(5,71) = 10,87 \text{ cm}^2 = 1,087 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$VS = (1,087 \times 10^{-3})(0,29) = 3,1523 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$Peso = \gamma \cdot VS = (9,81 \text{ kN/m}^3)(3,1523 \times 10^{-4} \text{ m}^3)$$

$$Peso = 3,09 \times 10^{-3} \text{ kN.}$$

La fuerza vertical externa que ejerce el agua sobre la cesta, que se encuentra actuando hacia arriba y a través del centroide del volumen, resulta ser igual al peso en magnitud pero sentido contrario:

$$F_{Ve} = 3,09 \times 10^{-3} \text{ kN.}$$

Y la fuerza horizontal se especifica a continuación:

$$F_H = \gamma \cdot d_c \cdot A$$

Donde:

F_H = Fuerza horizontal ejercida por el fluido sobre la superficie sumergida
[N]

3]

A = Área proyectada de la placa sumergida [m²]

d_c = Distancia de la superficie libre de líquido al centroide de la figura [m]

Ya que para la fuerza resulta necesario calcular el centroide de la figura 34, para colocar allí la fuerza resultante, la distancia vertical $\bar{y} = d_c$ y éste se presenta a continuación:

$$\bar{y} = d_c = \frac{3a}{4} = \frac{3(0,0571)}{4} = 0,0428 \text{ m}$$

Sustituyendo valores, la fuerza horizontal externa del agua sobre la cesta es:

$$F_H = (9,81)(0,0571)(0,0428)(0,29) = 6,95 \text{ N}$$

Realizando las sumas algebraicas de las fuerzas se obtiene que las fuerzas totales que actúan sobre la placa sean las siguientes:

$$F_{Htotal} = 6,95 \text{ N} \quad 3,56 \text{ N} = 3,39 \text{ N}$$

$$F_{Vtotal} = 6,60 \text{ N} \quad 3,07 \text{ N} = 3,53 \text{ N}$$

Finalmente, la fuerza resultante que ejerce el agua sobre la cesta, se calcula empleando el criterio de la suma de vectores ortogonales, o el Teorema de Pitagoras:

$$F_R = \sqrt{F_H^2 + F_V^2} = \sqrt{(3,39)^2 + (3,53)^2}$$

$$F_R = 4,89 \text{ N.}$$

4.3.2.7 Cálculo de las fuerzas de cada elemento del brazo de recolección.

La cesta tiene un diámetro de 4 pulgadas (101,6 mm), un espesor de 3,05 mm y masa de 1,23 kg, creando una fuerza de 12,06 N. El peso de la lámina de la cesta más la fuerza de las partículas, siendo este de 13,63 N, representan la fuerza número uno (F_1). La cesta tendrá dos tapas a los lados para evitar que las partículas se salgan de la misma al momento de la recolección de éstas, con un área de:

$$A = \frac{1}{2} \pi r^2 = \frac{\pi(5,71 \times 10^{-2})^2}{2} = 5,12 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Las tapas de la cesta son del mismo material cortadas de una lámina de Acero Inoxidable 304 de espesor 3mm. Con el área de las placas se calculó el peso de las mismas, el cual es de 0,126 kg cada una, lo que equivale a una fuerza de 1,23 N

(representadas por F_{t1} y F_{t2}). Esto se realizó utilizando la referencia del peso propio, que se puede apreciar en la figura 6 del Anexo A.

Las distancia de los brazos fueron diseñadas según la distancia entre de la piscina y el dispositivo, el espacio disponible y evitando el choque entre ellos. Estas distancias fueron usadas para el cálculo de los pesos de cada elemento del brazo, en base a la figura 5 del Anexo A. La longitud de la sección C es de 20 cm, con masa de 0,26 kg y fuerza de 2,55 N (F_4). La longitud de la sección B es de 15,84 cm, masa de 0,2 kg y fuerza de 2,02 N (F_3). La sección A es de 10 cm, masa de 0,13 kg y fuerza de 1,3 N (representada por F_2). (Ver figura 35).

4.3.2.8 Cálculo de la fuerza y el momento torsor al que estará sometido el brazo de recolección de partículas de polietileno.

En la figura 36 se pueden observar las fuerzas a las que se encuentran sometidos cada uno de los elementos del brazo, con el fin de calcular la fuerza y el momento torsor al que estará sometido el brazo en el punto izquierdo del mismo.

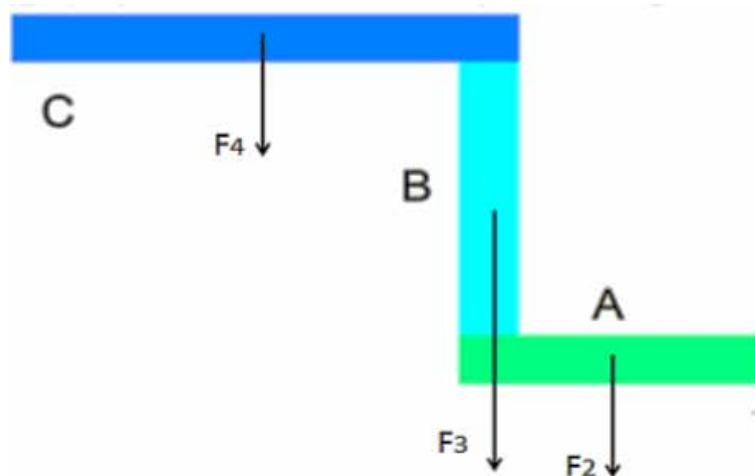


Figura 35: Brazo del dispositivo sin cesta
Fuente: Propia (2.020)

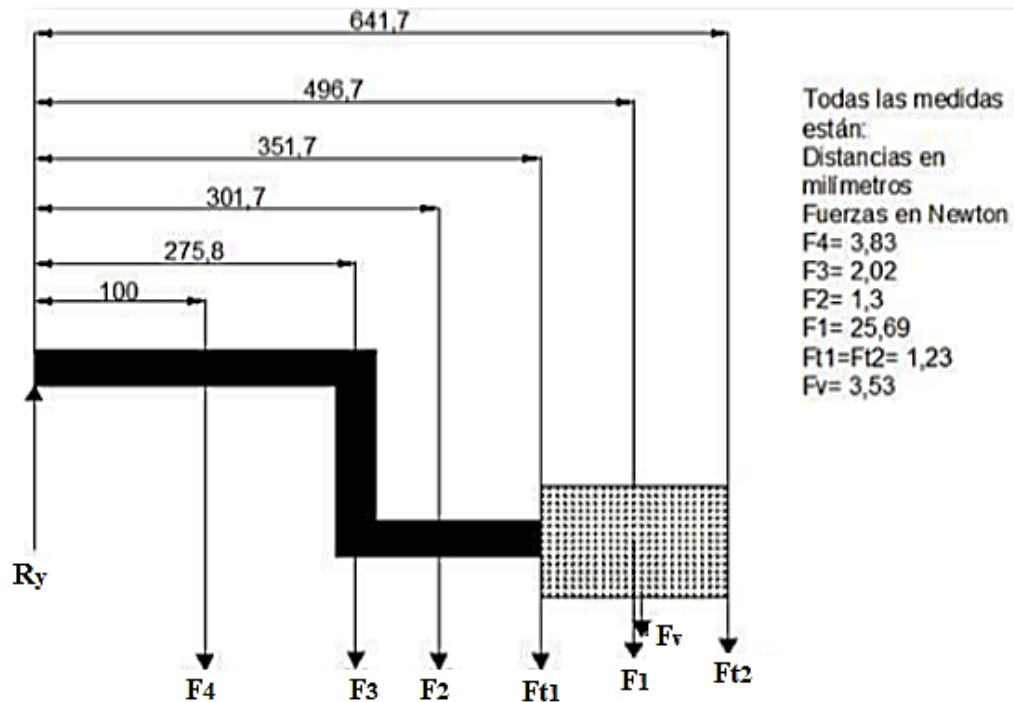


Figura 36: Diagrama del sistema de recolección de las partículas de polietileno, con sus respectivas fuerzas
Fuente: Propia (2.020)

Por equilibrio, realizando la sumatoria de fuerzas en el eje verticales, se tiene:

$$F_V = 0 \quad F_4 \quad F_3 \quad F_2 \quad F_{t1} \quad F_1 \quad F_{t2} \quad F_V + R_y = 0$$

$$R_y = F_4 + F_3 + F_2 + 2F_{t1} + F_1 + F_V$$

$$R_y = 2,55 + 2,02 + 1,30 + 2(1,23) + 25,69 + 3,53$$

$$R_y = 37,55 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \curvearrowright + \sum M_R = 0 \rightarrow M_f &= -F_4(0,10) - F_3(0,2758) \\ &\quad - F_2(0,3017) - F_{t1}(0,3517) - F_1(0,4967) - F_{t2}(0,6417) \\ &\quad - F_V(0,4967) \end{aligned}$$

$$M_f = -16,94 \text{ N} \cdot \text{m}$$

El Momento Torsor es generado por la fuerza que aplica el agua sobre la cesta y la aceleración angular por la inercia de ella, ver Ec. 32, tal y como se muestra en la figura 37.

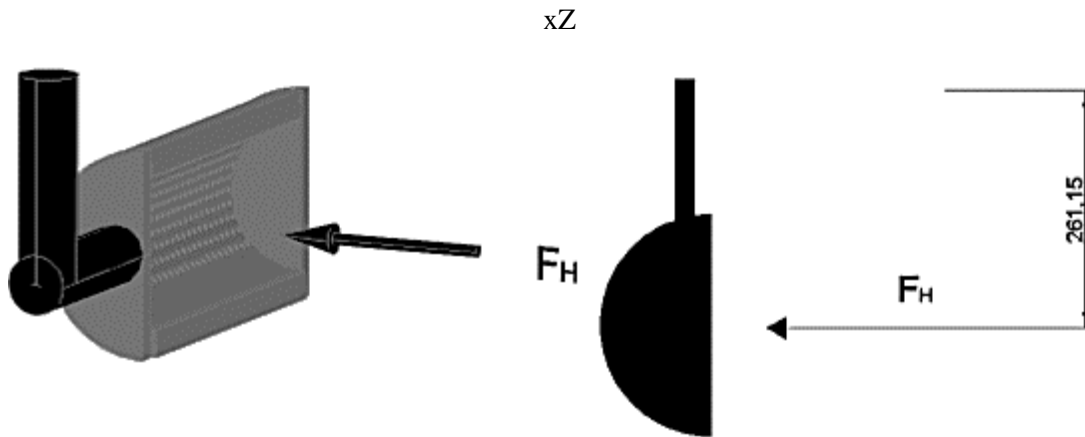


Figura 37: Diagrama de la fuerza horizontal aplicada por el agua sobre la cesta.
Fuente: Propia (2.020)

$$M_T = F_H R + \alpha I \quad \text{Ec. 32}$$

Donde:

F_H : Fuerza horizontal ejercida por el agua [N]

R: Brazo de la fuerza [m]

rad/s²]

I: inercia de masa del objeto [kg.m²]

Para efecto de cálculos, se dividió el brazo de recolección en cuatro elementos, como se muestra en la figura 38.

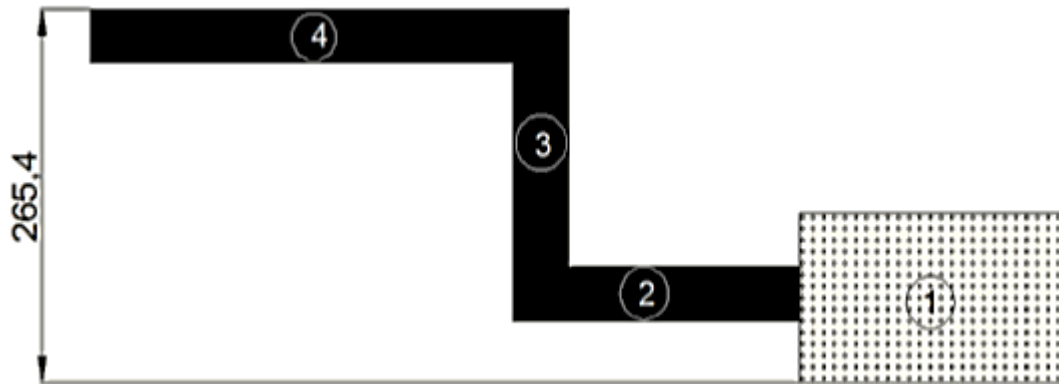


Figura 38: Brazo de recolección de partículas dividido en cuatro elementos para efecto de los cálculos de las inercias. Dimensiones en mm.

Fuente: Propia (2.020)

Para conocer el momento torsor resulta necesario realizar el cálculo del momento de inercia de cada elemento del brazo de recolección, de la siguiente forma:

- **Inercia de la cesta (elemento uno)**

La inercia de masa de la cesta se calcula con las dimensiones que se muestran en la figura 39, y con la ecuación mostrada en la figura 4 del Anexo C.

$$I_1 = \frac{1}{4} mR^2 + \frac{1}{4} mr^2 \quad \text{Ec. 33}$$

Donde:

I_1 = Inercia de la cesta con respecto al eje que pasa por el centro del radio

m = Masa del elemento estudiado

R = Radio externo del elemento estudiado

r = Radio interno del elemento estudiado.



Figura 39: Elemento uno del brazo de recolección.
(Dimensiones en mm)
Fuente: Propia (2.020)

Sustituyen valores de la masa $m = 1,23 \text{ kg}$ y de los radios mostrados en la figura 43 en la Ec. 33, se tiene:

$$I_1 = \frac{1}{4}mR^2 + \frac{1}{4}mr^2 = \frac{1}{4}(1,23)[(0,05715)^2 + (0,0541)^2]$$

$$I_1 = 1,043 \times 10^{-4} \text{ kg } m^2.$$

- **Inercia de las partículas**

La inercia de las partículas se calcula identificando la geometría que se forma al ocupar el volumen dentro de la cesta de recolección, esta es la que se muestra en la figura 44, y la ecuación empleada es la misma del Anexo C

$$I_p = \frac{1}{4}mr^2 = \frac{1}{4}(1,39)(0,0541)^2 = 1,017 \times 10^{-3} \text{ kg } m^2.$$

- **Inercia del elemento dos**

La inercia del elemento dos se calcula con la geometría de la sección transversal de la misma, como se muestra en la figura 40.

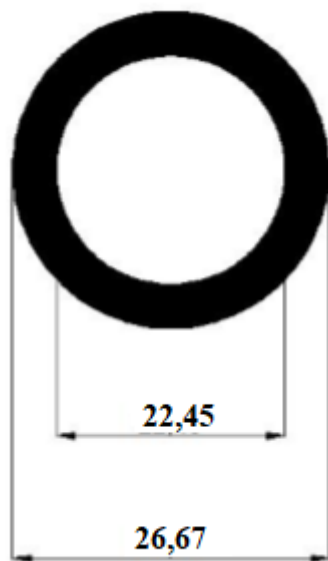


Figura 40: Elemento uno del brazo de recolección.
 (Dimensiones en mm)
 Fuente: Propia (2.020)

$$D = 0,02667 \text{ m} \quad R = 0,0133 \text{ m}$$

$$d = 0,02245 \text{ m} \quad r = 0,0112 \text{ m}$$

$$I_2 = \frac{1}{4}mR^2 - \frac{1}{4}mr^2 = \frac{1}{4}(0,133)[(0,0133)^2 - (0,0112)^2]$$

$$I_2 = 3,42 \times 10^{-6} \text{ kg m}^2.$$

· **Inercia del elemento tres**

La inercia del elemento tres se calcula asumiéndola como una barra, como se observa en la figura 41, porque se necesita es el cálculo alrededor del eje paralelo al radio del cilindro.



Figura 41: Elemento tres del brazo de recolección.
 (Dimensiones en mm)
 Fuente: Propia (2.020)

Para el cálculo de la inercia del elemento 3 (ver figura 5 del anexo C), de acuerdo al eje paralelo al eje fijo (eje de giro del brazo de recolección) se utiliza la ecuación 34:

$$I_3 = \frac{1}{4}mR^2 + \frac{1}{12}mL^2 \quad \text{Ec. 34}$$

Donde:

I_3 = Inercia del elemento tres

m = Masa del elemento

R = Radio del elemento

L = Longitud del elemento.

Sustituyendo valores en la Ec. 34, se tiene:

$$I_3 = \frac{1}{4} (0,206) (0,0133)^2 + \frac{1}{12} (0,206) (0,1584)^2$$

$$I_3 = 4,398 \times 10^{-4} \text{ kg } m^2.$$

- **Inercia del elemento cuatro**

El elemento cuatro tiene las mismas dimensiones que el elemento dos, y la inercia se calcula igual, solo cambia la masa que en este caso es 0,26 kg, luego

$$I_4 = \frac{1}{4}mR^2 + \frac{1}{4}mr^2 = \frac{1}{4}(0,26)[(0,01334)^2 + (0,01123)^2]$$

$$I_4 = 6,74 \times 10^{-6} \text{ kg m}^2.$$

- **Inercia del elemento cinco**

Para el cálculo de la inercia del elemento 5 de acuerdo a la figura 42, se utiliza la ecuación:

$$I_T = \frac{1}{4}m r^2 = \frac{1}{4}(0,126)(0,05715)^2 = 1,028 \times 10^{-4} \text{ kg m}^2$$



Figura 42: Elemento cinco del brazo de recolección.

(Dimensiones en mm)

Fuente: Propia (2.020)

Para poder sumar las inercias es necesario utilizar el teorema de Steiner, el cual se basa en trasladar todas las inercias a un eje común. Para ello se usa la ecuación siguiente:

$$I = I_c + md^2 \quad \text{Ec. 35}$$

Donde:

I = Inercia con respecto a un eje fijo [kg.m²]

I_c = Inercia centroidal del elemento [kg.m²]

M = Masa total [kg]

d = Distancia entre los ejes [m].

Y con el traslado de todas las inercias del cuerpo, se puede sumar las mismas utilizando la siguiente ecuación:

$$I_{eje} = I_4 + I_3 + I_2 + I_1 + 2I_T + I_p \quad \text{Ec. 36}$$

Donde:

I_{eje} = Sumatoria de las inercias con respecto al eje fijo [kg.m²]

I_i = Inercia de cada uno de los 4 elementos trasladada al eje fijo [kg.m²]

I_T = Inercia de cada una de las tapas de la cesta trasladada al eje fijo [kg.m²]

I_p = Inercia del área ocupada por las partículas [kg.m²].

Primero se determina la masa total como la suma de todas las masas involucradas,

$$M = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + 2m_T + m_p$$

$$M = 1,23 + 0,133 + 0,206 + 0,391 + 2(0,126) + 1,39$$

$$M = 3,602 \text{ kg.}$$

$$I'_1 = 1,043 \times 10^{-4} + 3,602(0,207)^2$$

$$I_1 = 0,154 \text{ kg m}^2$$

$$I'_p = 1,017 \times 10^{-4} + 3,602(0,207)^2$$

$$I_p = 0,155 \text{ kg m}^2$$

$$I'_2 = 3,42 \times 10^{-6} + 3,602(0,207)^2$$

$$I_2 = 0,154 \text{ kg m}^2$$

$$I'_3 = 4,398 \times 10^{-6} + 3,602(0,1275)^2$$

$$I_3 = 0,058 \text{ kg m}^2$$

$$I'_T = 1,028 \times 10^{-4} + 3,602(0,207)^2$$

$$I'_T = 0,155 \text{ kg } m^2$$

$$I'_4 = 3,74 \times 10^{-6} \text{ kg } m^2$$

Sustituyendo en la Ec. 36 se tiene:

$$I_{eje} = 0,83 \text{ kg } m^2.$$

Mediante un procedimiento experimental en la piscina de la empresa, utilizando el utensilio de recolección que actualmente usan, desde un punto A (inicio del depósito) hasta un punto B (final del depósito), se midió el tiempo en el que el dispositivo realizará el recorrido de forma experimental, para conocer el valor de la aceleración por medio de las siguientes ecuaciones:

$$X_f = X_o + V t \quad \text{Ec. 37}$$

$$V_f^2 = V_o^2 + 2a d \quad \text{Ec.38}$$

Donde:

X_f = Distancia final

X_o = Distancia Inicial

V = Velocidad

t = Tiempo

a = Aceleración lineal

d = Distancia.

El tiempo resultante del experimento es de 25 segundos, y con la distancia recorrida, que es de 263,5 cm, se calcula la velocidad de la siguiente forma:

$$2,635 = V \cdot 25 \quad V = 0,105 \text{ m/s}$$

Para el cálculo de la aceleración se establecerá el tiempo en que el dispositivo tarde en alcanzar la velocidad constante 0,105 m/s, el cual será dos segundos (2 s), entonces:

$$a = \frac{V_f - V_o}{t_f - t_o} \quad \text{Ec. 39}$$

Conociendo la velocidad final (velocidad de operación), y la inicial que es cero, puesto que el dispositivo parte desde el reposo, la ecuación de aceleración queda de la siguiente manera:

$$a = \frac{0,105 - 0}{2 - 0} = 0,0525 \frac{m}{s^2}$$

Y finalmente se calcula la velocidad angular, basándose en la Ec. 40

$$\alpha = \frac{a}{r} \quad \text{Ec. 40}$$

Donde:

angular [rad/s²]

a = Aceleración lineal [m/s²]

r = radio del elemento rotatorio [m]

$$\alpha = \frac{0,0525}{0,2654} = 0,1978 \text{ rad/s}^2$$

Y sustituyendo en la Ec. 32, se obtiene el momento torsor igual a:

$$M_T = 2,55 (0,26115) + (0,1978) (0,83)$$

$$M_T = 0,83 \text{ N m.}$$

4.3.2.9 Cálculo de los cordones de soldadura

Para realizar una excelente soldadura (ver figura 43) se calcula el espesor más adecuado para soportar las fuerzas. Todas las soldaduras del brazo deben ser realizadas con el electrodo AWS E-308L-16, ya que fueron desarrollados para la soldadura de aceros inoxidable tipo 304 pero pueden ser usados para muchos otros aceros inoxidables como los tipos 301, 302 y 304. El revestimiento de Rutilio básico delgado del E-308L-16 da una excelente combinación de desempeño de soldadura en todas las posiciones y una alta resistencia a la fractura. Es por eso una buena elección para una gran variedad de aplicaciones de soldadura. El tipo 304 requiere menos calor

para producir la fusión, lo cual significa una soldadura más rápida para un mínimo de velocidad.

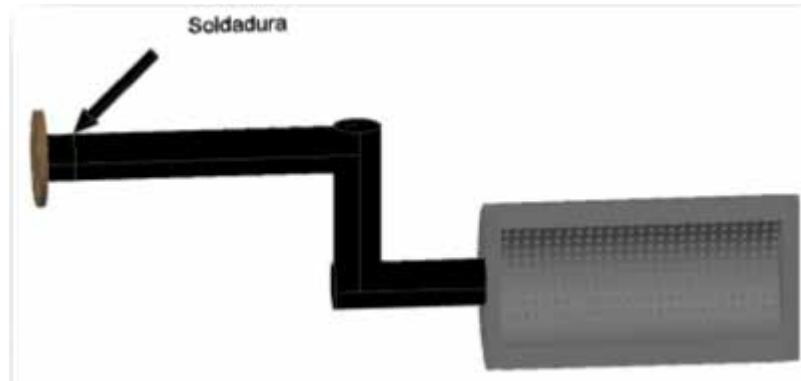


Figura 43: Localización de la soldadura entre la cesta y el brazo
Fuente: Propia (2.020)

Se realiza la evaluación de la soldadura en el punto más esforzado, para así comparar con los demás puntos que involucren soldadura. La fuerza aplicada a la soldadura, es la fuerza del peso de los elementos, más el peso de las partículas y el esfuerzo aplicado por el agua. Esta fuerza total es 36,58 N. Se calcula el área de la garganta de la soldadura, según sea la forma, ya que es una tubería circular y el cordón se realizará alrededor. Se calcula el área de la soldadura y posteriormente se verificará que no falle. Para calcular el esfuerzo máximo se debe tener además del esfuerzo de corte, el esfuerzo creado por el momento flector para encontrar el punto más esforzado. El esfuerzo debido al corte se calcula empleando la Ec. 3 y el esfuerzo debido a la flexión se calcula empleando la Ec. 4.

Para calcular el esfuerzo máximo se necesita el área de soldadura, la inercia de la soldadura y el momento polar. El área se calcula de la ecuación de la tabla de la figura 2, cont. del Anexo C pero como no se tiene el espesor de soldadura se calcula en función de este.

$$A = 1,414\pi \quad r$$

Donde:

A: área del cordón de soldadura [mm²]

h: Espesor del cordón de soldadura [mm]

r: radio del área a soldar [mm]

Sustituyendo valores se tiene que el área de soldadura es:

$$A = 1,414\pi (13,34) = 14, \text{ mm}^2.$$

Con cuya área se calcula el esfuerzo de corte, dejando igualmente el espesor como incógnita, según la Ec.3.

Esfuerzo debido al corte es:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{36,58}{14,86h} = \frac{1,94}{h} \text{ MPa.}$$

Para calcular el esfuerzo máximo se debe tener además del esfuerzo de corte, el esfuerzo creado por el momento flector para encontrar el punto más esforzado. Se calcula el Momento Flector que crean las fuerzas, con la fórmula:

$$M_f = F L$$

Donde:

F: Suma de los pesos [N]

L: Distancia de la fuerza al cordón de soldadura [mm]

$$M_f = (36,58) (641,7) = 23.473,39 \text{ N mm.}$$

El esfuerzo debido Momento Flector, según la Ec. 4 es:

$$\sigma_{Mf} = \frac{M_f r}{I}$$

Donde:

M_f : Momento Flector [N mm]

r: Radio de la sección [mm]

I: Inercia de área

La inercia de la soldadura, se calcula utilizando la ecuación de la figura 2 cont.

Del anexo C,

$$I = 0, \quad I_u = 0, \quad (\pi r^3) = 5.272, \quad mm^3.$$

Sustituyendo en la Ec.4

$$\sigma_{Mf} = \frac{(23.473,39 \text{ N mm})(13,34 \text{ mm})}{5.272, \quad mm^3}$$

$$\sigma_{Mf} = \frac{59,39}{1} \text{ MPa}$$

Se dedujo el punto más esforzado mediante la representación de los Esfuerzos en la soldadura, véase en la figura 44, los puntos y sus esfuerzos.

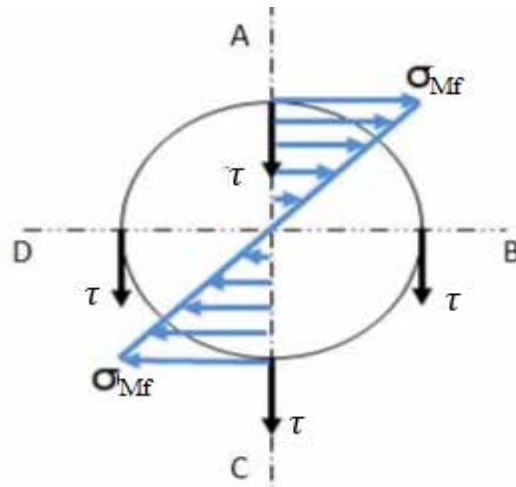


Figura 44: Representación de los esfuerzos en la garganta de soldadura

Fuente: Propia (2.020)

Cómo se deduce de la figura 44 el punto más esforzado es el punto A o C, ya que allí son mayores los esfuerzos de corte y de tracción o compresión. Para saber cuál es el esfuerzo total se utilizó la teoría de Von Mises – Hencky, Ec. 19:

$$\frac{S_{yp}}{N} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Considerando que los datos son poco representativos el factor de seguridad $N = 5$, según el criterio de Norton R. (1999) tomado de la figura 12, el límite de fluencia del material del electrodo según Lincoln Electric (2.012) es de 580 MPa, y el esfuerzo permisible en las soldaduras de este tipo según AWS Welding Handbook. (2.012) es igual a 0,6 S_y , por lo cual la Ec. 19 se convierte en:

$$\begin{aligned} \frac{0,6(580)}{5} &= \sqrt{\left(\frac{59,39}{h}\right)^2 + 3\left(\frac{1,94}{h}\right)^2} = \frac{1}{h^2} \sqrt{(59,39)^2 + (1,94)^2} \\ &= 0,85mm \quad 0,9 \text{ mm.} \end{aligned}$$

El espesor obtenido es pequeño, el espesor mínimo para una soldadura de arco para un acero inoxidable es de 2,5 mm según AWS Welding Handbook. (2.012). Lo que significa que la soldadura no va a fallar en el punto más esforzado, por ello la soldadura en otro lugar del brazo no va a fallar porque la fuerza de trabajo es menor.

4.3.2.10 Cálculo de los esfuerzos en el brazo de recolección.

· Elemento 1.

El elemento uno se puede apreciar con la representación de sus fuerzas en la figura 45.

Por equilibrio, en dirección horizontal,

$$F_x = 0 \quad R_{1x} = 0$$

En dirección vertical,

$$F_y = 0 \quad R_{1y} \quad 25,69 \quad 3,53 \quad 2(1,23) = 0$$

$$R_{1y} = 31,68 \text{ N.}$$

$$M = 0 \quad M_1 \quad 25,69(0,145) \quad 3,53(0,145) \quad 1,23(0,29) = 0$$

$$M_1 = 4,5936 \text{ N m.}$$

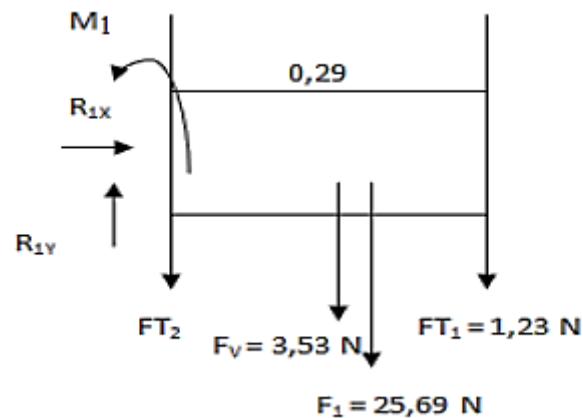


Figura 45: Elemento uno del brazo de recolección de partículas con las fuerzas y momentos que actúan sobre el mismo

Fuente: Propia (2.020)

Para saber dónde se encuentra el punto más crítico se construyen los diagramas de corte y momento, con la ayuda de la siguiente ecuación:

$$M = Ma + F \text{ dist}$$

Donde:

M = Momento en el punto de estudio [N m]

Ma = Momento en el punto anterior al estudiado [N m]

F = Fuerza que ejerce el momento en el elemento estudiado [N]

$dist$ = Brazo de la fuerza ó distancia perpendicular de la fuerza con respecto al punto estudiado [m]

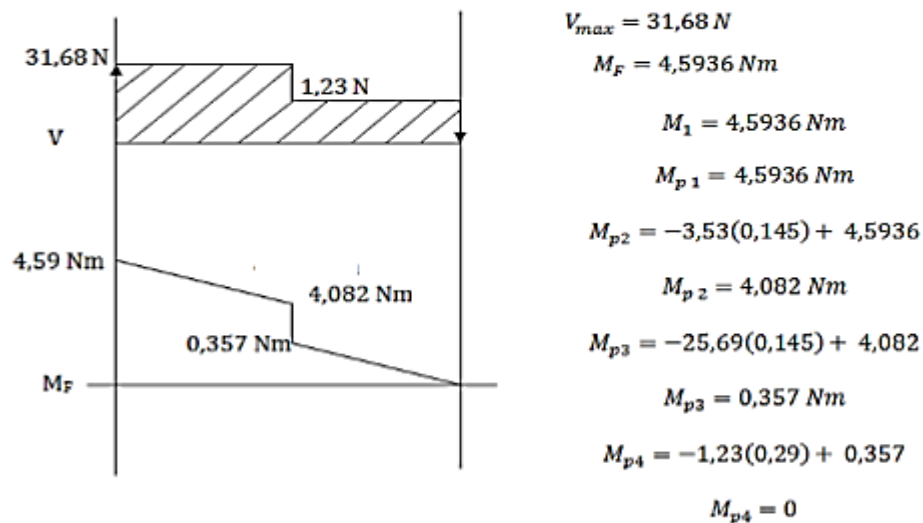


Figura 46: Diagrama de corte y momento del elemento 1 (cesta de recolección).
Fuente: Propia (2.020)

En la figura 46 se puede apreciar que el momento máximo se encuentra en el empotramiento como se esperaba. Para el cálculo de los esfuerzos se utilizarán las Ecs. 3 y 4.

$$\tau = \frac{V_{máx}}{A_{corte}} = \frac{31,68}{\pi r w} = \frac{31,68}{\pi(0,05715)(0,29)}$$

$$\tau = 608,44 Pa.$$

$$\sigma_f = \frac{M_f r}{I}$$

Cálculo de la inercia (ver figura 35), del Texto de Tassoni, D. y Pizzella, G. (2006),

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{32} [(0,1143)^4 - (0,1082)^4] = 1,6510^{-6} m^4.$$

Luego, sustituyendo valores, se tiene:

$$\sigma_f = \frac{4,59 Nm(0,05712 m)}{1,65x10^{-6} m^4} = 79.429,47 Pa.$$

Aplicando la teoría de la energía de distorsión de Von Mises Hencky, Ec. 19 de este trabajo

$$\frac{S_y}{N} = \frac{\sigma^2 + 3\tau^2}{\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}} \quad N = \frac{290 \times 10^6}{\sqrt{(79.429,47)^2 + 3(608,44)^2}} = 3.650,72$$

Obviamente hay un sobre diseño de este elemento, pero es necesario que sea robusto.

· **Elemento 2 (ver figura 38).**

El elemento dos se puede apreciar con la representación de sus fuerzas en la figura 47.

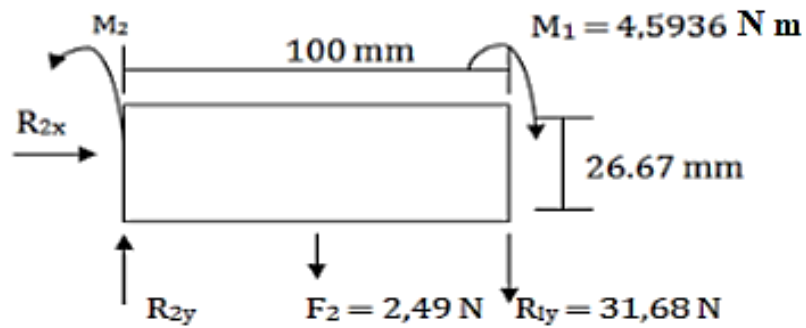


Figura 47: Elemento dos del brazo de recolección de partículas con las fuerzas y momentos que actúan sobre el mismo
Fuente: Propia (2.020)

Por equilibrio, en dirección horizontal,

$$F_x = 0 \quad R_{2x} = 0$$

En dirección vertical

$$F_y = 0 \quad R_{2y} \quad 31,48 \quad 2,49 = 0 \quad R_{2y} = 34,17 \text{ N}$$

$$M = 0 \quad M_2 \quad F_2(0,05) \quad R_{1y}(0,1) \quad M_1 = 0$$

$$M_1 = 4,5936 \text{ N m} \quad y \quad F_2 = 2,49 \text{ N} \quad M_2 = 7,8861 \text{ N m}$$

Teniendo los valores la fuerza de corte y lo momentos, se grafica para obtener el diagrama de corte y momento del elemento 2 reseñado en la figura 48.

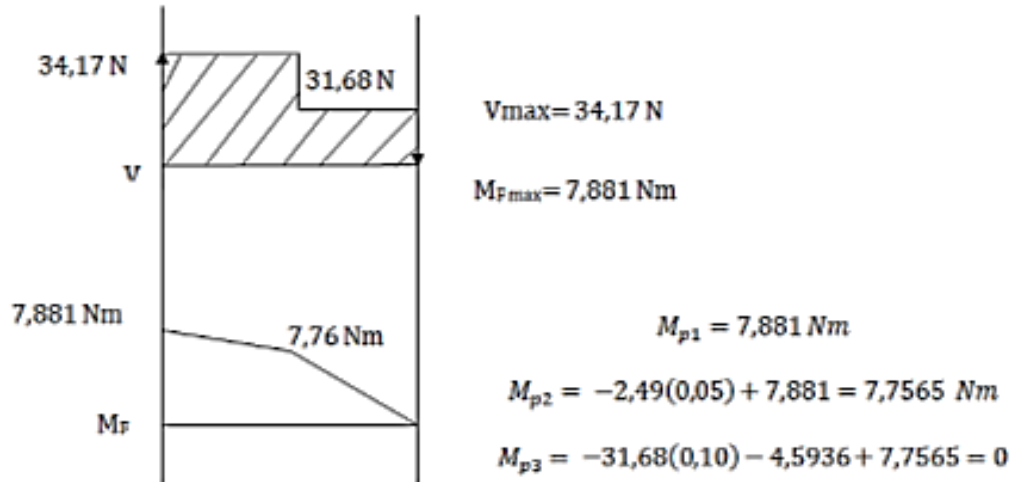


Figura 48: Diagrama de corte y momento del elemento dos.
Fuente: Propia (2.020)

Para el cálculo de los esfuerzos se utilizaran, igualmente las Ecs. 3 y 4.

$$\tau = \frac{V_{\max}}{A_{\text{corte}}} = \frac{34,17}{2\pi r w} = \frac{34,17}{2\pi(0,01335)(0,10)}$$

$$\tau = 4.073,64 \text{ Pa.}$$

$$\sigma_f = \frac{M_f r}{I}$$

Cálculo de la inercia (ver figura 35), del Texto de Tassoni, D. y Pizzella, G. (2006),

$$I = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{32} [(0,02667)^4 - (0,02245)^4] = 2,47 \times 10^{-8} \text{ m}^4.$$

Luego, sustituyendo valores, se tiene:

$$\sigma_f = \frac{7,881 \text{ N m}(0,01335)}{2,47 \times 10^{-8} \text{ m}^4} = 4.254.127 \text{ Pa.}$$

Aplicando la teoría de la energía de distorsión de Von Mises Hencky, Ec. 19 de este trabajo

$$\frac{S_y}{N} = \frac{\sigma^2 + 3\tau^2}{\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}} \quad N = \frac{290 \times 10^6}{\sqrt{(4.254.127)^2 + 3(4.073,64)^2}} = 68,17$$

Obviamente hay un sobre diseño de este elemento, pero es necesario que sea robusto.

· **Elemento 3**

En la figura 49 se puede visualizar el elemento 3 que se quiere diseñar

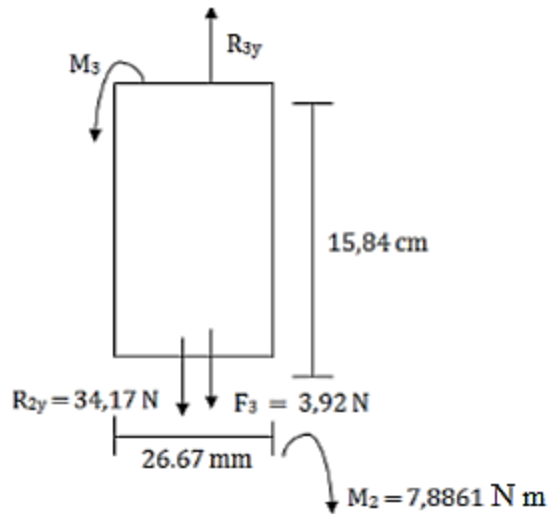


Figura 49: Elemento tres del brazo de recolección de partículas con las fuerzas y momentos que actúan sobre el mismo.

Fuente: Propia (2.020)

Este elemento solo está sometido a flexión, por equilibrio, en dirección vertical,

$$F_y = 0 \quad 3,92 \quad 34,17 + R_{3y} = 0 \quad R_{3y} = 38,09 \text{ N}$$

$$M = 0 \quad M_3 \quad 7,8861 = 0$$

$$M_3 = 7,8861 \text{ N m}$$

Con la Ec. 2 se tiene:

$$\sigma = \frac{38,09}{\pi[(0,013335)^2 - (0,011225)^2]}$$

$$\sigma = 233.964,67 \text{ Pa} \quad N = \frac{290 \times 10^6}{233.964,67} = 1240$$

El resultado del factor de seguridad calculado demuestra que el elemento no falla a compresión, ya que éste arrojó un valor mucho mayor a la unidad.

· **Elemento 4**

El elemento 4 se puede apreciar con la representación de sus fuerzas en la figura 50.

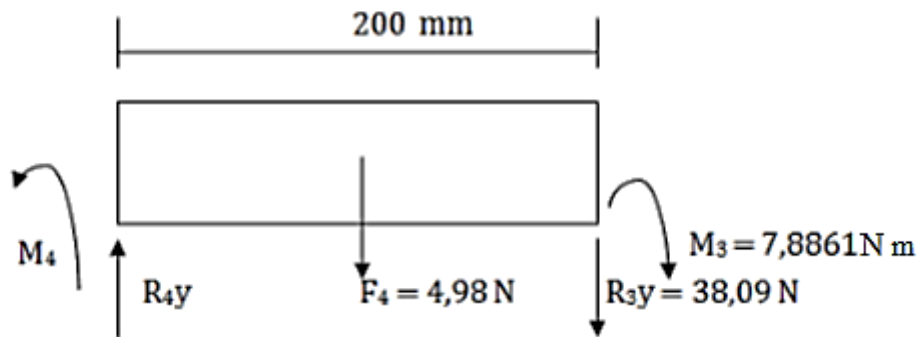


Figura 50: Elemento cuatro del brazo de recolección de partículas con las fuerzas y momentos que actúan sobre el mismo.

Fuente: Propia (2.020)

El diámetro externo de este elemento es $D = 2,667 \text{ cm}$ y el diámetro interno $d = 2,245 \text{ cm}$.

Por equilibrio, en dirección vertical,

$$F_y = 0 \quad 38,09 \quad 4,98 + R_{4y} = 0 \quad R_{4y} = 43,07 \text{ N}$$

$$M = 0 \quad M_4 \quad F_4(0,10) + R_{3y}(0,2) \quad 7,8861 = 0$$

$$M_4 = 16,0021 \text{ N m.}$$

Utilizando las reacciones y el momento flector calculado anteriormente se realiza el diagrama de corte y momento, para determinar el punto de esfuerzo máximo (punto crítico de diseño), el cual se puede observar en la figura 51.

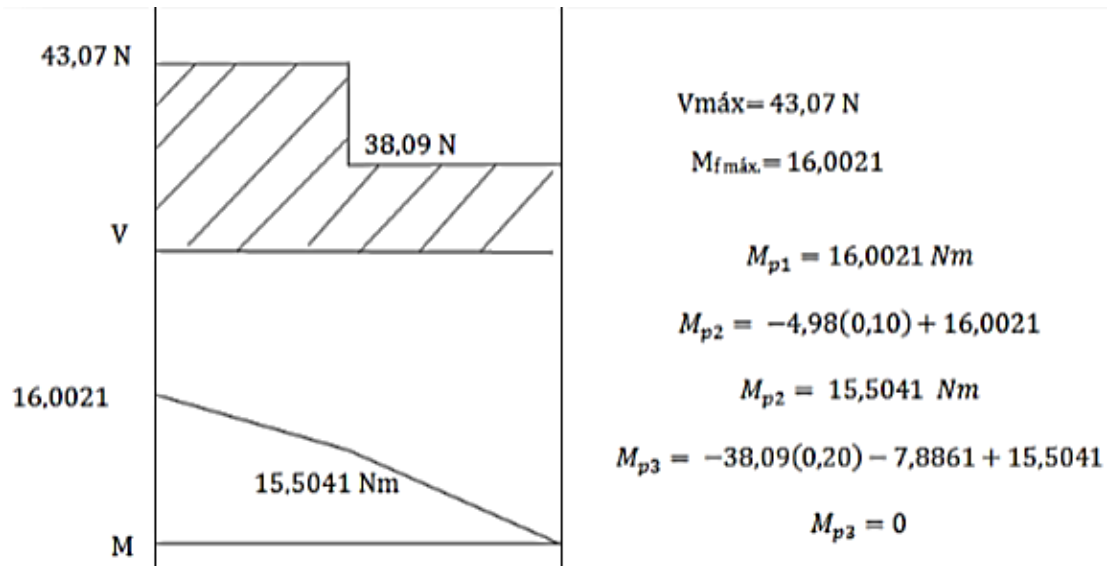


Figura 51: Diagrama de corte y momento del elemento 4.

Fuente: Propia (2.020)

Para el cálculo de los esfuerzos se utilizaran, igualmente las Ecs. 3 y 4.

$$\tau = \frac{V_{m\acute{a}x}}{A_{corte}} = \frac{43,07}{2\pi r w} = \frac{43,07}{2\pi(0,01335)(0,20)}$$

$$\tau = 2.570,23 \text{ Pa.}$$

$$\sigma_f = \frac{M_f r}{I}$$

Cálculo de la inercia, del Texto de Tassoni, D. y Pizzella, G. (2006),

$$I = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{32} [(0,02667)^4 - (0,02245)^4] = 2,47 \times 10^{-8} \text{ m}^4.$$

Luego, sustituyendo valores, se tiene:

$$\sigma_f = \frac{16.0021 \text{ N m}(0,01335)}{2,47 \times 10^{-8} \text{ m}^4} = 8.648.908,3 \text{ Pa.}$$

Aplicando la teoría de la energía de distorsión de Von Mises Hencky, Ec. 19 de este trabajo

$$\frac{S_y}{N} = \frac{\sigma^2 + 3\tau^2}{\sqrt{(8.648.908,3)^2 + 3(2.570,23)^2}} = 33,53.$$

El resultado del factor de seguridad calculado demuestra que el elemento no falla ya que éste arrojó un valor mucho mayor a la unidad.

4.3.2.11 Cálculo de las deformaciones producidas en el brazo de recolección de partículas.

· Elemento 1.

Los valores conocidos y que se consideran constantes son el módulo de Young, el esfuerzo de fluencia del material y el peso propio del elemento por unidad de longitud. La deformación que sufre el elemento debido a las cargas a las que se encuentra sometido, se expresa a continuación:

Debido a su propio peso

$$PP = 4,25 \text{ kgf/m}$$

$$S_y = 290 \text{ MPa}$$

$$E = 206,8 \text{ GPa} = 2,1088 \times 10^{10} \text{ kgf/m}^2$$

$$I_1 = 1,65 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

Usando la fórmula del Anexo C figura 6-a

$$\delta_p = \frac{5WL^4}{384EI} = \frac{5(4,25)(0,29)^4}{384(2,1088 \times 10^{10})(1,65 \times 10^{-6})}$$

$$\delta_p = 1,1249 \times 10^{-8} \text{ m} = 1,1249 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

Debido a la carga

$$F_V = 3,53 \text{ N} = 0,36 \text{ kgf} = 1,2414 \text{ kgf/m}$$

$$\delta_c = \frac{5WL^4}{384EI} = \frac{5(1,2414)(0,29)^4}{384(2,1088 \times 10^{10})(1,65 \times 10^{-6})}$$

$$\delta_c = 3,2857 \times 10^{-9} \text{ m} = 3,2857 \times 10^{-6} \text{ mm.}$$

Finalmente la deformación que sufre el elemento 1 es igual a la suma de ambas,

$$\delta_1 = \delta_p + \delta_c = 1,4535 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

· **Elemento 2.**

La deformación que sufre el elemento debido a las cargas a las que se encuentra sometido, se expresa a continuación:

Debido a su propio peso

$$PP = 2,54 \text{ kgf/m}$$

$$I_2 = 1,65 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Usando la fórmula del Anexo C figura 6-a

$$\delta_2 = \frac{5WL^4}{384EI} = \frac{5(2,54)(0,10)^4}{384(2,1088 \times 10^{10})(2,47 \times 10^{-8})}$$

$$\delta_2 = 6,3452 \times 10^{-9} \text{ m} = 6,3452 \times 10^{-6} \text{ mm}$$

· **Elemento 3.**

Usando la fórmula del Anexo C figura 6-b

$$\delta_3 = \frac{38,09(0,1584)}{\pi[(0,013335)^2 + (0,011225)^2](2,1088 \times 10^{10})}$$

$$\delta_3 = 1,756 \times 10^{-6} \text{ m} = 1,756 \times 10^{-3} \text{ mm.}$$

· **Elemento 4.**

Usando la fórmula del Anexo C figura 6-a

$$\delta_4 = \frac{5WL^4}{384EI} = \frac{5(2,54)(0,20)^4}{384(2,1088 \times 10^{10})(2,47 \times 10^{-8})}$$

$$\delta_4 = 1,015 \times 10^{-7} \text{ m} = 1,015 \times 10^{-4} \text{ mm.}$$

4.3.2.12 Elementos de Funcionamiento del Dispositivo.

Estos elementos van a ser seleccionados solo para transmitir el movimiento, ya que no existe en el mercado uno que satisfaga el momento flector que produce el brazo.

1. Actuador Giratorio uno (conectado directamente al brazo).

El actuador giratorio uno (1) se encuentra en la parte superior del dispositivo y es el encargado de proporcionar el movimiento circular a la cesta de recolección, para que gire de 0° a 90° , haciendo así que las partículas se depositen en ella. Los actuadores no van a soportar carga, ya que el sistema lleva ejes diseñados para tal fin, entonces el criterio de selección es por medio del momento torsor, el cual es de $0,83 N m$, calculado anteriormente. Con éste valor se selecciona el actuador adecuado, el cual posee un número de parte: DSRL-12-180-P-FW, que se observa en la figura 52 (Revisar figura 1 – Anexo B, para mayor información).



Figura 52: Actuador Giratorio con pie de fijación
Fuente: FESTO (2.020)

Para realizar la sujeción a la lámina, el actuador posee orificios en la base, donde se colocan dos tornillos M5 (cabeza hexagonal y longitud de rosca 14 mm) y dos

tornillos M3 (cabeza hexagonal y longitud de rosca 12 mm) (véase figura 7- Anexo A). Estos son de rosca métrica y son recomendados por el fabricante.

La brida tiene 8 perforaciones, que se especifica en la hoja técnica del actuador, las cuales necesitan 4 tornillos M3 (véase en la figura 7- Anexo A) y 4 tornillos de 3,4 milímetros de rosca métrica (véase figura 8 - Anexo A). Las especificaciones de este actuador son las siguientes:

- El diámetro del émbolo es de 12 mm
- El peso del actuador es de 240 g
- La altura del actuador es de 48 mm
- El ancho es de 48 mm
- La profundidad es de 54,2 mm.

Para la aplicación de este proyecto, el actuador se instala con un pie de fijación, de forma que el émbolo se mantenga en posición horizontal, el cual tiene las siguientes especificaciones:

- La altura del pie es de 63 mm
- La profundidad es de 64 mm
- El peso es de 87 g.

La lámina para sujetar el actuador deberá tener cuatro perforaciones para tornillos M3 y M5 (véase en la figura 7 del Anexo A) para el actuador giratorio uno y una orificio para conectar la lámina al eje del actuador giratorio dos (encargado de hacer girar el brazo hacia los lados, para realizar el almacenamiento de las partículas) el cual será para tornillo M3 (figura 7- Anexo A). Además este tipo de actuador tiene incluido dos dispositivos de censado para detectar distintas posiciones (sensores inductivos).

2. Actuador Giratorio dos

El actuador giratorio dos tiene el embolo vertical encargado de hacer rotar el brazo de recolección para realizar el almacenamiento de las partículas brazo de 0° hasta 90° grados horizontalmente desde la depósito hacia los cestos. De igual forma

que en el apartado anterior, el actuador se selecciona basándose en el par torsor que debe proporcionar, el cual tiene un valor de $0,91 \text{ N m}$ (calculado con el mismo procedimiento del utilizado en el brazo recolector). De acuerdo a este valor se seleccionó un actuador giratorio cuyo número de parte es DSM-25-270-A-B, el cual se puede observar en la figura 53.



Figura 53: Actuador Giratorio 2
Fuente: FESTO (2.020)

Las especificaciones de éste son las siguientes:

- El diámetro del embolo es de 25 mm
- La altura es de 98 mm
- Las dimensiones de la base son 83 x 83 mm
- El peso del actuador es de 0,620 kg.

La instalación del actuador en su base va a ser mediante 4 tornillos métricos M4 (véase figura 7. Anexo A), que están situados debajo de éste para fijarlo a la lámina. Este actuador cuenta con dos sensores inductivos colocados para detectar el giro.

3. Actuador Lineal

Este actuador va a elevar los actuadores y con ellos el brazo, para poder lograr que el mismo salga y entre del depósito según sea el caso. La selección se realiza

según la fuerza que va a soportar, la cual es de 47,81 N, que viene dada por el peso de los actuadores giratorios, más el proporcionado por el brazo recolector.

El actuador seleccionado fue el DNCB – 32 – 100 – PPV – A, ya que trabaja con fuerzas axiales dentro del rango de trabajo. En la figura 54, se observa el actuador lineal. La sujeción de este actuador es mediante una brida de fijación, la cual trae los accesorios para su fijación.



Figura 54: Actuador Lineal.
Fuente: FESTO (2.020)

El actuador lineal posee las siguientes especificaciones:

- La altura es de 146 mm
- El diámetro del embolo es de 32 mm
- La base del actuador es de 45 x 45 mm
- El peso del actuador es de 730 g.

Para colocar el actuador lineal de forma vertical, se debe instalar una brida de fijación, el cual trae 4 orificios para conectarlo al actuador y 4 para fijarla a la lámina, con tornillos M7 (ver tabla 7- Anexo A). Se puede observar en la figura 55 la brida de fijación, y ella tiene las siguientes dimensiones (Véase en el apéndice B).

Las especificaciones de la brida son las siguientes:

- La altura es de 80 mm

- La base es de 40 x 80 mm
- El peso es de 240 g.



Figura 55: Brida de Fijación del Actuador Lineal.
Fuente: FESTO (2.020)

4. Motor paso a paso

El motor seleccionado es para mover el dispositivo cada 90° horario y posicionarlo correctamente en el nuevo riel. Este motor debe soportar una fuerza axial de 64,8 N, que es la proveniente de la suma de la fuerza causada por los pesos de cada dispositivo y sus elementos de fijación. Por ello se seleccionó el motor EMMS-ST-87-S-S, ya que cumple con lo requerido en el sistema. El motor realiza un movimiento de 90° cada vez que se le envía la señal de trabajo, para hacer un movimiento precisó del dispositivo. La resolución del movimiento es constante gracias a su principio. Se fijará mediante 4 tornillos M3 a su base, en la figura 56, el motor seleccionado.



Figura 56: Motor paso a paso.

Fuente: FESTO (2.020)

Las especificaciones del motor son las siguientes:

- El peso del motor es de 1,95 kg
- La altura del motor es de 109,6 mm
- La base es de 85,6 x 85,6 mm

Para conectar el motor a un PLC, se debe adquirir un cable de conexión, el cual es NEBM-S1G15-E-15-LE6 para cada motor. Obsérvese el cable en la figura 57.

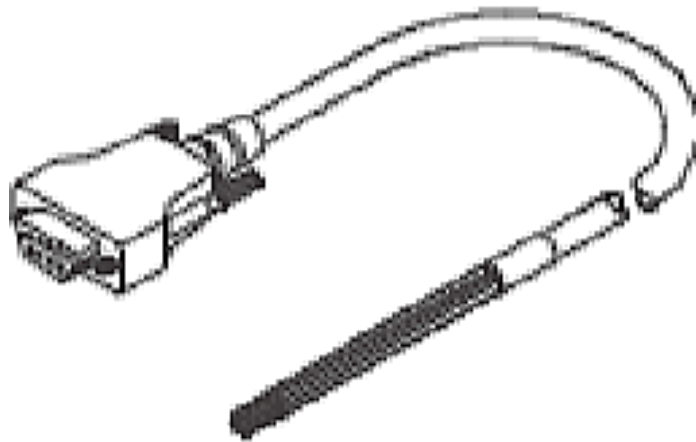


Figura 57: Cable de Conexión a un PLC

Fuente: FESTO (2.020)

4.3.2.13 Diseño del eje de soporte de cargas en el actuador uno.

El material para construir el eje es un acero al carbono comercial y con un límite de la fluencia alto, el cual es un acero AISI 1040 con un límite de fluencia de 374

MPa. (Ver anexo F).

Haciendo un diagrama de cuerpo libre del eje, la representación de las fuerzas y momentos aplicados sobre el mismo se muestran en la figura 58.

Por equilibrio se realiza la sumatoria de fuerzas para calcular las reacciones de los apoyos, F_{y1} y F_{y2} , como se observa en la referida figura 58, y se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\sum F_y = 0 \quad F_{y1} + F_{y2} - F_{brazo} = 0$$

$$F_{y1} + F_{y2} = 37,50.$$

$$M_1 = 0 \quad F_{brazo}(37,5) + M_f - F_{y2}(25) = 0$$

$$F_{y2} = \frac{37,5(0,0375) - 16,94}{0,025} = 621,35 \text{ N} \quad F_{y1} = 658,85 \text{ N}.$$

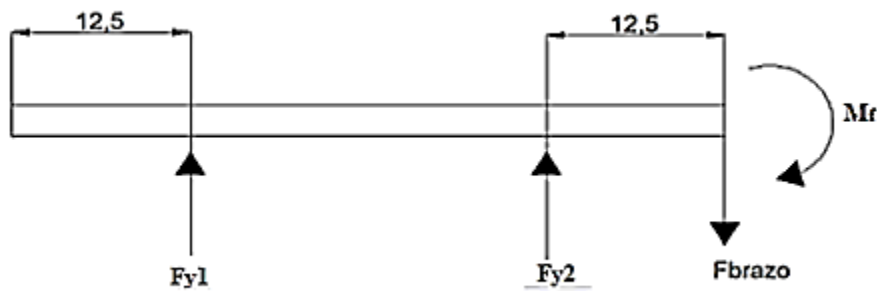


Figura 58: Diagrama de cuerpo libre del eje de carga del actuador 1.

Fuente: Propia (2.020)

En la figura 59, se observa el diagrama de corte y momento, evaluando el momento máximo para los cálculos posteriores y definir su diámetro.

Como se observa en la figura el momento máximo es el precedente al traslado de la fuerza de brazo, era de esperarse ya que en toda la longitud del eje no existe otro momento significativo como ese. El cálculo del diámetro del eje se realizará por la teoría de Von Mises- Hencky Ec. 19,

$$\frac{S_y}{N} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_x \sigma_y + 3\tau^2} \quad \text{Ec.19}$$

Donde:

S_y : Límite de fluencia 290 MPa

N : Factor de seguridad = 3 para una aplicación industrial típica.

σ_x : Esfuerzo debido al Momento Flector (MPa)

σ_y : Esfuerzo debido a la carga (MPa)

τ : Esfuerzo debido al Momento Torsor (MPa).

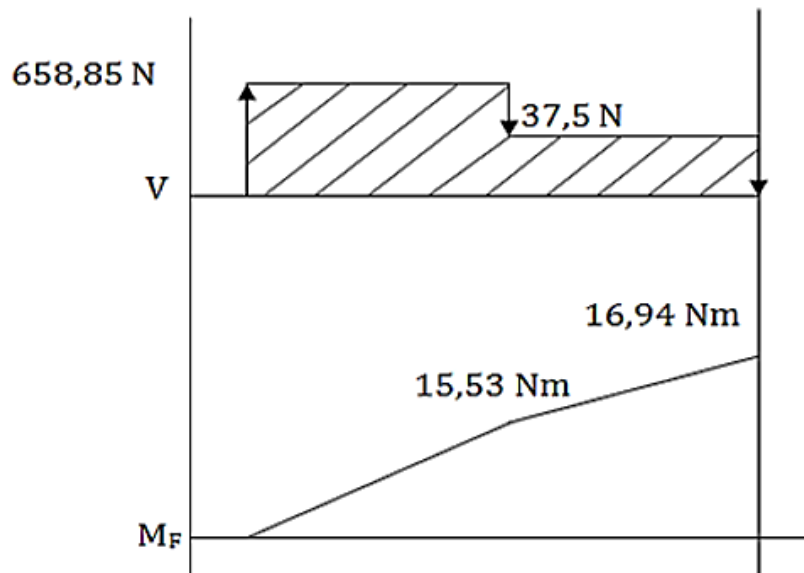


Figura 59: Diagrama de corte y momento del eje de carga del actuador 1.

Fuente: Propia (2.020)

El efecto primario de la carga de corte produce un esfuerzo a compresión y la ecuación de diseño es:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\sigma = \frac{658,85}{\pi \frac{D^2}{4}} = \frac{838,87}{D^2} = \sigma_y$$

El efecto secundario de la carga produce un esfuerzo flexión y la ecuación de diseño es:

$$\sigma_f = \frac{M_f \times c}{I} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

M_f : Momento flector [N mm]

c : Distancia a la fibra más alejada [mm]

I : Momento de inercia de la sección perpendicular al plano del radio de giro [mm⁴]

σ_f : Esfuerzo de flexión máximo [MPa].

Reemplazando valores en la Ec.4, se tiene:

$$\sigma_f = \frac{15.530 \times D/2}{\pi \frac{D^4}{64}} = \frac{158.186,91}{D^3} = \sigma_x$$

El momento torsor es el efecto terciario de las cargas y el esfuerzo se calcula mediante la Ec. 15,

$$\tau = \frac{T r}{J} \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

T Momento torsor [N mm]

r : Distancia a la fibra más alejada (radio del eje) [mm]

J = Momento polar de inercia [mm⁴].

Sustituyendo valores en la Ec. 15 se tiene

$$\tau = \frac{830 \times D/2}{\frac{\pi D^4}{32}} = \frac{4.227,95}{D^3}$$

Reemplazando los resultados obtenidos y los valores del límite de fluencia y el factor de seguridad, en la Ec. 19 se tiene:

$$\frac{374}{3} = \sqrt{\left(\frac{158.186,91}{D^3}\right)^2 + \left(\frac{838,87}{D^2}\right)^2} \left(\frac{158.186,91}{D^3}\right)\left(\frac{838,87}{D^2}\right) + 3\left(\frac{4.227,95}{D^3}\right)^2$$

Al resolver por SOLVE, resulta:

$$D = 14,89 \text{ mm} \quad 15 \text{ mm.}$$

4.3.2.14 Selección de los rodamientos.

Los valores de las reacciones son las cargas que se utilizaran para la selección de los rodamientos, se sabe que la velocidad de giro eje es de 0,5 rpm, el diámetro del eje es 15 mm y que las cargas radiales en los apoyos son $F_{y1} = 658,85 \text{ N}$ y $F_{y2} = 621,35 \text{ N}$. Para efectos de cálculo se diseña el apoyo n° 1, debido a que en este caso, éste punto es el más esforzado.

Para comenzar con el diseño se debe escoger la duración requerida para el rodamiento en la aplicación prevista. La duración depende del tipo de máquina a utilizar, el caso de estudio plantea la utilización de actuadores neumáticos de giro, Avalone E. y Baumister T. (1.986), establecen que para un dispositivo de este tipo las horas de servicio (L_{10}) deben estar entre 20.000 a 30.000, (ver figura 17) por lo cual se seleccionó 20.000. Para la selección del rodamiento se necesita determinar la capacidad básica de carga presente en el apoyo del cojinete, se calcula mediante la Ec. 24 y la carga de diseño será la sumatoria de las reacciones en kg. Antes de realizar el cálculo se hace una comparación entre rodamientos utilizando el catálogo de SKF para obtener el más adecuado; seleccionando uno de bola de hilera única para los puntos 1 y 2 del eje. Se calcula L_d (Número de revoluciones de diseño) mediante la Ec. 25, tomando de la Tabla 17 una vida útil de 20.000 horas, ya que el transportador puede trabajar los tres turnos de producción las 24 horas del día.

$$L_d = 20.000 \cdot 0,5 \cdot 60(\text{min}) = 0,6 \times 10^6 \text{ rev}$$

$F_d = 658,85 \text{ N} = 67,18 \text{ kg}$ en el apoyo 1, $a = 3$ por tratarse de un rodamiento de bolas. Se tiene que:

$$C = 67,18 \left(\frac{0,6 \times 10^6}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 56,7 \text{ kg} = 0,556 \text{ kN}$$

Con esta carga se va al catálogo SKF, para el apoyo 1 como el diámetro obtenido fue de 15 mm, por consiguiente el rodamiento seleccionado será un 61802. (Ver anexo D).

· **Selección de la chumacera**

Al seleccionar el rodamiento, se elige su soporte, mejor conocido como chumacera, la cual va a depender del tipo de rodamiento elegido (de bola, rodillos, etc.), el diámetro del eje, forma del eje (si es de diámetro constante o con varios diámetros) y la ubicación de los rodamientos. Por ello la chumacera va a ser la SNL 520-617, la cual puede soportar una carga máxima admisible es de 260 kN.

4.3.2.15 Diseño del eje del motor pasó a paso

En este apartado se diseña el eje vertical que va a estar sometido a las fuerzas radiales, axiales y el momento flector causado por el brazo y por el peso de todos los elementos anteriores, como se observa en la figura 60.

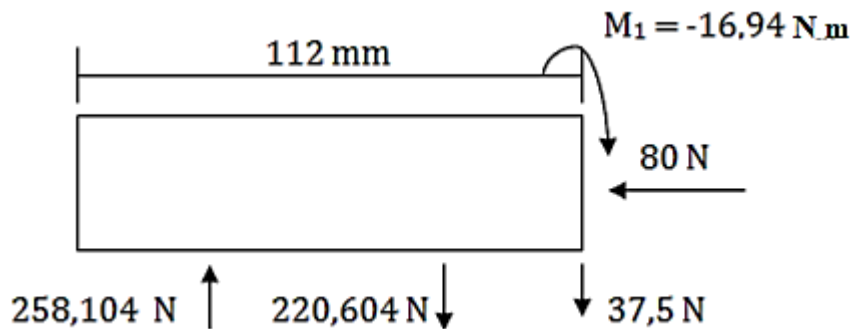


Figura 60: Diagrama de cuerpo libre del eje del motor pasó a paso.
Fuente: Propia (2.020)

Como todos los valores de las cargas que actúan están calculados, se puede construir el diagrama de corte y momento para ver la sección más esforzada, la figura 61 muestra lo que sucede.

Cabe destacar que el eje estará sometido a una carga de compresión la cual tendrá un valor máximo igual de 80 N, así mismo se realizarán los cálculos resistivos correspondientes, para determinar las dimensiones requeridas conociendo las propiedades mecánicas del material, el cual será un Acero 1040 Normalizado el cual según Budynas, R. y Nisbett, J. (2.008) en el Anexo E tiene 374 MPa como resistencia de fluencia y un módulo de elasticidad de 206,8 GPa

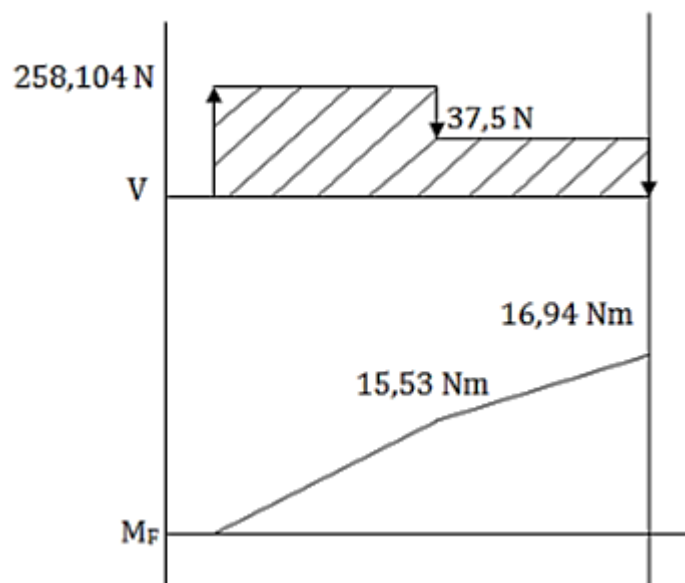


Figura 61: Diagrama de Corte y Momento del eje del motor paso a paso.
Fuente: Propia (2.020)

El efecto primario de la carga de corte produce un esfuerzo a compresión y la ecuación de diseño es:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\sigma = \frac{258,104}{\pi \frac{D^2}{4}} = \frac{328.63}{D^2} = \sigma_y$$

El efecto secundario de la carga produce un esfuerzo flexión y la ecuación de diseño es:

$$\sigma_f = \frac{M_f \times c}{I} \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

M_f : Momento flector [N mm]

c : Distancia a la fibra más alejada [mm]

I : Momento de inercia de la sección perpendicular al plano del radio de giro [mm⁴]

σ_f : Esfuerzo de flexión máximo [MPa].

Reemplazando valores en la Ec.4, se tiene:

$$\sigma_f = \frac{15.530 \times D/2}{\pi \frac{D^4}{64}} = \frac{158.186,91}{D^3} = \sigma_x$$

El momento torsor es el efecto terciario de las cargas y el esfuerzo se calcula mediante la Ec. 15,

$$\tau = \frac{T r}{J} \quad \text{Ec. 15}$$

Dónde:

T Momento torsor [N mm]

r : Distancia a la fibra más alejada (radio del eje) [mm]

J = Momento polar de inercia [mm⁴].

Sustituyendo valores en la Ec. 15 se tiene

$$\tau = \frac{830 \times D/2}{\frac{\pi D^4}{32}} = \frac{4.227,95}{D^3}$$

Reemplazando los resultados obtenidos y los valores del límite de fluencia y el factor de seguridad, en la Ec. 19 se tiene:

$$\frac{374}{3} = \sqrt{\left(\frac{158.186,91}{D^3}\right)^2 + \left(\frac{328.63}{D^2}\right)^2} \quad \left(\frac{158.186,91}{D^3}\right)\left(\frac{838,87}{D^2}\right) + 3\left(\frac{4.227,95}{D^3}\right)^2$$

Al resolver por SOLVE, resulta:

$$D = 10,99 \text{ mm} \quad 11 \text{ mm.}$$

Verificación de pandeo del eje

Se debe verificar que la dimensión antes calculada, correspondiente al diámetro del eje es la adecuada, y garantizar que el mismo no presentará falla por pandeo, éste análisis se realiza mediante el estudio de la pieza sometida a un esfuerzo de compresión de donde se tiene:

La carga a la que estará sometido el eje será la correspondiente a las cargas presentes en el dispositivo de recolección la cual es igual a 80 N, primero se debe calcular el coeficiente de esbeltez límite, para posteriormente determinar si el eje es considerado una columna corta o una columna larga. El coeficiente de esbeltez límite se calcula con la ecuación

$$\overline{R}|_{\text{Límite}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 nE}{S_{ycomp}}}$$

Dónde:

$\frac{h}{R}$ Esbeltez

n : Factor de fijación de extremos = $\frac{1}{4}$ (Ec. 9)

E = Módulo de elasticidad del material de fabricación 206,8 GPa

S_{ycomp} Esfuerzo de fluencia a compresión, 374 MPa .

$$\overline{R}|_{\text{Límite}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 (206,8 \times 10^9)}{4(374 \times 10^6)}} = 52,24$$

$$\text{El radio de giro } R = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\pi D^4}{64d^2/4}} = \frac{D}{4}$$

Con la longitud de columna = 112 mm y radio de giro $R = D/4 = 2,75$ se calcula la esbeltez real, esto es:

$$\bar{R} = \frac{112}{2,75} = 40,73$$

Como la esbeltez real es menor que el límite se debe diseñar según el criterio de Jhonson, de acuerdo a la representación gráfica de los criterios de pandeo de Euler y Jhonson representados en la figura 13. La fórmula es,

$$\frac{P_{cr}}{A} = S_{ycomp} \left(\frac{S_{ycomp}}{2\pi} \right)^2 \frac{1}{n E} \left(\frac{h}{R} \right)^2 \quad \text{Ec. 10}$$

$$\frac{P_{cr}}{A} = 374 \times 10^6 \left(\frac{374 \times 10^6}{2\pi} \right)^2 \frac{(40,73)^2}{0,25(206,8 \times 10^9)}$$

$$P_{cr} = 260,3 \times 10^6 \left[\frac{\pi}{4} (0,011)^2 \right] = 24.738 \, 21 \, N.$$

La carga que lleva a la inestabilidad elástica al pistón hueco es de 24.738 21 N y la carga suministrada por el estado de fuerzas es de 80 N lo que lleva a concluir que las dimensiones propuestas para el eje son las adecuadas y garantizan el correcto funcionamiento del mismo.

4.3.2.16 Selección de los rodamientos.

Los valores de las reacciones son las cargas que se utilizaran para la selección de los rodamientos, se sabe que la velocidad de giro eje es de 0,5 rpm, el diámetro del eje es 11 mm y que las cargas radiales en los apoyos son $F_{y1} = 258,104 \, N$ y $F_{y2} = 220.604 \, N$ y una carga axial igual a 80 N.

Las condiciones son las mismas y se puede esperar la misma duración, por lo tanto se calcula L_d (Número de revoluciones de diseño) mediante la Ec. 25, tomando de la Tabla 17 una vida útil de 20.000 horas, ya que el transportador puede trabajar los tres turnos de producción las 24 horas del día.

$$L_d = 20.000 \cdot 0,5 \cdot 60(\text{min}) = 0,6 \times 10^6 \, \text{rev}$$

La carga equivalente sobre el rodamiento se obtiene de fórmulas como la siguiente:

$$P = X V F_r + Y F_a \quad \text{Ec. 22}$$

Se supone $Y = 1,5$

$$P = 0,56(1)(258,104) + 1,5 (80) = 264,53 N = F_d.$$

La carga necesaria C para una carga y una vida útil de diseño específicas será:

$$C = F_d \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{a}}$$

$F_d = 264,53 N = 26.97 \text{ kg}$ en el apoyo 1, $a = 3$ por tratarse de un rodamiento de bolas. Se tiene que:

$$C = 264,53 \left(\frac{0,6 \times 10^6}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,223 \text{ kN}$$

Con esta carga se va al catálogo SKF, para el apoyo 1 como el diámetro obtenido fue de 11 mm, pero los rodamientos se consiguen de 12 mm, por consiguiente el rodamiento seleccionado será un 61801, de diámetro 12 mm y que soporta hasta 1,74 kN. (Ver anexo D).

4.3.2.17 Diseño de la base del actuador 1

La base se diseña para que soporte el peso del actuador, las fuerzas trasladadas del brazo, las reacciones que sostienen ese eje y el momento de la fuerza trasladada. En la figura 62, se observa la ubicación de las fuerzas y la reacción donde va a estar apoyada la lámina.

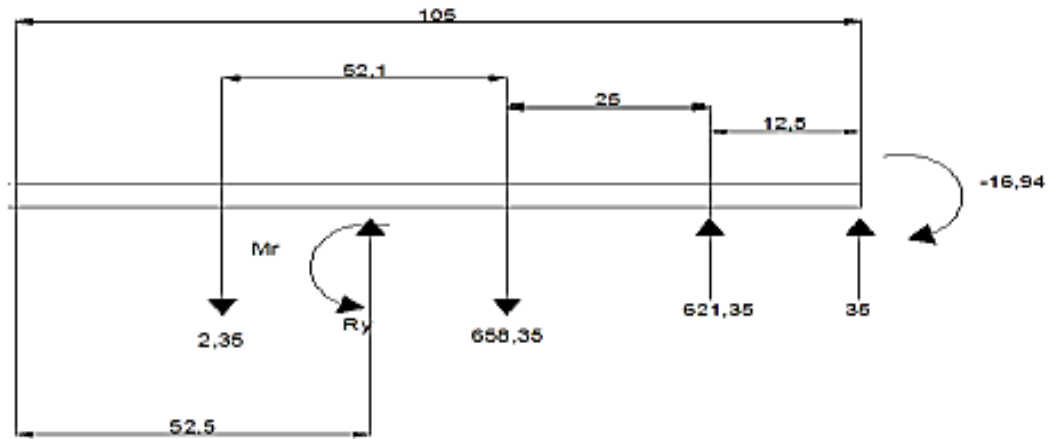


Figura 62: Diagrama de Cuerpo Libre de la Base.
Fuente: Propia (2.020)

Por equilibrio, en dirección vertical,

$$F_y = 0 \quad R_y \quad 658,35 \quad 2,35 + 625,35 + 35 = 0 \quad R_y = 4,35 \text{ N}$$

$$\sum M = 0 \quad 2,35(0,015) + 4,35(0,052) \quad 658,35(0,0675) + 621,35(0,092) \\ + 35(0,105) + M_r + 16,94 = 0$$

$$M_4 = 33,84 \text{ N m.}$$

Utilizando las reacciones y el momento flector calculado anteriormente se realiza el diagrama de corte y momento, para determinar el punto de esfuerzo máximo (punto crítico de diseño), el cual se puede observar en la figura 63.

Como puede observarse en la referida figura 63 el momento máximo está ubicado en el lugar de la fuerza máxima y en este punto va a tender a fallar por ello. Con ese valor se calculan los esfuerzos para encontrar el espesor más adecuado para que soporte todas las reacciones.

Para la fabricación de esta base se utiliza el mismo material que para la realización de los ejes, un acero al carbono comercial y con un límite a la fluencia

alto, el cual es ANSI 1040 Normalizado con $S_y = 374 \text{ MPa}$ como puede verse en el Anexo E.

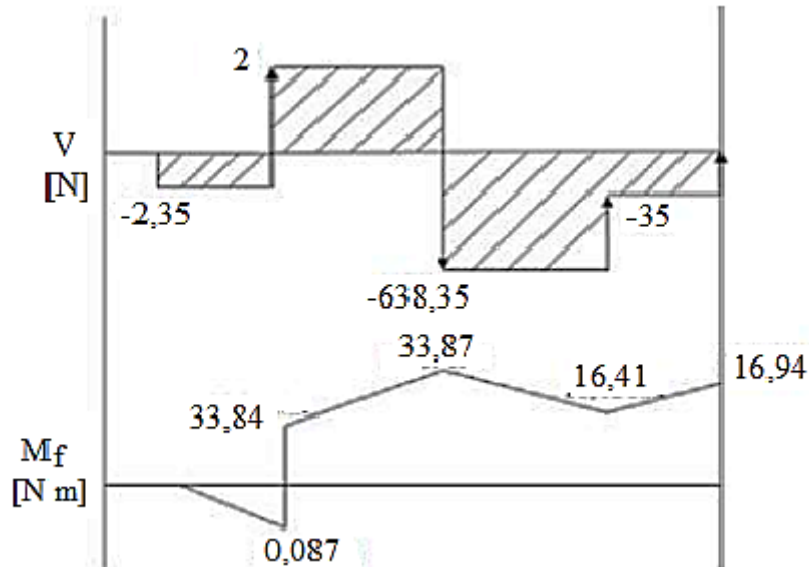


Figura 63: Diagrama de corte y momento de la Base.
Fuente: Propia (2.020)

El efecto primario de la carga de corte produce un esfuerzo a compresión y la ecuación de diseño es:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\sigma = \frac{638,35}{105e} = \frac{6,08}{e} = \sigma_y$$

Siendo e el espesor más apropiado de la lámina

El efecto secundario de la carga produce un esfuerzo flexión y la ecuación de diseño es:

$$\sigma_f = \frac{M_f \times c}{I} \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

M_f : Momento flector [N mm]

c : Distancia a la fibra más alejada [mm]

I : Momento de inercia de la sección perpendicular al plano del radio de giro $\frac{L e^3}{12}$ [mm^4](Ver Anexo F).

σ_f : Esfuerzo de flexión máximo [MPa].

Reemplazando valores en la Ec.4, se tiene:

$$\sigma_f = \frac{33.870 \times e/2}{\frac{105 e^3}{12}} = \frac{1.935,431}{e^2} = \sigma_x$$

El momento torsor es el efecto terciario de las cargas y el esfuerzo se calcula mediante la Ec. 15,

$$\tau = \frac{T r}{J} \quad \text{Ec. 15}$$

Dónde:

T Momento torsor [$N \text{ mm}$]

r : Distancia a la fibra más alejada (*radio del eje*) [mm]

$J =$ Momento polar de inercia $\frac{L e^3}{12} + \frac{e L^3}{12}$ [mm^4](Ver Anexo F).

Sustituyendo valores en la Ec. 15 se tiene

$$\tau = \frac{830 \times e/2}{\frac{105 e^3}{12} + \frac{e (105)^3}{12}} = \frac{415}{8,75e^2 + 96.468,74}$$

Reemplazando los resultados obtenidos y los valores del límite de fluencia y el factor de seguridad, en la Ec. 19 se tiene:

$$\frac{374}{3} = \sqrt{\left(\frac{1.935,431}{e^2}\right)^2 + \left(\frac{6,08}{e}\right)^2 + \left(\frac{1.935,431}{e^2}\right)\left(\frac{6,08}{e}\right) + 3\left(\frac{415}{8,75e^2 + 96.468,74}\right)^2}$$

Al resolver por SOLVE, resulta:

$$D = 5,77 \text{ mm} \quad 6 \text{ mm}.$$

Para el valor del espesor se toma un valor entero superior inmediato.

4.3.2.18 Base vertical para soportar la chumacera del motor paso a paso.

El diseño de la base vertical se realiza para soportar las chumaceras de los rodamientos del eje, que va a absorber el momento y la carga axial que el eje no puede sobrellevar, haciendo así que el motor solo transmita el movimiento a este eje. En la figura 64, se puede observar el punto de empotramiento para que la base vertical soporte las reacciones y el momento que se traslada desde el brazo. Las reacciones se calculan de la misma forma como se realizó la sumatoria de fuerza en la base del actuador giratorio 1.

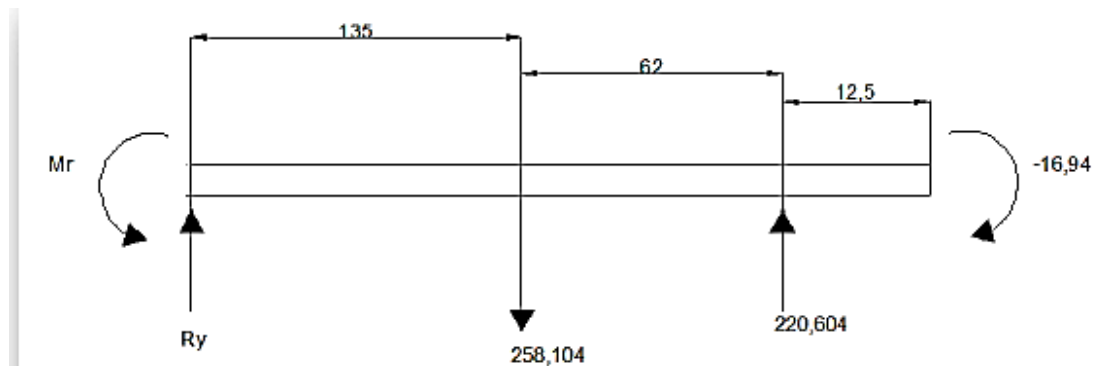


Figura 64: Diagrama de cuerpo libre de la base vertical
Fuente: Propia (2.020)

Por equilibrio, en dirección vertical,

$$F_y = 0 \quad R_y + 220,604 - 258,104 = 0 \quad R_y = 37,5 \text{ N}$$

$$M = 0 \quad 16,94 - 220,604(0,062) + M_r = 0$$

$$M_r = 30,62 \text{ N m.}$$

El diagrama de corte y momento de la base vertical se puede apreciar en la figura 65. Como puede verse en la referida figura 65 el momento máximo se encuentra en una de las reacciones, lo cual es lógico, ya que en ese punto va a tender a fallar, porque en ese punto se tiene la fuerza mayor, además de que se encuentran los dos

momentos. Con éste valor se calculan los esfuerzos, con el fin de encontrar el espesor más adecuado para que soporte todas las reacciones.

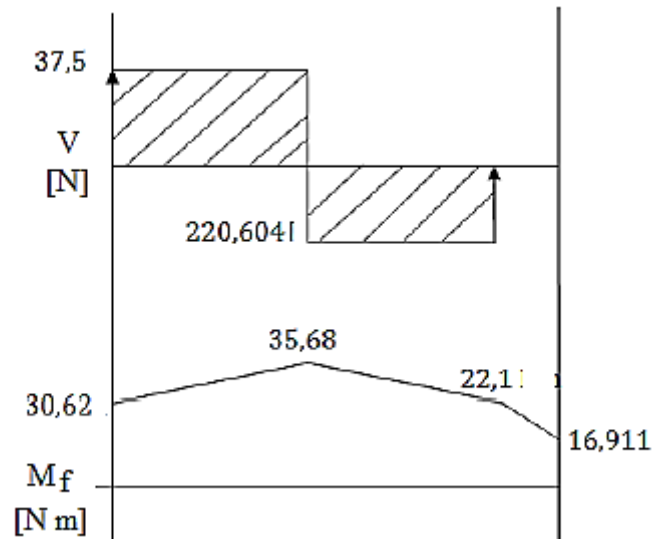


Figura 65: Diagrama de Corte y Momento de la base vertical
Fuente: Propia (2.020)

Para la fabricación de esta base se utiliza el mismo material que para la realización de los ejes, un acero al carbono comercial y con un límite a la fluencia alto, el cual es un AISI 1040 Normalizado, cuyas propiedades se pueden ver en el Anexo E. Siguiendo el mismo procedimiento de diseño de la base del actuador 1, se tiene:

El efecto primario de la carga de corte produce un esfuerzo a compresión y la ecuación de diseño es:

$$\sigma = \frac{P}{A} \tag{Ec. 2}$$

$$\sigma = \frac{258,104}{22e} = \frac{1,1626}{e} = \sigma_y$$

Siendo e el espesor más apropiado de la lámina

El efecto secundario de la carga produce un esfuerzo flexión y la ecuación de diseño es:

$$\sigma_f = \frac{M_f \times c}{I} \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

M_f : Momento flector [N mm]

c : Distancia a la fibra más alejada [mm]

I : Momento de inercia de la sección perpendicular al plano del radio de giro $\frac{L e^3}{12}$ [mm⁴](Ver Anexo F).

σ_f : Esfuerzo de flexión máximo [MPa].

Reemplazando valores en la Ec.4, se tiene:

$$\sigma_f = \frac{35680 \times e/2}{\frac{222 e^3}{12}} = \frac{964,32}{e^2} = \sigma_x$$

El momento torsor es el efecto terciario de las cargas y el esfuerzo se calcula mediante la Ec. 15,

$$\tau = \frac{T r}{J} \quad \text{Ec. 15}$$

Dónde:

T Momento torsor [N mm]

r : Distancia a la fibra más alejada (radio del eje) [mm]

J = Momento polar de inercia $\frac{L e^3}{12} + \frac{e L^3}{12}$ [mm⁴](Ver Anexo F).

Sustituyendo valores en la Ec. 15 se tiene

$$\tau = \frac{830 \times e/2}{\frac{222 e^3}{12} + \frac{e (222)^3}{12}} = \frac{415}{18,5e^2 + 911754}$$

Reemplazando los resultados obtenidos y los valores del límite de fluencia y el factor de seguridad, en la Ec. 19 se tiene:

$$\frac{374}{3} = \sqrt{\left(\frac{964,32}{e^2}\right)^2 + \left(\frac{1,1626}{e}\right)^2} \left(\frac{964,32}{e^2}\right) \left(\frac{1,1626}{e}\right) + 3 \left(\frac{415}{18,5e^2 + 911754}\right)^2$$

Al resolver por SOLVE, resulta:

$$D = 4,07 \text{ mm} \quad 4 \text{ mm.}$$

4.3.2.19 Base del actuador giratorio 2

En el diseño de los ejes se debe desarrollar igualmente una base para sostener cada elemento mecánico y de control, teniendo en cuenta las fuerzas a las que va a estar sometida la lámina, se calculará el espesor apropiado. Para ello, se representaron las fuerzas a la que estará sometida, la base, como se muestra en la figura 66:

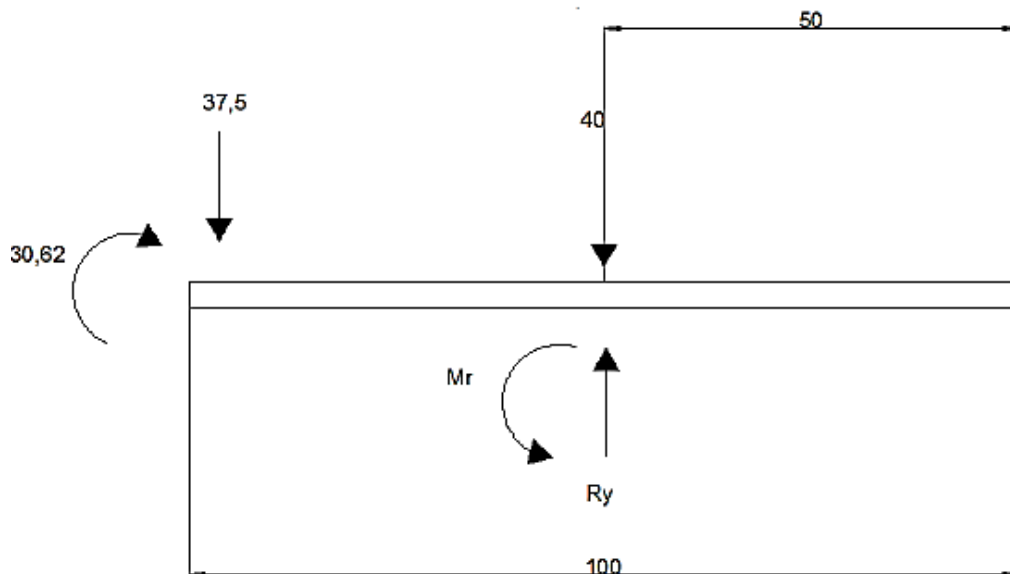


Figura 66: Diagrama de cuerpo libre de la lámina base

Fuente: Propia (2.020)

Por equilibrio, en dirección vertical,

$$F_y = 0 \quad R_y - 40 - 37,5 = 0 \quad R_y = 77,5 \text{ N}$$

$$M = 0 \quad 40(0,05) - 77,5(0,05) - 30,62 + M_r = 0$$

$$M_r = 28,742 \text{ N m.}$$

El diagrama de corte y momento de la base vertical se puede apreciar en la figura 67. Como puede verse en la referida figura 65 el momento máximo se encuentra en una de las reacciones, lo cual es lógico, ya que en ese punto va a tender a fallar, porque en ese punto se tiene la fuerza mayor, además de que se encuentran los dos

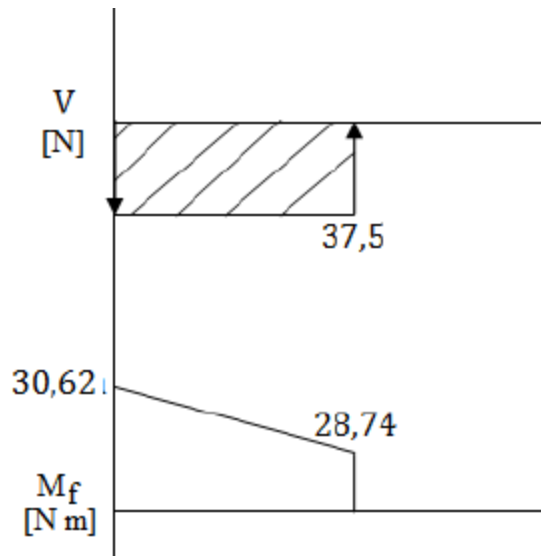


Figura 67: Diagrama de Corte y Momento de la base
Fuente: Propia (2.020)

El momento máximo es el trasladado por la base vertical que sostiene el eje, como se observa en el diagrama de corte y momento mostrado en la figura 67. Con éste valor de momento igual que en el apartado anterior se calculan los esfuerzos para encontrar el espesor adecuado. Para la fabricación de esta base se utiliza el mismo material que para la realización de los ejes, un acero al carbono comercial y con un límite a la fluencia alto, el cual es un AISI 1040 Normalizado, cuyas propiedades mecánicas ya se conocen del Anexo E. Utilizando el mismo procedimiento que para el diseño anterior se tiene:

El efecto primario de la carga de corte produce un esfuerzo a compresión y la ecuación de diseño es:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\sigma = \frac{77,5}{100e} = \frac{0,775}{e} = \sigma_y$$

Siendo e el espesor más apropiado de la lámina

El efecto secundario de la carga produce un esfuerzo flexión y la ecuación de diseño es:

$$\sigma_f = \frac{M_f \times c}{I} \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

M_f : Momento flector [$N \text{ mm}$]

c : Distancia a la fibra más alejada [mm]

I : Momento de inercia de la sección perpendicular al plano del radio de giro $\frac{L e^3}{12}$ [mm^4](Ver Anexo F).

σ_f : Esfuerzo de flexión máximo [MPa].

Reemplazando valores en la Ec.4, se tiene:

$$\sigma_f = \frac{30620 \times e/2}{\frac{100 e^3}{12}} = \frac{1.837,20}{e^2} = \sigma_x$$

El momento torsor es el efecto terciario de las cargas y el esfuerzo se calcula mediante la Ec. 15,

$$\tau = \frac{T r}{J} \quad \text{Ec. 15}$$

Dónde:

T Momento torsor [$N \text{ mm}$]

r : Distancia a la fibra más alejada (*radio del eje*) [mm]

J = Momento polar de inercia $\frac{L e^3}{12} + \frac{e L^3}{12}$ [mm^4](Ver Anexo F).

Sustituyendo valores en la Ec. 15 se tiene

$$\tau = \frac{830 \times e/2}{\frac{100 e^3}{12} + \frac{e (100)^3}{12}} = \frac{415}{8,33e^2 + 83.333,33}$$

Reemplazando los resultados obtenidos y los valores del límite de fluencia y el factor de seguridad, en la Ec. 19 se tiene:

$$\frac{374}{3} = \sqrt{\left(\frac{1.837,20}{e^2}\right)^2 + \left(\frac{0,775}{e}\right)^2} \left(\frac{1.837,20}{e^2}\right)\left(\frac{0,775}{e}\right) + 3\left(\frac{415}{8,33e^2 + 83.333,33}\right)^2$$

Al resolver por SOLVE, resulta:

$$D = 5,63m$$

Para las demás bases se utilizó el mismo procedimiento teniendo en cuenta sus respectivos esfuerzos y localizaciones, teniendo como resultado lo siguiente:

- Para la base del actuador lineal la lámina tiene las siguientes especificaciones: base de 100 x 100 milímetros, con un espesor determinado de 4,3 mm.
- Para la base del motor paso a paso la lámina tiene las siguientes especificaciones: 120 x 120 milímetros, con un espesor calculado de 6,9 mm.
- La plataforma móvil va a tener las siguientes especificaciones: 120 x 120 milímetros, con un espesor de 7,2 mm.
- La base vertical para sostener los rieles que van a hacer que se eleve el dispositivo mediante la extensión del vástago del cilindro lineal, va a ser diseñado de la misma manera que las anteriores, ya que solo tiene que soportar el peso del riel y es sumamente pequeño, pero no puede ser despreciado porque va a causar un momento flector. Las dimensiones de esta base vertical van a ser de 150 milímetros de alto x 60 de ancho, con un espesor determinado de 2,4 mm.

Para la protección de los actuadores se le colocaron carcasas de una lámina delgada como diseño de forma, estas carcasas no van a soportar ningún tipo de fuerza, ya que solo son para estética del diseño. Por ello no se colocan medidas específicas para que sea a juicio del consumidor.

4.3.2.20 Ruedas y rieles para elevación del dispositivo

Este tipo de ruedas van a ir colocadas en los extremos de la carcasa del actuador giratorio 2, conectadas a ellas mediante 2 tornillos M4 (véase la figura 7- Anexo A), estas ruedas son para orientar el desplazamiento hacia arriba, haciendo que no pierda el equilibrio y anulando la fricción entre las carcasas. En la figura 68, se observa el modelo de las ruedas y se establece la longitud del riel dependiendo de la carrera del actuador lineal, la cual es de 100 mm. (Véase figura 8- Anexo B).



Figura 68: Esquema de las ruedas en su riel

Fuente: http://www.daltonbearing.com/uploadFiles/supplier/brochure_504.pdf (2.020)

Las especificaciones del riel seleccionado son las siguientes:

- Las ruedas van a tener un largo de 79.9 mm.
- El espesor de las ruedas dentro del riel es de 22 mm
- El peso del riel es de 0,163 kg , lo que equivale a 1,598 N.

4.3.2.21 Ruedas para el desplazamiento del dispositivo

Para movilizar el dispositivo se seleccionaron ruedas y perfiles en V ya que le proporcionan mayor estabilidad al sistema. Estas ruedas deben soportar una fuerza mayor a 93 N, por ello se eligieron ruedas de acero de diámetro 14,83 milímetros (mm), como se observa en la figura 69.



Figura 69: Rueda de la Base del dispositivo.
Fuente: Catálogo FESTO (2.020)

El peso de cada rueda es de 0,25 Kg, para mayor información revisar la figura 11 del Anexo B, donde se puede apreciar una página del catálogo de las mismas.

4.3.2.22 Riel para el desplazamiento del dispositivo

La selección del riel depende de la rueda, por ello se seleccionó uno del tamaño 1 (véase figura 12 del Anexo B), el cual se adapta perfectamente a la rueda seleccionada. En la figura 70 se pueden apreciar los rieles de diferentes tamaños.

Cesta de Almacenamiento de Partículas

Para el cálculo de las dimensiones de las cestas de almacenamiento se utilizaron datos proporcionados por la empresa, en donde se aprecia el promedio del peso recolectado de tres a cuatro días, el cual es de 400 kg aproximadamente. Estas dimensiones van a depender de dos aspectos principales; del espacio disponible donde se va a colocar la cesta y la capacidad de ella para continuar la rutina de recolección. El volumen del depósito se calcula con la ecuación de la densidad.

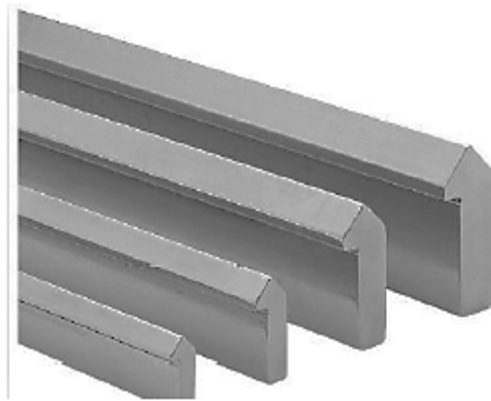


Figura 70: Riel para el desplazamiento del dispositivo
Fuente: Catálogo FESTO (2.020)

Se sabe que la densidad de un líquido es:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ec. 41}$$

Dónde:

ρ : Densidad [kg/m³]

V = Volumen [m³]

m = masa [kg]

Ya que se conoce la densidad del material (ver figura 9), el volumen resulta ser:

$$V = \frac{400}{963} = 0,4154 \text{ m}^3.$$

Para dimensionar el depósito se divide el volumen para los tres depósitos y se toma en cuenta el lugar a colocar, por ello la base debe ser 35 x 35 cm, y para que se cumpla el volumen calculado anteriormente, la altura del depósito debe ser el siguiente:

$$0,1385\text{m}^3 = 0,35 \times 0,35 \times \quad = 1,13 \text{ m}.$$

4.3.2.23 Base de la Plataforma móvil

La base donde se va a sostener el dispositivo va a tener las siguientes dimensiones (Véase en la figura3 Anexo A):

Base= 120 x 120 mm

Material ASTM – A – 36

En la figura 71 se observa la plataforma móvil, y su ubicación en el sistema.

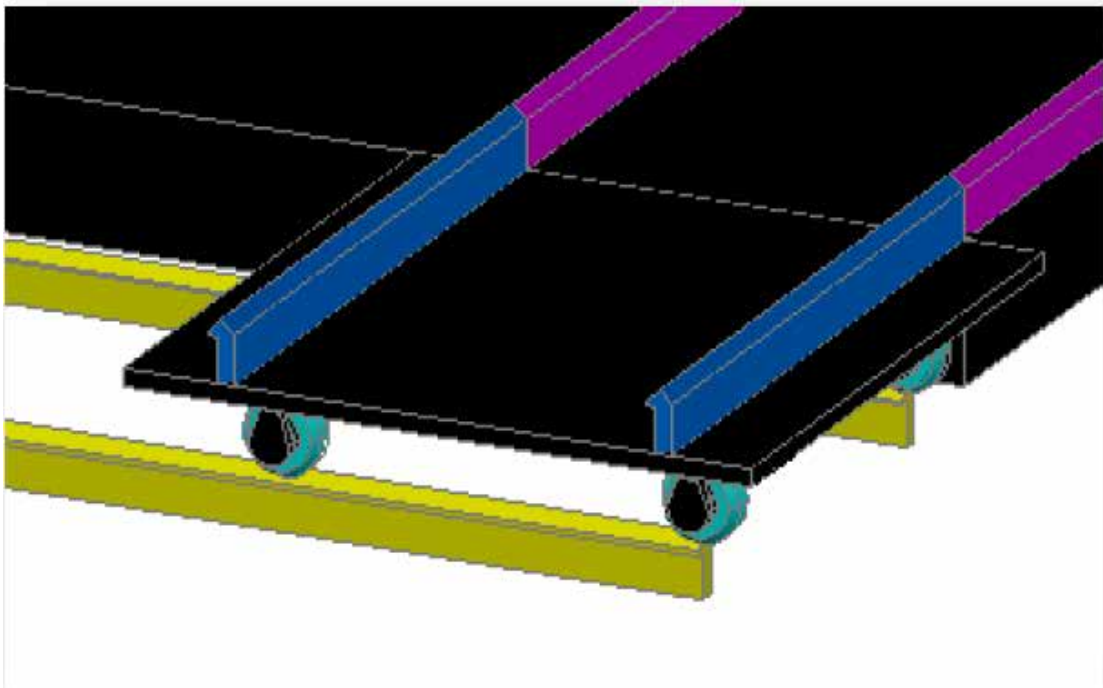


Figura 71: Plataforma móvil.

Fuente: Propia (2.020)

La plataforma consta de una lámina diseñada para el peso del dispositivo, el cual se va a acoplar a ésta, por rieles colocados encima de ella, y va a tener en su parte inferior ruedas para seguir el corrido del riel perpendicular, efectuando así el cruce alrededor del depósito. Se utilizó la selección de las mismas ruedas del dispositivo, ya que el peso de la nueva lámina entra en el rango de trabajo de éstas.

4.4 Diseñar un sistema de control para el proceso de separación, recolección y almacenamiento de las partículas de polietileno.

4.4.1 Listado de señales de entradas y salidas del sistema.

Las listas de entradas y salidas del sistema de control, se pueden observar en las tablas 10, y 11 respectivamente. Éstas explican de forma detallada la denominación exacta de cada elemento, su función dentro del sistema, el símbolo con el que se identifican en el esquema de control y la dirección que tiene en la programación del PLC (diagrama en escalera).

4.4.2 Descripción del sistema automatizado

La automatización va a consistir en el control secuencial de la extensión y retracción de siete cilindros neumáticos, seis localizados en el piso adyacente al depósito, encargados de gobernar el desplazamiento del dispositivo alrededor del depósito, con la ayuda de rieles colocados en el piso (ver figura 72) y un cilindro (colocado en el interior del dispositivo) cuya función es subir y bajar la palanca de recolección. El sistema también cuenta con dos actuadores giratorios neumáticos que harán girar la cesta, con el fin de recolectar y almacenar las partículas de polietileno. Además posee un motor paso a paso, que hará que el dispositivo gire noventa grados (+90°) cada vez que se cumplan una serie de condiciones en las plataformas móviles. Como se puede observar en la figura 73.

A continuación se presentan las condiciones a cumplir por el sistema a automatizar.

- El sistema de control inicia con la presencia del dispositivo en la plataforma móvil uno (1) (ver figura 72), con la ayuda de un sensor (B9) (visualice figura 74), que indicará que se puede comenzar a desplazar por el primer riel activando el actuador 1.0 (véase figura 75).

Tabla 10: Listas de las entradas del sistema de control

Elemento	Función	Símbolo	Dirección
Pulsador	Arranque del sistema	S1	I1
Pulsador	Parada del sistema	S2	I2
Sensor magnético	Detecta el dispositivo en el punto uno del ciclo	B9	I3
Sensor magnético	Detecta el dispositivo en el punto dos del ciclo	B10	I4
Sensor magnético	Detecta el dispositivo en el punto tres del ciclo	B11	I5
Sensor magnético	Detecta el paso del dispositivo a 4000 mm antes de terminal el primer riel	B13	I6
Sensor magnético	Detecta el paso del dispositivo a 4000 mm antes de terminal segundo riel	B14	I7
Sensor magnético	Detecta el paso del dispositivo a 4000 mm antes de terminal del tercer riel	B15	I8
Sensor magnético	Detecta el dispositivo en el punto tres del ciclo	B12	I9
Sensor inductivo	Detecta el giro de 90° del actuador 7.0	B2	I10
Sensor magnético	Detecta la extensión del cilindro 2.0	B5	I11
Sensor inductivo	Indica el giro antihorario del actuador 6.0	B1	I12
Sensor inductivo	Indica el giro horario del actuador 6.0	B4	I13
Sensor inductivo	Indica la posición inicial del actuador 7.0	B3	I14
Interruptor	Indica la señal del giro del motor paso a paso de noventa grado	S3	I15
Sensor magnético	Detecta la presencia de la plataforma móvil en el punto dos	B16	I16
Sensor magnético	Detecta la presencia de la plataforma móvil en el punto tres	B17	I17
Sensor magnético	Detecta la presencia de la plataforma móvil en el punto cuatro	B18	I18
Sensor magnético	Detecta la presencia de la plataforma móvil en el punto uno	B19	I19
Sensor magnético	Indica la extensión del cilindro 8.0	B6	I20
Sensor magnético	Indica la extensión del cilindro 9.0	B7	I21

Fuente: Propia (2.020)

Tabla 11: Listas de las salidas del sistema de control

Elemento	Función	Símbolo	Dirección
Electroválvula	Avance del cilindro 1.0	Y1	Q1
Electroválvula	Avance del cilindro 2.0	Y3	Q2
Electroválvula	Giro horario (90°) del actuador 6.0	Y11	Q3
Electroválvula	Giro antihorario (-90°) del actuador 7.0	Y14	Q4
Electroválvula	Giro antihorario (180°) del actuador 7.0	Y12	Q5
Electroválvula	Giro horario (-90°) del actuador 6.0	Y13	Q6
Electroválvula	Retracción del cilindro 2.0	Y4	Q7
Electroválvula	Retracción del cilindro 1.0	Y2	Q8
Electroválvula	Retracción del cilindro 3.0	Y6	Q9
Electroválvula	Retracción del cilindro 4.0	Y8	Q10
Electroválvula	Retracción del cilindro 10.0	Y10	Q11
Electroválvula	Avance del cilindro 9.0	Y16	Q12
Electroválvula	Avance del cilindro 3.0	Y5	Q13
Electroválvula	Avance del cilindro 4.0	Y7	Q14
Electroválvula	Avance del cilindro 10.0	Y9	Q15
Electroválvula	Avance del cilindro 8.0	Y15	Q16
Entrada del controlador	Giro del motor paso a paso	Y17	Q17

Fuente: Propia (2.020)

- Cuando la señal de B9 se pierda, activará al actuador 2.0 (que está inicialmente extendido, ya que se necesita que el brazo de recolección este un poco más arriba del depósito, para que no exista choque con el depósito al ser trasladado), retrayéndose, ocasionando el descenso del brazo recolector, para colocar la cesta en contacto con el agua del depósito, para empezar la recolección. Ver figura 73.
- Antes de terminar su recorrido por el primer riel se encuentra un sensor (B13), que emitirá una señal para que el actuador giratorio 6.0 gire el brazo de recolección, a un ángulo de -90° (considerando el sentido positivo el giro

antihorario), para así recoger las partículas y permitir que se cuele el agua, ya que durante de este proceso el actuador 1.0 (encargado de desplazar el dispositivo por el riel uno) se encontrará detenido, por unos cinco segundos, para asegurar que se realice la recolección de manera correcta. Al cumplirse dicho ángulo se activará un detector de posición (B4) que hará que el actuador 2.0 extienda nuevamente su vástago para elevar el brazo recolector y lograr al final del recorrido del riel depositar las partículas en la cesta de almacenamiento.

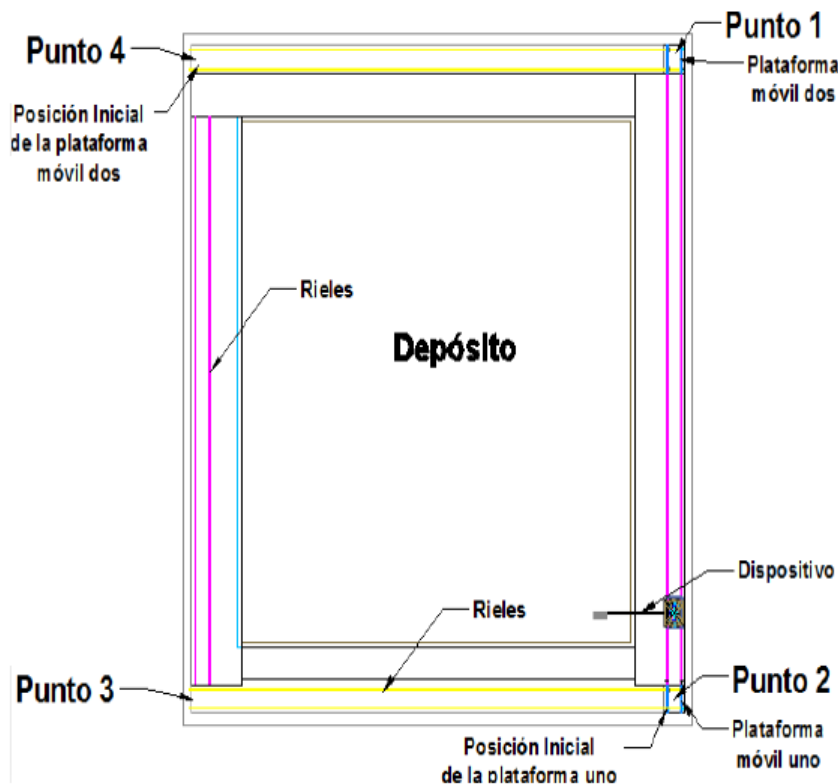


Figura 72: Posiciones de las plataformas móviles

Fuente: Propia (2.020)

- Al llegar al final, en la plataforma móvil uno (véase figura 72) se activa un sensor magnético (B10), provocando que el actuador giratorio 7.0 mueva el brazo un ángulo de 90°, activando luego un detector de posición (B2) que hará girar el

actuador 6.0 (giro de la cesta) a 180° , y quedarse allí por 3 s (con ayuda del detector de posición B1) para que logre desprenderse la masa de partículas recolectada en el primer riel. Al transcurrir este tiempo, el brazo volverá a su posición inicial con la ayuda de los dos actuadores giratorios, para luego al final de esto, activar el motor paso a paso que va a hacer girar el dispositivo completo, por medio de una bobina que se energizará, con la ayuda del sensor B3 (indicador de posición inicial del brazo recolector), y cumpliéndose 2 s de haber llegado el dispositivo al final del recorrido, este realizará el giro correspondiente (90°).

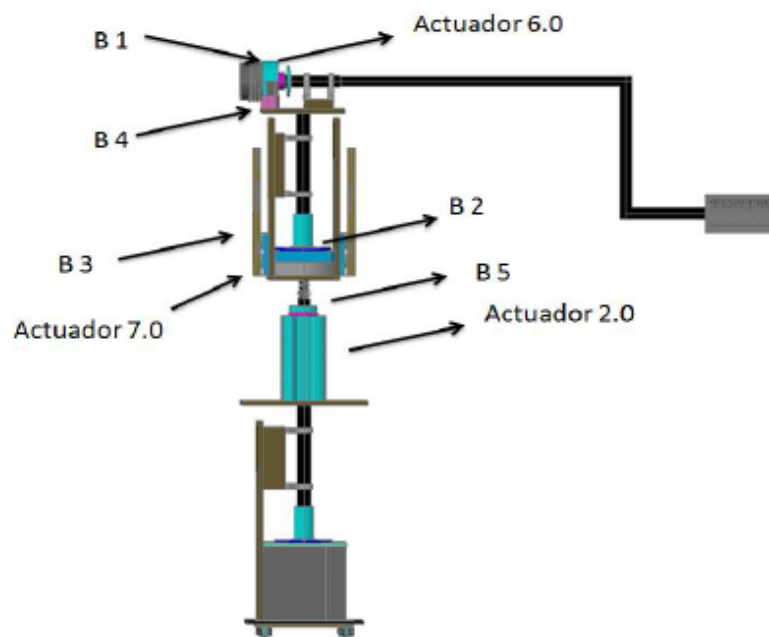


Figura 73: Esquema del sistema neumático
Fuente: Propia (2.020)

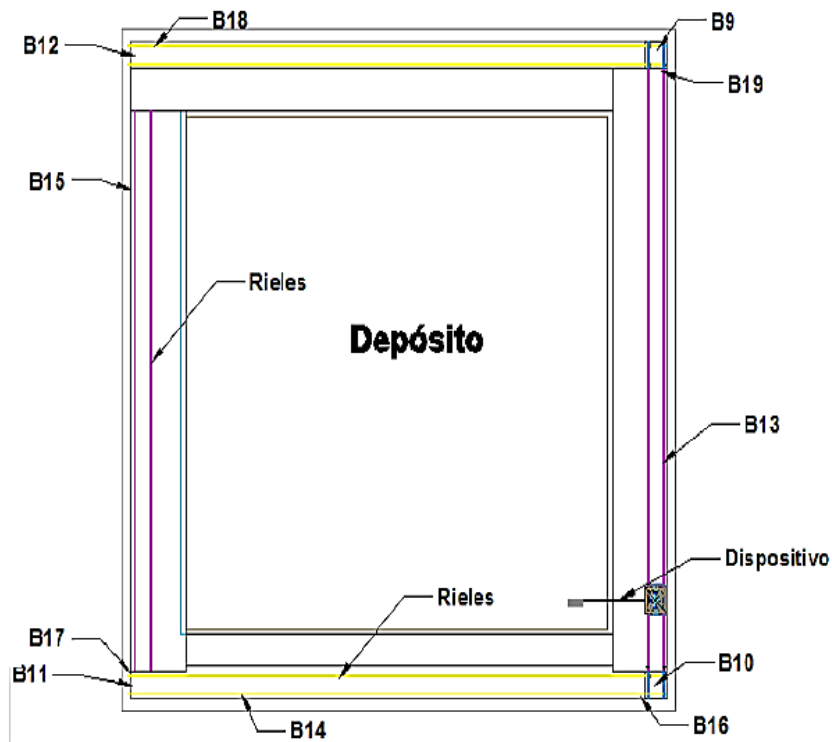


Figura 74: Distribución de sensores alrededor del depósito
Fuente: Propia (2.020)

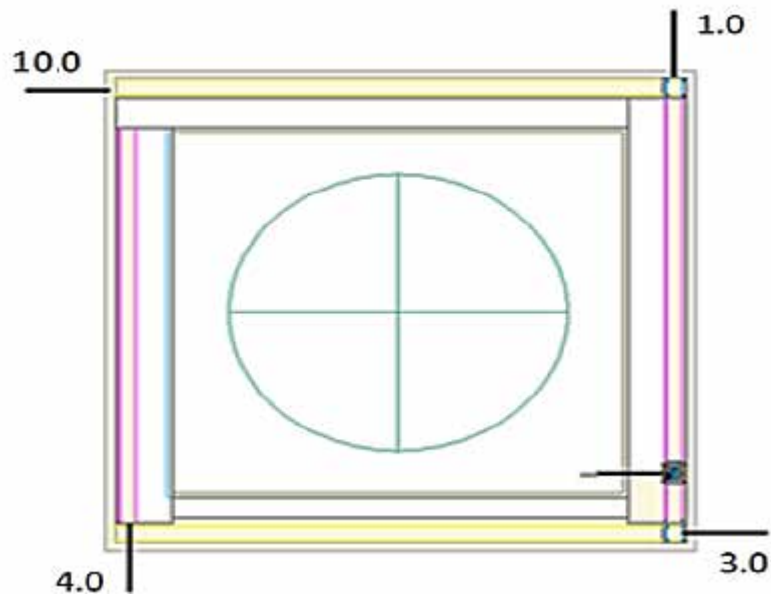


Figura 75: Esquema de la posición de los actuadores lineales en el piso de la planta
Fuente: Propia (2.020)

- Con el cumplimiento del giro del motor, conmutará un contacto S3 (contacto o suiche asociado al motor paso a paso) que junto con la presencia de la plataforma móvil en el punto dos (véase figura 72), sensada con el dispositivo B16, se comenzará a mover el cilindro 3.0, el cual desplazará a la misma por el riel dos, repitiéndose el mismo proceso que en el uno, pero con los sensores B14 (que detecta la presencia del dispositivo antes de llegar al final del riel) y B11 (representa el final del riel).
- De la misma forma, en el riel tres, el dispositivo se trasladará con la ayuda del cilindro 4.0, y los detectores del mismo, tanto del final del riel como en la distancia prevista del depósito, son B12 y B15 con efectos análogos que en los otros rieles anteriores (los representados en cada lado del depósito).
- Para detectar la presencia de la plataforma en el punto 3, 4 y 1, se utilizarán los sensores de posición B17, B18 y B19. Ver figura 74.
- Cuando no se presencie el dispositivo en los puntos 1 y 3 del sistema, se activarán los cilindros neumáticos de simple efecto 9.0 y 8.0 respectivamente (visualizar figura 76), para regresar las plataformas móviles a los sitios 4 (desplazándose desde el punto 1) y 2 (desde el punto 3). Véase figura 72.

4.4.3 Esquema de distribución neumática del sistema diseñado

El sistema neumático está compuesto por cuatro cilindros neumáticos doble efecto, gobernados por válvulas 5/2 vías biestables, dos cilindros de simple efecto con válvulas 3/2 vías monoestables, y por último, dos actuadores neumáticos giratorios, uno con una válvula 5/3 vías con centro cerrado y el otro con una 5/3 vías biestable. Otro componente del sistema, es la unidad de mantenimiento que regula y filtra el aire comprimido que utilizarán los elementos neumáticos, dicho aire viene de la línea que surte el galpón del área de molido de las gaveras.

Los cilindros neumáticos 1.0, 3.0 y 4.0 poseen cada uno dos válvulas de estrangulamiento y antiretorno (válvulas con numeración 1.01, 1.02, 3.01, 3.02, 4.01 y 4.02) colocadas en las líneas de alimentación de los cilindros. Y el actuador lineal

2.0 posee una válvula de escape rápido.

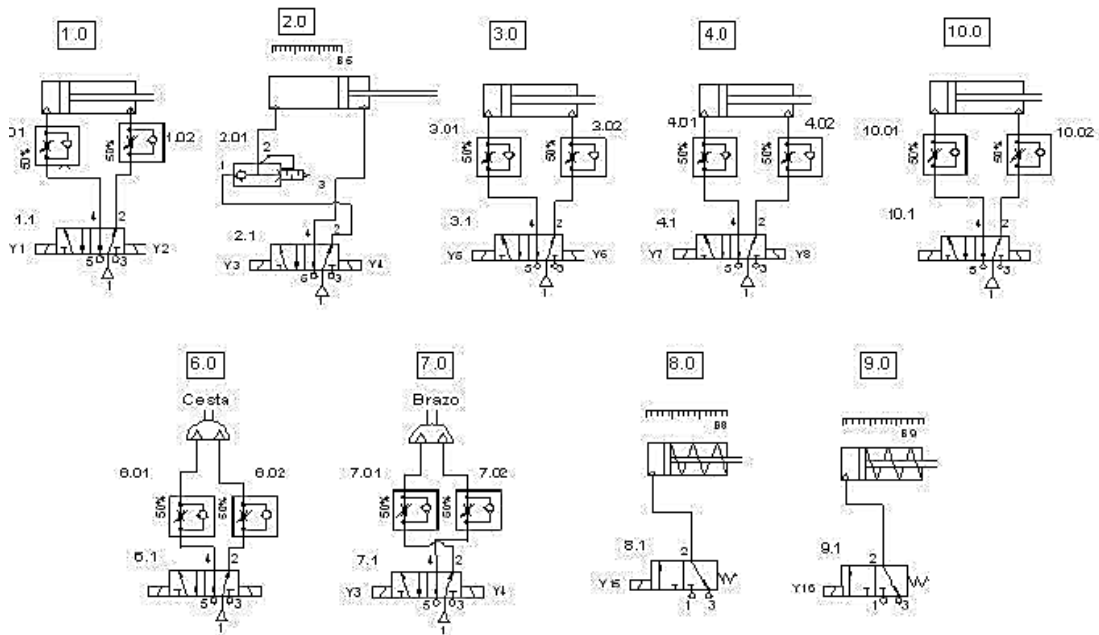


Figura 76: Esquema de distribución del sistema neumático
Fuente: Propia (2.020)

4.4.4 Selección del sistema de control.

Para administrar de manera continua las funciones del sistema automatizado, es necesario emplear un sistema de control que cumpla con las exigencias de entradas y salidas constituidas en el diseño. El sistema automatizado requiere manejar 21 entradas digitales y 17 salidas digitales, las cuales se encuentran detalladas en las tablas 10, y 11 mencionadas anteriormente. El tipo de controlador seleccionado fue un autómata programable PLC, debido a la disminución en tiempo de cableado, modificación y mantenimiento en relación con un sistema basado en lógica a relé, ya que se tendría que emplear gran cantidad de éstos, contadores y temporizadores, para que el sistema cumpliera con las funciones establecidas, mientras que con el uso del PLC, los componentes a emplear se reducen y permite la futura modificación del

sistema en caso de surgir la necesidad de agregar nuevas variables al sistema diseño por motivo de ampliaciones en el proceso.

4.4.5 Esquema de conexiones.

Las figuras 77 y 78 muestran el esquema de conexiones del sistema automatizado de recolección, separación y almacenamiento de las partículas de polietileno flotantes en el agua, con sus componentes, representando con detalle las entradas y las salidas del PLC respectivamente.

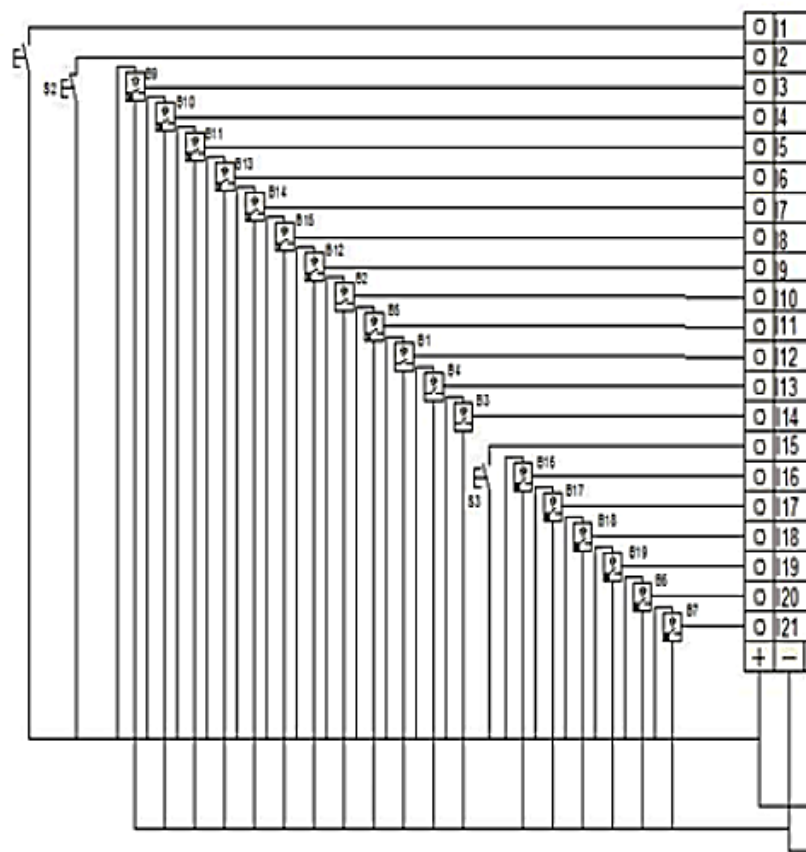


Figura 77: Representación de las entradas del PLC
Fuente: Propia (2.020)

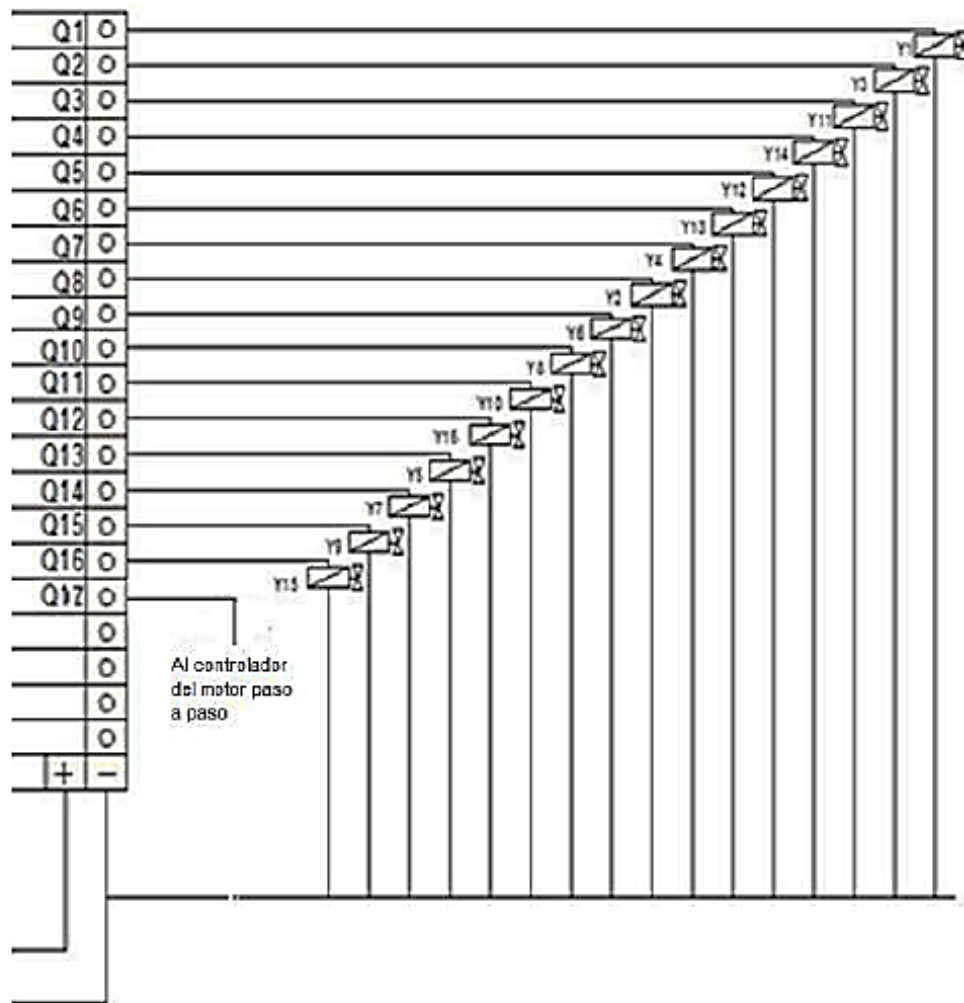


Figura 78: Representación de las salidas del PLC
Fuente: Propia (2.020)

4.4.6 Programación del PLC.

La secuencia de control que tendrá el controlador se representará mediante un diagrama de flujo debido a que no se dispone de información detallada del formato de programación del PLC seleccionado así como tampoco de los bloques de funciones asociados con la configuración del motor paso a paso. Asimismo, un diagrama de flujo facilitará la configuración del autómatas al momento de ejecutarse el proyecto planteado en el presente trabajo.

4.4.6.1 Diagrama de flujo.

Para una mejor representación del diagrama de flujo se procedió a dividir los procesos de recolección, que se repiten en los tres primeros rieles, en secuencia uno y dos, y el retorno de las plataformas móviles a su posición inicial, para luego ser incorporados en el diagrama. El proceso del retorno de las plataformas móviles a su posición inicial, se puede visualizar en la figura 79.

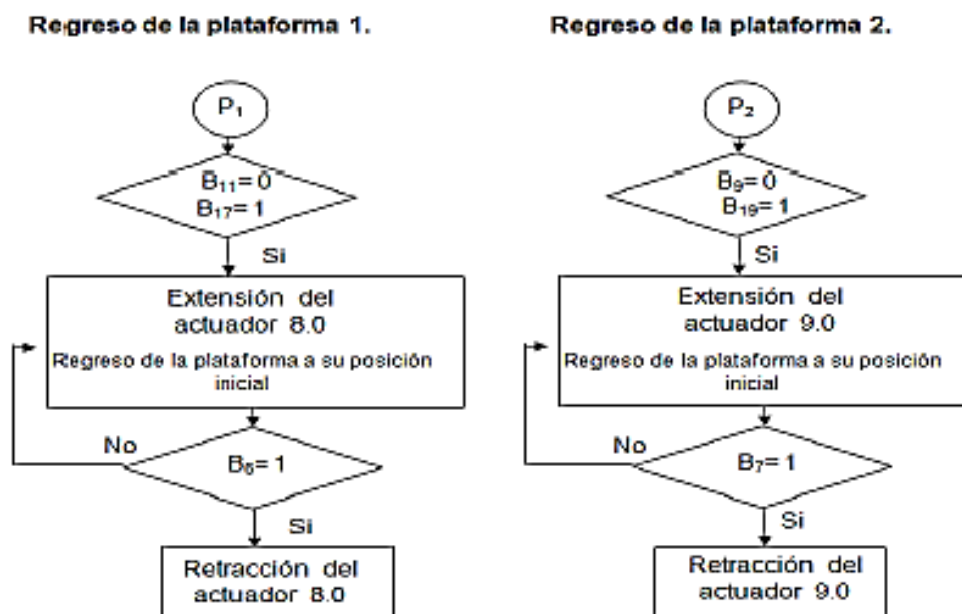


Figura 79: Retorno de las plataformas móviles.

Fuente: Propia (2.020)

El proceso de la recolección de partículas que se realiza a una distancia (400 mm) antes de terminar el recorrido en cada riel, se le llamó secuencia uno y se representa en la figura 80. Y en la figura 81 se puede apreciar la secuencia del proceso de almacenamiento realizado al final de cada riel, y para efecto del diagrama se le llamó secuencia dos.

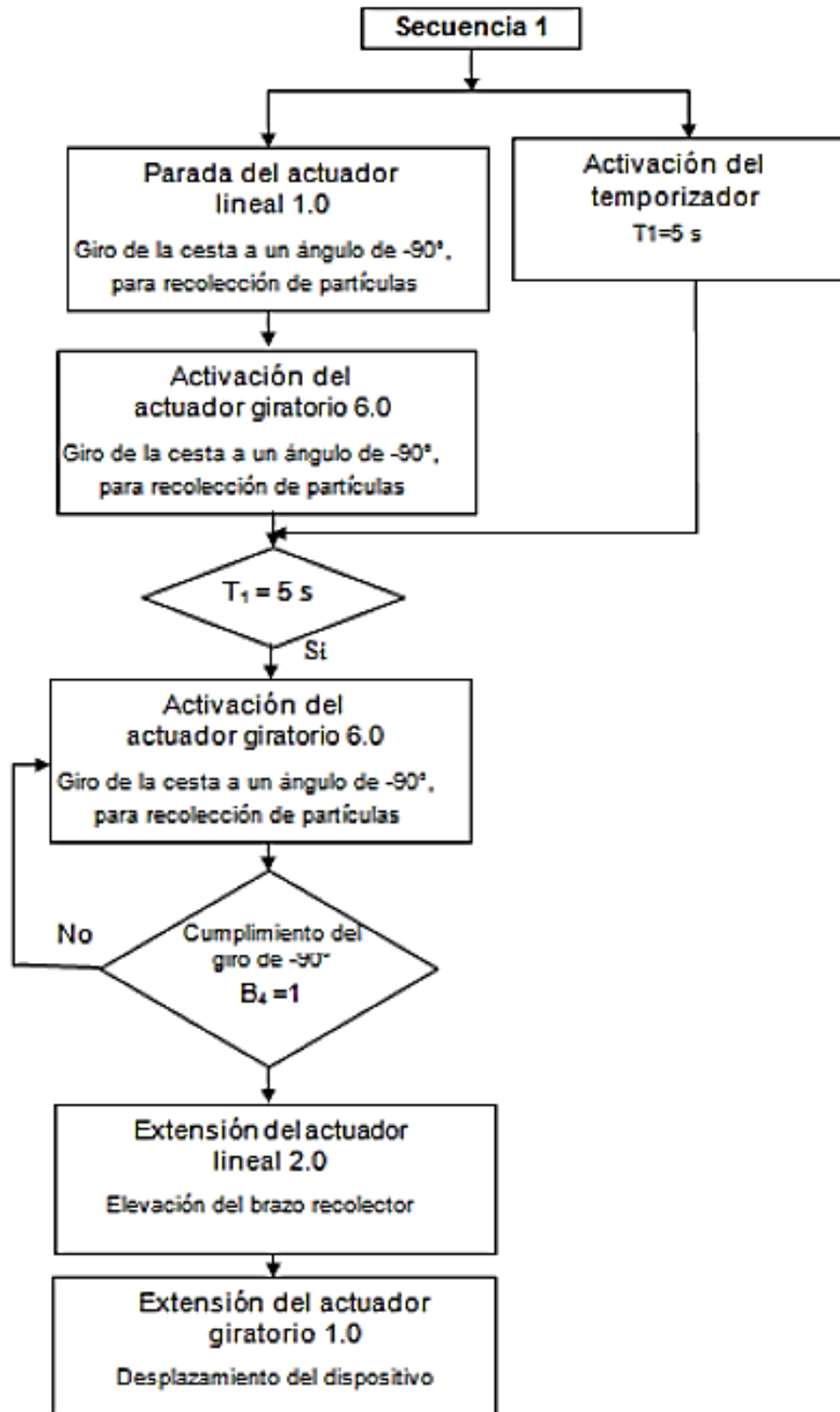


Figura 80: Diagrama de flujo de la secuencia uno.
Fuente: Propia (2.020)

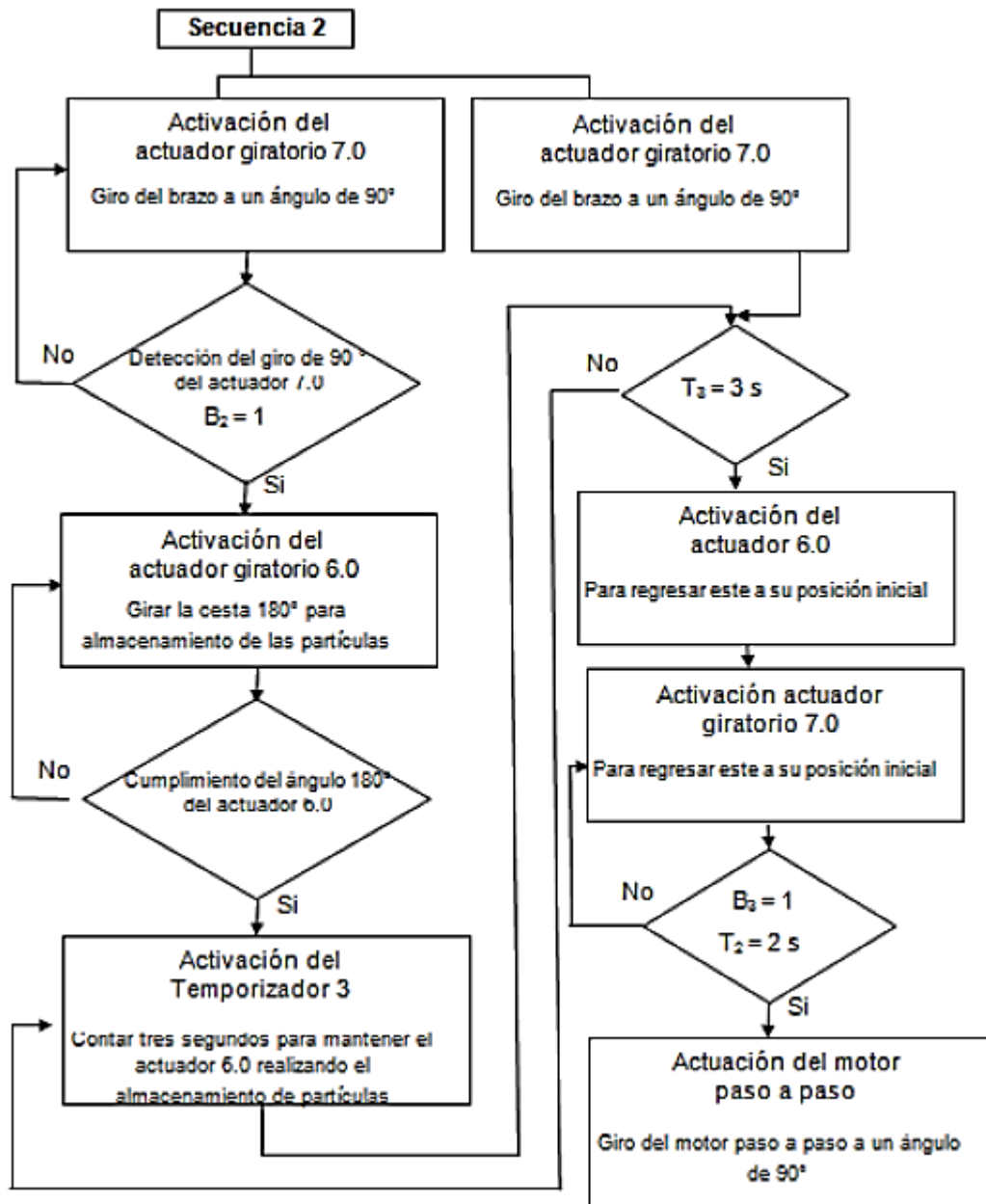


Figura 81: Diagrama de flujo de la secuencia dos.
Fuente: Propia (2.020)

Y para el diagrama de flujo del sistema completo, se utilizarán los presentados anteriormente, para las acciones que lo requieran, como se puede apreciar en la figura 82.

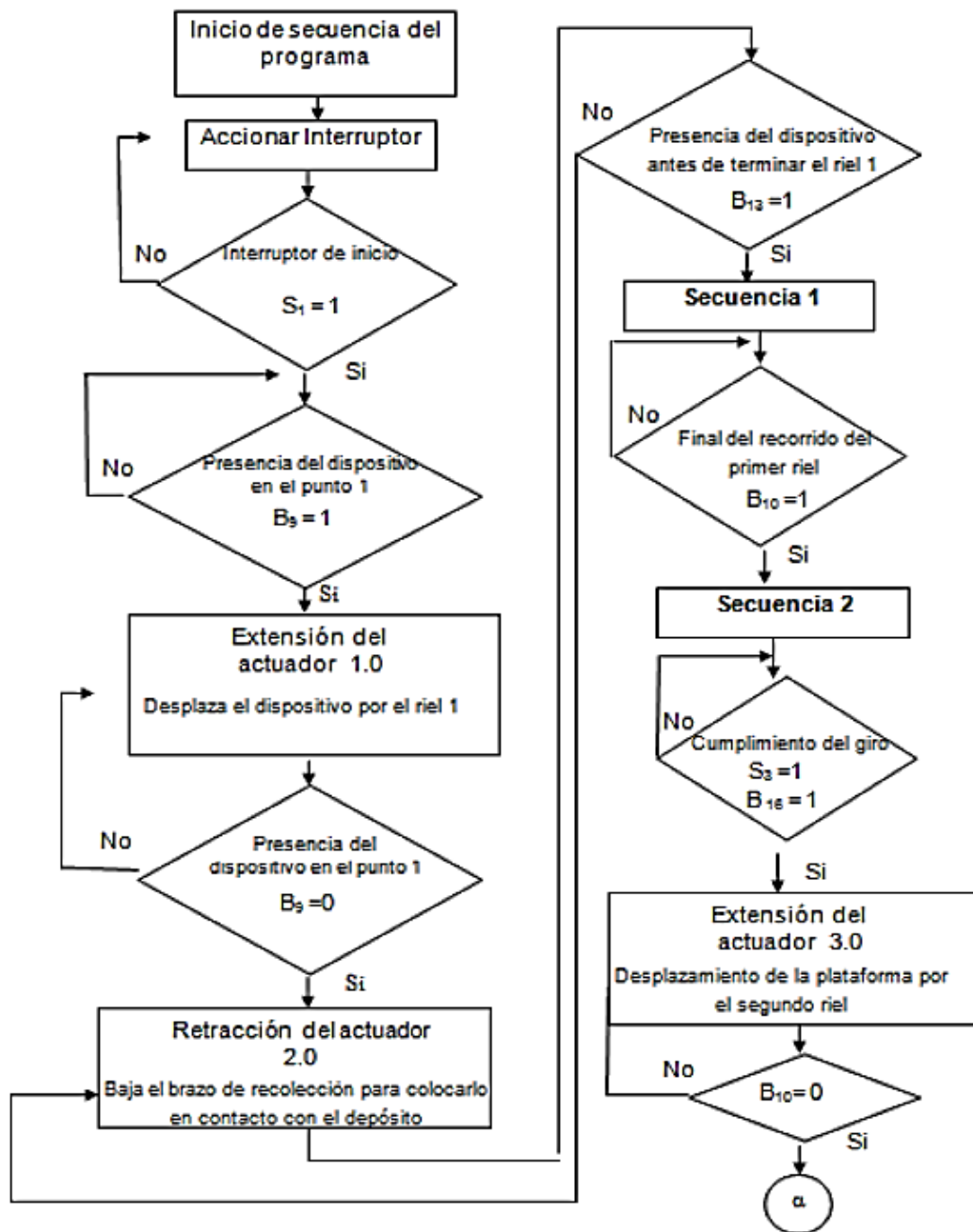


Figura 82: Diagrama de flujo del sistema.
Fuente: Propia (2.020)

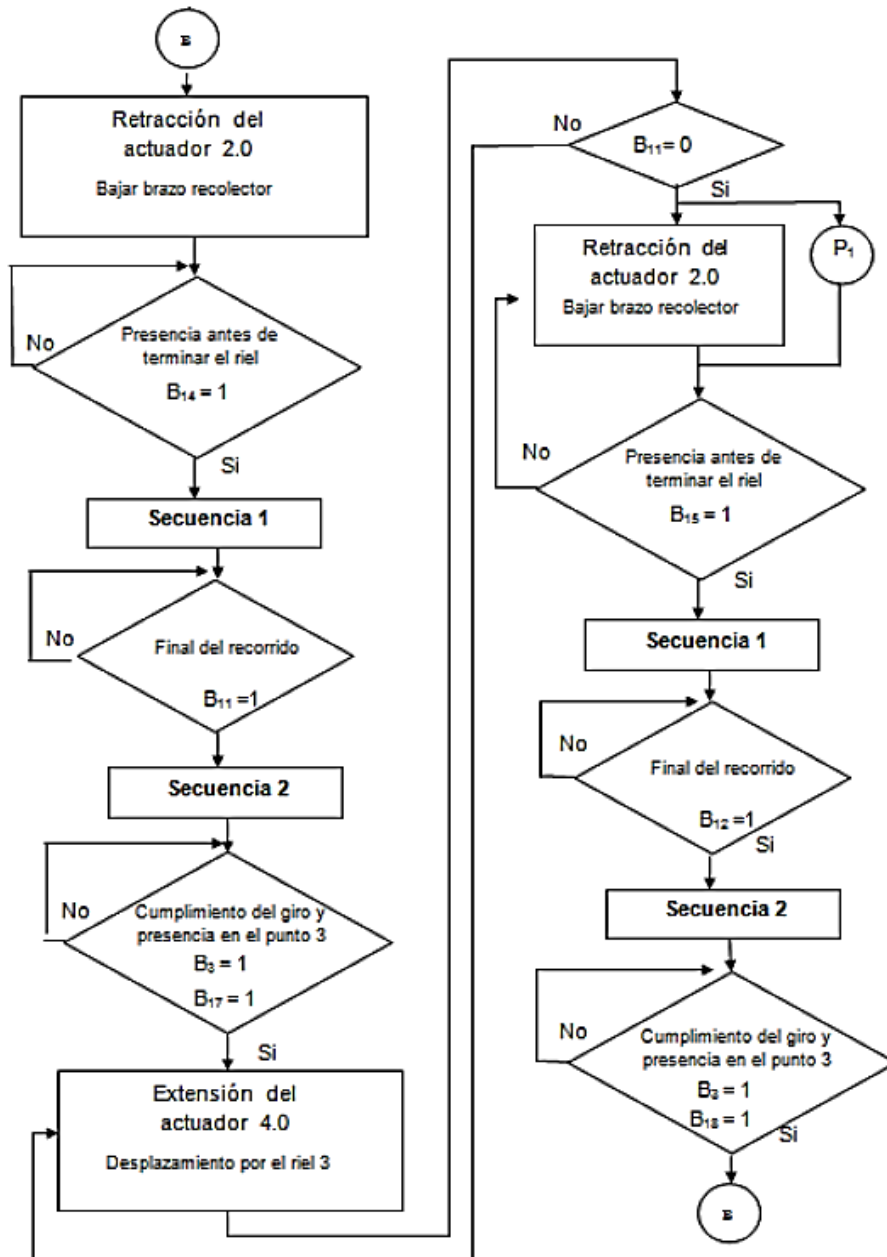


Figura 83: Diagrama de flujo del sistema (Continuación 1).
Fuente: Propia (2.020)

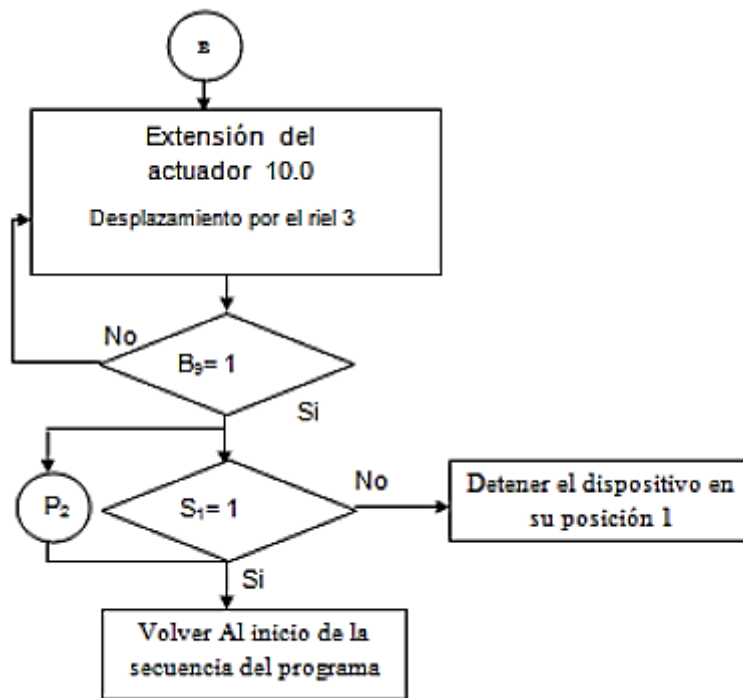


Figura 84: Diagrama de flujo del sistema (Continuación 2).
Fuente: Propia (2.020)

4.5 Realizar un estudio de factibilidad económica y técnica.

La evaluación de los proyectos por medio de métodos matemáticos- financieros es una herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones por parte de los administradores financieros, ya que un análisis que se anticipe al futuro puede evitar posibles desviaciones y problemas a largo plazo. Las técnicas de evaluación económica son herramientas de uso general. Para el desarrollo de este objetivo se compara la situación, y las operaciones de la maquina con las propuestas realizadas en este trabajo.

Actualmente se requieren dos (2) operarios para realizar el trabajo de recolección de partículas de polietileno flotantes en el agua. Los costos de operación son los siguientes:

$$\text{Operadores} = 2 \frac{\text{operadores}}{\text{turno}} \times 4 \text{ turnos} = 8 \text{ Operadores}$$

Salario de un Operador = 800.000 Bs/mes

Gasto por Salario = 8 Operadores x 800.000 $\frac{Bs}{mes}$

Gasto por Salario = 6.400.000 Bs/mes

La inversión a realizar en el diseño del sistema para la recolección de partículas viene dada por los elementos que se presentan en la tabla 12 incluyendo el precio unitario, la cantidad, y el monto total a adquirir.

Tabla 12 Lista de materiales para la realización del diseño

Proveedor	Producto	Precio (Bs/\$)	Cantidad	Total (Bs/\$)
FESTO	Accionamiento O DSRL-12-180-FW	47.882.861,14 240.58 \$	1	47.882.861,14 240.58 \$
	Juego para montar WSR-12-JM5	1.303.652,59 6.55 \$	1	1.303.652,59 6.55 \$
	Sensor inductivo SIEN- M5B-PS-K-L	12.493.171,48 62,77 \$	2	12.493.171,48 62,77 \$
	Modulo giratorio. DSM-25-270-P-1-B	50.104.046,32 251.74 \$	1	50.104.046,32 251.74 \$
	Sensor magnético SME-10F- DS-24V-KO,3L-M8D	5.730.100,47 28.79 \$	2	11.460.200,9 57.58 \$
	Cilindro magnético D DSNU-20-100PPV-A	10.769.563,6 54,11 \$	2	21..539.127,2 108.22 \$
	Electroválvula de IMP. JMFH-5-1/8	9.750525,26 48.99 \$	1	9.750525,26 48.99 \$
	Electroválvula MFH- 5-1/8	9.951.546,5 50 \$	1	9.951.546,5 50 \$
	Sensor inductivo	12.859.388,4	1	12.859.388,4

	SIEN- M18B-PS-K-L	64.61 \$		64.61 \$
	Fijación para S SMBR-8-20	895.639,19 4,50 \$	1	895.639,19 4,50 \$
	Sensor eléctrico SME- 8-K-LED- 230	6.812.828,73 34,23 \$	2	13.625.657,5 68.46 \$
	FEC 32E/ 16S FEC FC600-FST	4.971.792,63 24.98 \$	1	4.971.792,63 24.98 \$
	Conector 8 LED PS1 SA C11	1.462.877,34 7.35 \$	7	.462.877,34 7.35 \$
	Motor paso a paso EMMS-ST-42-S- SEB	99.535.368,1 500.1 \$	1	99.535.368,1 500.1 \$
SAIA	Pulsador monoestable de arranque	796.123,72 4 \$	1	796.123,72 4 \$
	Pulsador con retención, para parada de emergencia	1.492.731,97 7.5 \$	1	1.492.731,97 7.5 \$
SUMINDU	Lamina de Acero ASTM A36 304 (2x1)m x 6 mm espesor	155.244.125 780 \$	1	155.244.125 780 \$
	Lamina de Acero ASTM A36 304 (2x1)m x 5 mm espesor	129.370.105 650 \$	1	129.370.105 650 \$
	Lamina de Acero ASTM A36 304 (2x1)m x 4 mm espesor	578.5 \$	1	578.5 \$

	Lamina de Acero ASTM A36 304 (2x1)m x 3 mm espesor	115.139/393 475.5 \$	1	115.139/393 475.5 \$
ACEROS Y VALVULAS	Tubo Acero Inoxidable 304 S/Costura 4" x 6 metros largo SCH40	33.409.331,9 167.86\$	1	33.409.331,9 167.86\$
	Tubo Acero Inoxidable 304 S/Costura 1" x 6 metros largo SCH40	6.568.020,69 33 \$	1	6.568.020,69 33 \$
	MONTO TOTAL			833.758.478,55 4189,09 \$

Fuente: Propia (2.020)

Siendo así, en Gaceta Oficial N° 41.624 del 2 de Mayo de 2019 se publicó la resolución del Banco Central de Venezuela N°19-05-01, la misma habilita a las instituciones bancarias a actuar como operadores cambiarios en el sistema de mercado cambiario a través de mesas de cambio. En su artículo 3, establece que conforme a la información que suministren los operadores cambiarios, publicará el tipo de cambio promedio ponderado de las operaciones transadas. Para el 06 de junio de 2020 el promedio es de 199.030,93 Bs/\$, como se visualiza en la figura 85.

El total de la inversión en equipos es de 833.758.478,55 Bs (4189,09\$). Se estima un 30% de la inversión inicial por concepto de asesoría técnica y mano de obra. Lo que da una inversión inicial de

$$II = 1.083.886.022,12 \text{ Bs. (5.445,82 \$)}$$



Figura 85: Tasa de cambio del Banco Central de Venezuela para el 06/06/2020.
Fuente: Banco Central de Venezuela

Según fuentes suministradas por la empresa, la recolección se realiza de manera manual por 2 operadores los cuales obtienen luego de una jornada diaria un promedio de $224,267 \text{ kg/día}$, de polietileno, con la implementación del sistema desarrollado, el volumen de recolección sería superior, arrojando un valor promedio de $3.496,66 \text{ kg/día}$, es importante señalar que el costo de venta del producto de recolección es de: $3.000.000 \text{ Bs/TM}$ /obteniéndose una entrada mensual de:

$$Ganancia \text{ anterior} = \left(3.000.000 \frac{\text{Bs}}{\text{TM}} \right) \left(\frac{1 \text{ TM}}{1000 \text{ kg}} \right) \left(224,267 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right) \left(\frac{30 \text{ días}}{\text{mes}} \right)$$

$$Ganancia \text{ anterior} = 20.184.030 \frac{\text{Bs}}{\text{mes}} .$$

Como se mencionó anteriormente con la implementación del dispositivo, el volumen de recolección será de 3.496,66 kg/día, generando una ganancia mensual de:

$$Ganancia_{dispositivo} = \left(3.000.000 \frac{Bs}{TM} \right) \left(\frac{1 TM}{1000kg} \right) \left(3.496,66 \frac{kg}{día} \right) \left(\frac{30 días}{mes} \right)$$

$$Ganancia_{dispositivo} = 314.699.400 \frac{Bs}{mes}$$

Para el cálculo del tiempo en que se recuperará la inversión inicial se utilizó la siguiente expresión:

$$BU = P_v - C_u$$

Dónde:

BU = Beneficio por kg

P_v : Precio de venta [Bs/kg]

C_u = Costo unitario [Bs/kg]

Ahora bien el precio de venta del material de recuperación es de 1.500.000 Bs/TM lo que equivale a 1500 Bs/kg, pero el costo unitario del producto de reciclaje es igual a cero debido a que la empresa solo compra material nuevo, y esta ganancia de dinero son ingresos adicionales que obtiene la empresa luego del proceso de producción, por lo tanto:

$$BU = 1500 Bs/kg$$

Así mismo se debe calcular el ahorro que produce el sistema mediante la implementación del dispositivo

$$As = Pa - BU$$

Dónde:

A_s = Ahorro del sistema

P_a : Cantidad de kg de producto adicional que se obtienen con la implementación de la propuesta.

$$P_a = 3.496,66 \quad 224,267$$

$$P_a = 3.272,393 \frac{kg}{mes}$$

$$P_a = 3.272,393 \frac{kg}{mes} \times 1500 \frac{Bs}{kg}$$

$$P_a = 4.908.589,5 \frac{Bs}{mes}$$

Es importante señalar que con la implementación del dispositivo no sería necesaria la presencia de 4 operadores que se encargaban de la recolección de las partículas de polietileno, por lo cual el verdadero ahorro del sistema es:

$$A_s = 4.908.589,5 \frac{Bs}{mes} + 4 \times 800.000 \frac{Bs}{mes}$$

$$A_s = 36.908.589,5 \frac{Bs}{mes}$$

Lo que determinara la rentabilidad del proyecto será el tiempo de retorno el cual establecerá el tiempo en el cual la empresa recuperara la inversión inicial, de donde se tiene:

$$T_r = \frac{C_s}{A_s}$$

Dónde:

T_r = Tiempo de retorno [meses]

C_s = Costo del sistema [Bs]

A_s = Ahorro del sistema

$$T_r = \frac{1.083.886.022,12 \text{ Bs.}}{36.908.589,5 \frac{Bs}{mes}} = 2,93 \quad 3 \text{ meses} = 90 \text{ dias.}$$

Al observar que la inversión inicial se puede recuperar en menos de un año, se puede considerar que el proyecto es rentable.

Y en cuanto a la factibilidad técnica, se puede decir el proyecto puede ponerse en marcha y mantenerse, ya que se tiene evidencias de que se ha planeado cuidadosamente, contemplado los problemas que involucra mantenerlo en funcionamiento y se ha demostrado que el diseño no va a presentar falla. La tecnología presente en el proyecto, le proporciona beneficios tanto a la empresa como a los trabajadores, ya que se puede obtener la misma cantidad de material recuperado que se recoge por el método actual, con el menor esfuerzo y en un periodo de tiempo menor.

Cabe destacar que se puede utilizar más tecnología de la que se plantea en el sistema, como la utilización de un encoder, facilitando aún más el funcionamiento del dispositivo. Además, la tecnología necesaria para la puesta en marcha, y mantenimiento del sistema es de fácil adquisición, ya que existen numerosos proveedores además de los seleccionados para este proyecto, que satisfacen los requerimientos del mismo.

CONCLUSIONES

1. El sistema de recolección, separación y almacenamiento diseñado, será el idóneo para resolver el problema planteado, ya que posee uno de los métodos (sistema neumático) de menor costo de mantenimiento e instalación, además, de ocupar menos espacio en planta, entre otras características.
2. Con la implementación del sistema automático se reduce el tiempo para realizar la recolección, separación, y almacenamiento de las partículas de polietileno, ya que se puede obtener la misma cantidad de material recuperado que se recoge por el método actual, pero en un periodo de tiempo menor.
3. Con la automatización del proceso de recolección, separación y almacenamiento, se eliminará el esfuerzo físico de los operarios y los riesgos de enfermedades ocupacionales por los movimientos repetitivos.
4. El proceso planteado se puede considerar económicamente factible, ya que el retorno de la inversión inicial se generaría en cuatro meses, y al recuperarse éste en un periodo menor a un año, se demuestra que el proyecto es rentable. Cabe destacar que el proyecto se considera factible técnicamente ya que se cuenta con la tecnología necesaria para la puesta en marcha y mantenerse en funcionamiento.
5. Con la instalación del sistema diseñado se aumentará el beneficio económico para la empresa, producido por la venta de material recuperado, que con la implementación de éste ahora resultará mucho mayor al obtenido con el proceso actual, ya que no existe pérdida de material, puesto que no hay riesgo de que las partículas caigan al piso al momento de la recolección, siendo inservibles para la venta.

RECOMENDACIONES

1. Desarrollar un programa de capacitación para el personal que labora en el área de molido de gaveras, para el adecuado uso del dispositivo, y de esta manera evitar accidentes que produzcan paradas innecesarias.
2. Desarrollar un programa de mantenimiento, que permita extender la vida útil del sistema y obtener un funcionamiento eficiente del mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alecar Cilindros Normalizados, Infograma Cilindro de Doble efecto, [Página Web en Línea]. Disponible: <http://www.alecar.com>. [Consulta: 2020, abril 18].
- Arias, F (2016). **“El proyecto de investigación. Introducción a la Metodología Científica”**. Caracas, 6ta. Edición Editorial Episteme.
- Autómatas, Infograma Cilindro de Doble Efecto, [Página Web en Línea]. Disponible: <http://www.automatastr.galeon.com>. [Consulta: 2020, abril 18].
- Avalone E. y Baumister T. (1986). **“Standard Handbook for Mechanical Engineers” Marks**. 9a Edición. Nueva York. McGraw Hill Book Company.
- Balestrini, M. (2002). **Como se elabora el proyecto de Investigación**. 6° edición. Caracas. BL Consultores Asociados. Servicio Editorial
- Budynas, R. y Nisbett, J. (2008), **“Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley”**. (8ava. Ed.) México: McGraw-Hill.
- Bertel J y Porto A (2015), **“Proceso de reciclaje”**. Disponible en: <https://es.slideshare.net/mobile/andres997/proceso-de-reciclaje-del-plastico>
- CIT, Centro de Información Técnica(2009). **Reciclado sustentable de Residuos Plásticos post-consumo**. Argentina.
- Consejo Americano de Química. (2007). **“Resinas de envases de plástico”**
Disponible en:
https://web.archive.org/web/20110125030232/http://www.americanchemistry.com/s_plastics/bin.asp?CID=1102&DID=4645&DOC=FILE.PDF
- Delgado, D. y León J. (2007). **“Diseño de un sistema mecánico de extracción de sólidos de los efluentes de una empresa de papeles higiénicos”**. Escuela de Ingeniería Mecánica, UC, pp. 37 – 137.
- Díaz, Wilfredo (2015), **“Sistema de control”** Instituto Universitario de Tecnología Antonio José de Sucre
- Electrónica Unicrom (2016). **Diagrama en escalera (PLC)**.
Disponible en: <https://unicrom.com/diagrama-de-escalera-plc/>
- Gary J. (2019). **“Reciclado de plásticos PET”** Arequipa, Peru. Universidad Católica San Pablo.

- Graterol, M. y Ochoa D. (2005). “**Diseño de un sistema mecánico para la recolección, transporte y selección de granalla a emplear para una empresa Metalmeccánica**”. Escuela de Ingeniería Mecánica, UC, pp. 26 – 151
- Hydren Oleohidráulica (2015). **Actuadores rotativos en aplicaciones industriales**.
 Disponible en: <https://oleohidraulica.hydrenindustry.com/actuadores-rotativos-para-aplicaciones-industriales/>
- Hurtado, J. (2006). **El proyecto de Investigación**. Bogotá. Sypal.
- Jose H. y Juan R (2010). “**Estudio factible para reciclar envases plásticos de polietileno tereftalato (PET), en la ciudad de Guayaquil**” Guayaquil, Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana.
- Norton R. (1.999). “**Diseño de Máquinas**”. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. (Primera Edición en Español) México.
- Palella, S. y Martins, F. (2.012). “**Metodología de la investigación cuantitativa**”. Fedupel. Caracas.
- Pizzella, Giovanni (2.006), “**Apuntes de Elementos de Máquinas**”. Universidad José Antonio Páez.
 Disponible en: <https://drive.google.com/drive/u/0/folders/0B2NkT AsUV-3VSzNzYk1fbXFCbFE>.
- Rodríguez, (2010). **Metodología de la Investigación**. México. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Sabino, C. (2002). **El proceso de Investigación**. Caracas. Editorial Panapo De Ven
 Tamayo y Tamayo, M. (2004), **El Proceso de Investigación Científica**. México. Limusa
- Tassoni, Danilo y Pizzella, Giovanni (2006), **Elementos de Máquina**. Universidad de Carabobo. Venezuela
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador UPEL (2006) **Manual de trabajos de grado, de especialización, maestría y tesis doctorales**. 4º edición. Caracas. Fedeupel
- Universidad José Antonio Páez. (2007). **Normas para Elaboración y Presentación de los Anteproyectos, Proyectos y Trabajos de Grado**. San Diego, Carabobo, Venezuela.
- Universidad Politécnica de Valencia (2012). **Monómero de etileno**. Valencia, España. Disponible en: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_2.html

Vilchez, Nelson/ (2.002). **"Estrategias creativas en el diseño mecánico"**. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. Valencia. Venezuela

Anexo A

Tablas y gráficos empleados, para los cálculos de los diversos elementos que conforman el dispositivo.

Bobinas y Láminas Pulidas

Calidades: ASTM-A-366 (Comercial)

ASTM-A-619/620 (Embutido Profundo)

Acabado: Mate Aceitada

Suministro en: Láminas Estándar.

ESPELOR (mm) ANCHO x LARGO (mm)	Peso Teórico kg								
	0.45	0.60	0.70	0.90	1.10	1.20	1.40	1.5	1.9
1.000 x 2.000	7.245	9.660	11.270	14.490	17.710	19.320	22.540	24.150	30.590
1.200 x 2.400	10.433	13.910	16.229	20.866	25.502	27.821	32.458	34.776	44.050

Suministro en: Bobinas Estándar, Bordes de Laminación.

ANCHO (mm)	PESO APROX. BOBINA kg
1.000	13.000
1.200	20.000

Servicio de Nuestro Centro de Corte:

Rebobinado al peso requerido

Flejes desde 18 mm de ancho y 50 kgs de Peso.

Láminas en anchos y largos especiales: (Ancho mínimo: 400mm)

Largo mínimo: 1.000 mm. Máximo: 6.000 mm

Figura 1. Bobinas y láminas.

Fuente: Disponible en internet en: www.ferrum-ca

Bobinas y Láminas Estriadas

Calidades: ASTM-A-569. Soldable Sidor O-45.

ASTM-A-36

Suministro en: Láminas Estándar.

Peso Teórico kg

ESPESOR (mm) ANCHO X LARGO (mm)	2.50	3.00	4.10	5.00	6.00
1.010 x 2.400	-----	63.994	-----	-----	-----
1.210 x 2.400	63.162	75.794	103.586	126.324	149.846
1.210 x 6.000	-----	189.486	258.964	315.810	374.616

Nota: Estos pesos son aproximados y variables, ya que las Bobinas Estriadas no mantienen un espesor constante

Suministro en: Bobinas Estándar. Bordes de Laminación.

ANCHO (mm)	PESO APROX. BOBINA kg
1.010	13.000
1.210	16.000

Servicio de Nuestro Centro de Corte:

Rebobinado al peso requerido

Láminas en largos especiales según requiera el cliente

(mínimo 1000 mm)

Figura 2. Bobinas y láminas.

Fuente: Disponible en internet en: www.ferrum-ca

Planchas o Chapas Gruesas,

Calidades: ASTM-A-36/ASTM-A-283. Grado C / ASTM-A-572 Grado 50 (Estructurales).
ASTM-A-131 Grado A. (Naval) y ASTM-A-516 B. Grado 70. (Recipientes a Presión)

Dimensiones Disponibles de Stock

Calidad ASTM-A-36.		Peso Teórico por Lamina kg										
ESPEJOR (mm) ANCHO X LARGO	5	6	8	10	13	16	19	22	25	31	38	50
2.400 x 6.000	576.0	691.2	921.6	1152.0	1497.6	1843.2	2188.8	2534.4	2880.0	3571.2	4377.6	5760.0
2.400 x 12.000	1152.0	1382.4	1843.2	2304.0	2995.2	3686.4	4377.6	5068.8	5760.0	-----	-----	-----

Calidad ASTM-A-131. Naval.		Peso Teórico por Lámina kg						
ESPEJOR (mm) ANCHO X LARGO	6	8	10	13	16	19	22	25
2.400 x 6.000	691.2	921.6	1152.0	1497.6	1843.2	2188.8	2534.4	2880.0
2.400 x 12.000	1382.4	1843.2	2304.0	2995.2	3686.4	4377.6	5068.8	5760.0

Figura 3. Planchas o chapas gruesas.

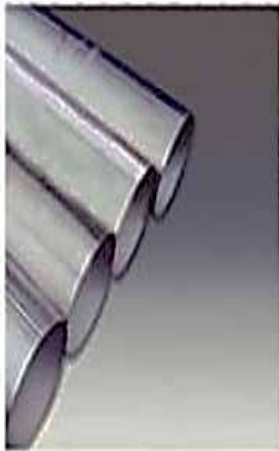
Fuente: Disponible en internet en: www.ferrum-ca

PROPIEDADES MECÁNICAS

ESPECIFICACIÓN	LIMITE DE FLUENCIA	LIMITE MÁXIMO	ELONGACIÓN EN 200 mm	ELONGACIÓN EN 50 mm
ASTMA - 36	36 KSI	50 - 80 KSI	20%	23%
ASTMA - 283 °C	30 KSI	55 - 70 KSI	22%	25%
ASTMA - 572 °50	50 KSI	70 KSI	18%	21%
ASTMA - 131 °A	34 KSI	58 KSI	18%	21%
ASTMA - 516 °70	38 KSI	70 - 90 KSI	17%	21%

Figura 4. Propiedades Mecánicas.

Fuente: Disponible en internet en: www.ferrum-ca



WELDED PIPING ASTM A-312					
Size	Outside Diameter	Sch 10S Wall Thk	Weight K/m	Sch 40S Wall Thk	Weight k/m
1/4"	13.72 mm	1.65 mm	0.50	2.24 mm	0.84
3/8"	17.15 mm	1.65 mm	0.84	2.31 mm	0.86
1/2"	21.34 mm	2.11 mm	1.02	2.77 mm	1.29
3/4"	26.67 mm	2.11 mm	1.30	2.87 mm	1.71
1"	33.40 mm	2.77 mm	2.13	3.38 mm	2.54
1 1/4"	42.16 mm	2.77 mm	2.74	3.56 mm	3.45
1 1/2"	48.26 mm	2.77 mm	3.16	3.68 mm	4.11
2"	60.33 mm	2.77 mm	4.00	3.91 mm	5.53
2 1/2"	73.03 mm	3.05 mm	5.35	5.16 mm	8.78
3"	88.90 mm	3.05 mm	6.56	5.49 mm	11.50
4"	114.30 mm	3.05 mm	8.51	6.02 mm	16.30
6"	168.28 mm	3.40 mm	14.10	7.11 mm	28.70
8"	219.08 mm	3.40 mm	20.30	8.18 mm	43.20

Figura 5. Peso propio de tuberías

Fuente: Disponible en internet en: www.engineeringtoolbox.com/steel-pipes-weightsd_774.html

PESO TEORICO DE LAMINAS DE ACERO INOXIDABLE							
CAL.	MEM.	PULG.	KG/MT2	914 X 2438 3' X 8'	914 X 3048 3' X 10'	1219 X 3048 4' X 8'	1219 X 3048 4' X 10'
10	3.43	0.135	27.783	61.909	77.399	82.568	103.228
11	3.05	0.120	24.705	55.050	68.824	73.421	91.791
12	2.67	0.105	21.627	48.192	60.250	64.273	80.355
14	1.90	0.075	15.390	34.294	42.874	45.737	57.181
16	1.52	0.0595	12.312	27.435	34.299	36.590	45.745
18	1.22	0.048	9.882	22.020	27.529	29.368	36.716
20	0.89	0.035	7.209	16.064	20.083	21.424	26.785
22	0.74	0.0291	5.994	13.356	16.698	17.813	22.270
24	0.61	0.024	4.941	11.010	13.764	14.684	18.358
26	0.455	0.018	3.685	8.212	10.267	10.953	13.693
28	0.385	0.015	3.118	6.949	8.687	9.267	11.586
30	0.255	0.010	2.065	4.602	5.754	6.138	7.674

Figura 6. Peso de láminas

Fuente: Disponible en internet en: <http://www.daigsa.com/pesoteorico.htm>




A-325 TIPO 1 TORNILLO ESTRUCTURAL CABEZA HEXAGONAL DE ALTA RESISTENCIA



D Diámetro nominal	S Distancia entre caras	E Distancia entre espaldas	K Altura de cabeza	Longitud de rosca		
				B < 125	B 125-200	B > 200
M3	5.5	5.91	2	12	-	-
M4	7	7.06	2.8	14	-	-
M5	8	8.79	3.5	16	-	-
M6	10	11.05	4	18	24	-
M7	11	12.12	4.8	20	26	-
M8	13	14.36	5.3	22	28	-
M10	17	18.80	6.4	26	32	46
M12	19	21.1	7.5	30	36	49
M14	22	24.45	8.8	34	40	53
M16	24	26.75	10	38	44	57
M18	27	30.14	11.5	42	48	61
M20	30	33.53	12.5	46	52	65
M22	32	35.72	14	50	56	69
M24	36	39.58	15	54	60	73
M27	41	45.2	17	60	66	79
M30	48	52.85	18.7	66	72	85

DIMENSIONES: DIN 931
DIN 933 CUERDA CORRIDA
DIN 950/961
CUERDA FINA

MARCA: 8.8

ROSCA: MÉTRICA
CON AJUSTE 6G

ESPECIFICACIÓN: SAE J-1199 GRADO 8.8

MATERIAL: ACERO MEDIO
CARBONO

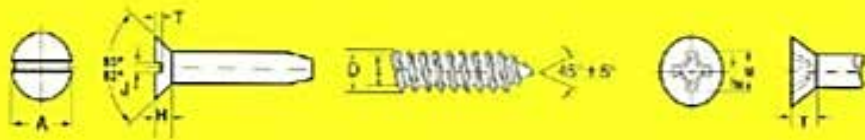
DUREZA
ROCKWELL C: 20 MIN 32 MAX

ACABADO: PAVONADO NEGRO
GALVANIZADO ELECTROLÍTICO
(ASTM - B 633)

Figura 7. Catálogo de tornillos
Fuente: Disponible en internet en: www.comercializadoragarcast.com.



**PIJA PARA LÁMINA
CABEZA PLANA
RANURADA Y PHILLIPS**



Tamaño Nominal o Diámetro Básico de la Pija	Pasos por Pulgada	A		H	J		T		T _c		M		N	D		d	
		Diámetro Cabeza		Ancho ranuras	Ancho Ranuras		Profundidad de Ranuras		Profundidad de la Cruz		Diámetro de la Cruz		Ancho de la Cruz	Diámetro Mayor		Diámetro Menor	
		Max	Min	Ref	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Min	Max	Min	Max	Min
4	1/16	0.225	0.185	0.067	0.309	0.001	0.000	0.020	0.269	0.079	0.128	0.115	0.018	0.114	0.108	0.091	0.092
6	1/8	0.279	0.244	0.063	0.343	0.005	0.008	0.024	0.106	0.093	0.174	0.101	0.029	0.139	0.132	0.104	0.099
8	1/4	0.332	0.292	0.100	0.354	0.045	0.045	0.029	0.121	0.038	0.189	0.176	0.030	0.196	0.156	0.122	0.116
10	3/8	0.385	0.340	0.115	0.360	0.050	0.053	0.034	0.136	0.182	0.204	0.191	0.032	0.189	0.160	0.141	0.136
12	1/2	0.438	0.385	0.132	0.367	0.056	0.110	0.039	0.150	0.193	0.288	0.225	0.035	0.215	0.208	0.194	0.187
14	5/8	0.507	0.452	0.153	0.375	0.064	0.170	0.045	0.171	0.148	0.293	0.270	0.036	0.248	0.237	0.192	0.185

DIMENSIONES: ANSI B18.6.4
ROSCADO: TIPO AB
ESPECIFICACIÓN: • SAE J-476 A
• SAE J-933 B

MATERIAL: ACERO BAJO CARBONO
ACABADO: CEMENTADO
GALVANIZADO
ELECTROLÍTICO
(ASTM B - 633)

Figura 8. Catálogo de tornillos

Fuente: Disponible en internet en: www.comercializadoragarcast.com.

Anexo B

Elementos de funcionamiento del dispositivo

Catalogo de FESTO

Actuadores giratorios DSR/DSRL

FESTO

Hoja de datos

Función



Variantes

- Eje con chaveta
- Con eje hueco con brida

• Ø diámetro
10 ... 40 mm

• Fuerza
0,5 ... 20 Nm

• www.festo.com



Datos técnicos generales						
Diámetro del eje de salida	10	12	16	25	32	40
Conexión de montaje	M3	M5	M5	M5	2,5x4	2x4
Construcción	Cilindro giratorio con alfiler base cilíndrica					
Aplicaciones	Sin posibilidad de regulación					
Dimensiones de montaje	Cilindro					
	Resistente a					
	Fuerza					
Tipo de fijación	Mediante bridas					
Posición de montaje	Cualquiera					
Ángulo de giro máx.	0 ... 180 °			0 ... 180 °		

1) Los valores de fuerza se refieren a un eje con los datos más altos (Ø 25 mm, 2 x 40 mm).

Condiciones de funcionamiento y entorno						
Diámetro del eje de salida	10	12	16	25	32	40
Fluido	Aceite con punto de trabajo, lubricado o sin lubricar					
Presión de funcionamiento	(bar)	2,5 ... 8	2 ... 8	1,5 ... 8		
Temperatura ¹⁾	(°C)	-10 ... +60				
A.T.S.	El producto está en el estado de entrega					

1) De acuerdo con la ley que define los límites de funcionamiento de los actuadores.

Fuerzas y momentos de giro							
Diámetro del eje de salida	10	12	16	25	32	40	
Momento de giro con 6 bar	(Nm)	0,5	1	2	5	20	
Fuerza en la rosca, de giro ²⁾	(N)	3					
Carga máx. al roscar, al girar a 60°	(N)	30	45	75	120	350	
Carga axial máx. al girar a 60°	(N)	10	18	30	50	120	
Momento de inercia máx. al girar a 60°	(kg·cm²)	Cualquiera → 0					

1) Depende del tamaño del eje de salida y del tipo de fluido utilizado.

2) Solo en el eje de salida.

Figura 1. Actuador giratorio uno.

Fuente: Catálogo de FESTO

Actuadores giratorios DSR/DSRL

Hoja de datos

FESTO

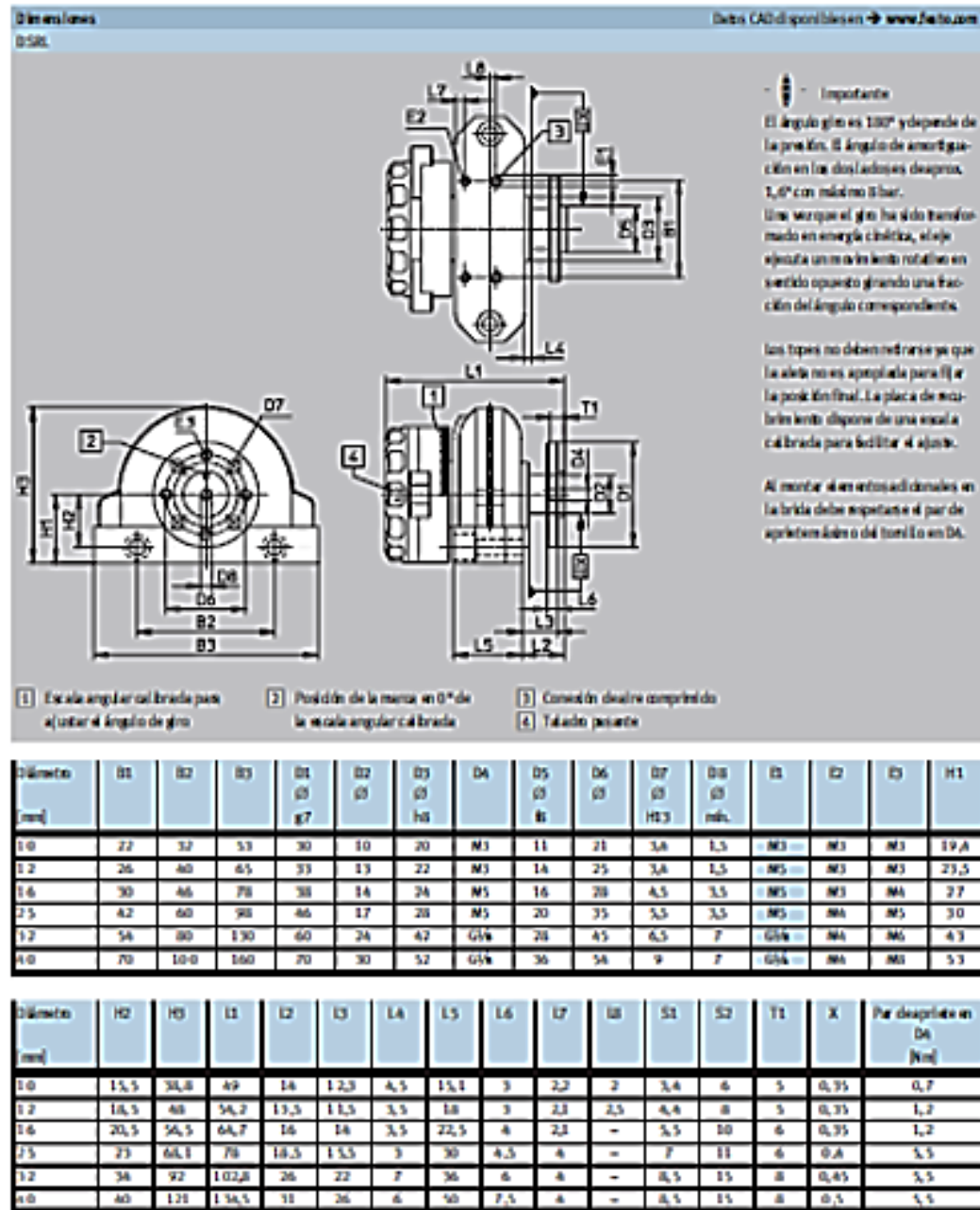


Figura 2. Actuador giratorio uno.
Fuente: Catalogo de FESTO

Nuevo
Amortiguación P1

Módulos giratorios DSM-B

Hoja de datos DSM 12 ... 63

FESTO

Función



• Tamaño
12 ... 63 mm



Datos técnicos generales			12	16	25	32	50	63
Tamaño	Código ¹⁾							
Conexión neumática			M5			G5/8		G5/8
Construcción			Actuador giratorio con el eje libre saliente					
Amortiguación	P		Amortiguación eléctrica en ambos lados					
	P1		Amortiguación eléctrica regulable en ambos lados					
	CC		Amortiguación autotermogelable en ambos lados					
Eje de 10 a 16 mm			con dos casilleros					
Posición de montaje			fija					
Ángulo de giro	P	[°]	270/26,2 ²⁾	270				
	P1	[°]	246				240	
	CC	[°]	246				240	
Ajuste del ángulo de giro	P	[°]	-6					
	P1	[°]	-6					
	CC	[°]	-3					
Frecuencia de giro (con ángulo de giro más)	P	[Hz]	2					1,6
	P1	[Hz]	2					1,6
	CC	[Hz]	1,5	1		0,7		1,6
Frecuencia de giro (con ángulos de giro pequeños)	CC	[Hz]	2	1,5				
Ángulo de amortiguación	P1	[°]	10	9	7,5	6,5	5,5	6
	CC	[°]	15	12	10	12	16	12,5
Presiones de operación	P	[bar]	1					
	P1	[bar]	0,1					
	CC	[bar]	0,1					

1) Código de artículo → 12

2) Ángulo de giro fijo, en función de la posición de fijación de detectores S-DMS 1...

• Ver siempre la ficha de selección con pleo con los módulos con ISO 11519 y ISO 21341

Condiciones de funcionamiento y del entorno			12	16	25	32	50	63
Tamaño								
Material			Alu con pintura electrocoat, aluminio o sin lubricar					
Presión de funcionamiento	[bar]		2 ... 10			1,5 ... 10		
Temperatura ambiente	[°C]		-10 ... +60					
Temperatura de aire de aspiración	[°C]		20					
A.T.E.			El pleo respaldado → www.festo.com					

Figura 3. Actuador giratorio dos.
Fuente: Catalogo de FESTO

Nuevo
Amortiguación P1

Módulos giratorios DSM-B

Hoja de datos DSM-L2 - 4.1

FESTO

Dimensiones

Datos CAD/generador → www.festo.com

Es un dibujo

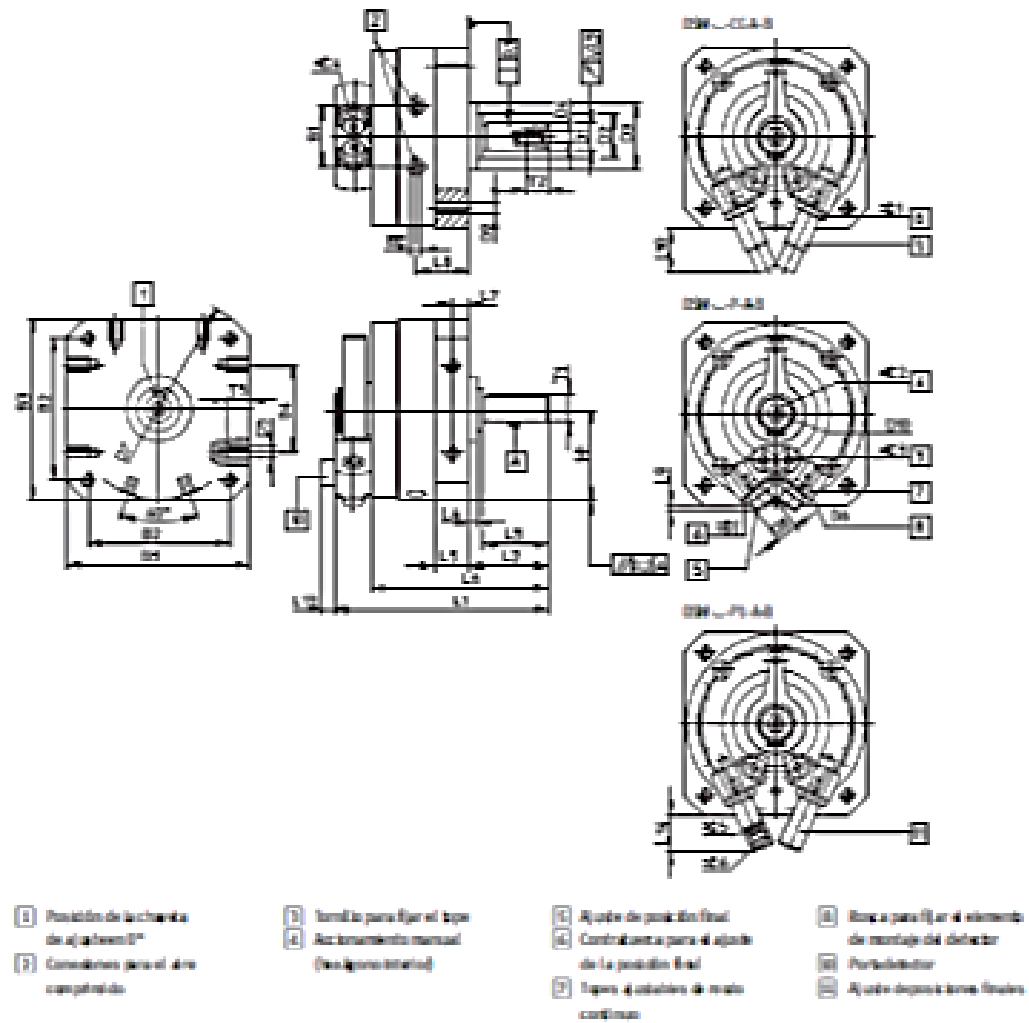


Figura 4. Actuador giratorio dos.
Fuente: Catalogo de FESTO

Cilindros normalizados DNCB según ISO 15552

FESTO

Ficha de datos

Función



www.festo.com



- \varnothing - Diámetro
32 ... 100 mm

- l - Carrera
7 ... 2000 mm

Ingeniería y venta de
dispositivos
→ p

Datos técnicos generales						
Diámetro del cilindro	32	40	50	63	80	100
Carreras normalizadas	10/6	10/6	10/6	10/6	6/6	10/6
Longitud de carrera	M10x1,75	M12x1,75	M16x1,5	M16x1,5	M20x1,5	M20x1,5
Construcción	Construcción Doble efecto Lado perforado					
Amortiguación	Amortiguación neumática o regulada en ambos sentidos					
Carrera de amortiguación	mm	10	10	10	12	10
Deposición de partículas	Para una libre circulación					
Tipos de fijación	Con rosca interna Con anillos					
Resistencia al ruido	1/2 dB(A)					

Características de funcionamiento y del entorno	
Material	Aluminio anodizado óptico, con o sin lubricación
Presión de funcionamiento	bar
Temperatura ambiente ⁽¹⁾	°C
Clase de resistencia a la corrosión ⁽²⁾	3

(1) No es compatible con aceites de lubricación de los cilindros

(2) Clase de resistencia a la corrosión 3 según norma DIN EN ISO 10545

Nota: Los cilindros de aluminio pueden ser pintados con pintura epoxi. Para obtener más detalles de los cilindros de aluminio, consulte el catálogo de cilindros de aluminio de FESTO. Para obtener más detalles de los cilindros de aluminio, consulte el catálogo de cilindros de aluminio de FESTO.

Carga [N] y energía de impacto [J]						
Diámetro del cilindro	32	40	50	63	80	100
Carga máxima con 6 bar en carrera	603	794	1176	1676	2656	4712
Carga máxima con 6 bar en reposo	613	833	1190	1680	2720	4800
Energía máxima de impacto en la condición de prueba	0,4	0,7	1	1,3	2	3

- l - Longitud
Soluciones de montaje
FestOtop
→ www.festo.com

Figura 5. Actuador lineal.
Fuente: Catálogo de FESTO

Módulos giratorios DSM-B

FESTO

Hoja de datos DSM-B2 ... 63

Series	01 a0,5	02	03	04	05 05	02 05	03 05	04
12	24,8	40a,0	50a,0	30a,0	8	13,0a,0	24	M 3
16	23,3	37a,0	20a,0	40a,0	10	15,0 a	28	M 3
25	20	37a,0	37a,0	40a,0	12	20,0 a	30	M 4
32	25,3	47a,0	37a,0	40a,0	16	27,0 a	42	M 3
40	43,8	57,0a,0	37a,0	40a,0	20	30,0 a	52	M 6
63	90,7	127,0a,0	132 a*	40a,0	25	40,0a,0	70	M10

Series	05	06	07 05	08	09	010	IE
12	86	M 2	20a,0	M10,1	86	86	M5
16	85	M 2	21a,0	M10,1	85	85	M5
25	86	M 2	20a,0	M10,1	86	85	M5
32	86	M 2	17,0a,0	M10,1	86	85	G14
40	M 10	M 2	20a,0	M10,1	M10	86	G14
63	M 10	M 3	20a,0	M12,0,3	M12	86	G14

Series	01 a0,2	11	12 +0,6 -0,7	13	14 a0,4	15	16	17
12	26,5	40,3a,0	26,5	20a,0	3	10,3a,0+0,0	15,3a,0	3a,0
16	25	42,7a,0	28	27a,0	2,6	13,3a,0+0,0	47,3a,0	6,3a,0
25	41,5	47,3a,0	36,5	30a,0	6	15,3a,0+0,0	31 a	7,3a,0
32	53,5	127,3a,0	31	40a,0	8	18,3a,0+0,0	107,3 a	8,3a,0
40	65	135,3a,0	42	50a,0	8	23,3a,0+0,0	135,3 a	12a,0
63	76	187,3a,0+0,0	73,5	60a,0	10,5	28,3a,0+0,0	158,3a,0	14a,0

Series	18	19	110	113	114	11	12 +2	13 +0,2
12	16,5	3	22,7	6,5	21,2	0,8	9	8
16	16,2	2,2	26,5	6,5	22	11,2	9	8
25	23,5	2,9	26,7	6,5	17	13,5	10	10
32	30,5	3,8	28,1	6,5	23	18	12,5	12
40	36	3,4	43,5	6,5	36,5	21,5	16	15
63	45	10	72,5	6,5	-	28	22	16

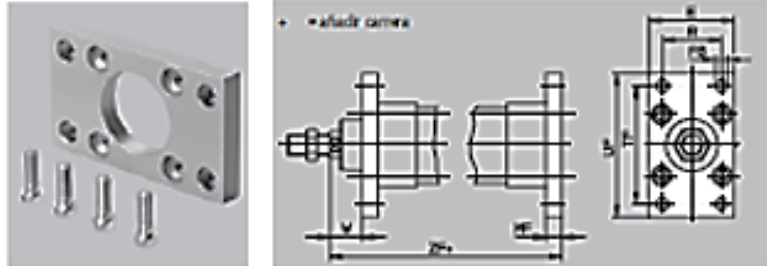
Series	+0,1	+0,2	+0,3	+0,4	+0,5	+0,6	Consulta según DIN 6007 V
12	10	6	2,5	2,5	2,5	2,5	Año 2006
16	13	8	3	3	3	5	Año 2008
25	17	8	6	3	3	6	Año 2007
32	15	10	5	4	4	8	Año 2006
40	19	10	6	5	5	10	Año 2005
63	27	10	8	5	-	-	Año 2000

Additional series

Figura 6. Actuadores giratorios.
Fuente: Catalogo de FESTO

Brida de fijación FNC

Materiales:
 Acero cincado
 Sin cobre ni PTFE ni silicona



Dimensiones y datos para efectuar las pedidos												
Para diámetro	E	FD G3 H13	MF	R	F	LF	W	ZF	K(DC)	Peso	Nº de artículo	Tipo
[mm]										[g]		
32	45	7	10	32	64	80	16	130	2	24.0	174 3 75	FNC-32
40	54	9	10	36	72	90	20	145	2	28.0	174 3 77	FNC-40
50	65	9	12	45	90	110	25	155	2	52.0	174 3 78	FNC-50
63	75	9	12	50	100	130	25	170	2	69.0	174 3 79	FNC-63
80	93	12	16	63	126	150	30	190	2	145.0	174 3 80	FNC-80
100	110	14	16	75	150	175	35	205	2	240.0	174 3 81	FNC-100

El tipo de montaje de la línea de montaje 2 es el mismo que de Festo N4.0170.
 No se han puesto los tornillos de fijación a la línea de montaje. Para las especificaciones en cuanto al diámetro de los tornillos consulte en el manual de instalación, tal como el de la línea de montaje de la línea de montaje, en el perfil de la línea de montaje y de la línea.

Figura7. Brida de fijación del actuador lineal.
Fuente: Catalogo de FESTO

3-Wheel Assemblies; PW and SW Series

PW Series

- Vee and crown roller style assemblies for PW Series aluminum channel (crown roller style intended for radial loads only)
- Light to medium duty transport applications
- Extremely low noise
- Lightweight and economical

SW Series

- Vee and crown roller style assemblies for SW Series steel channel (crown roller style intended for radial loads only)
- Medium to heavy duty transport applications
- High speed capacity
- Smooth articulation operation

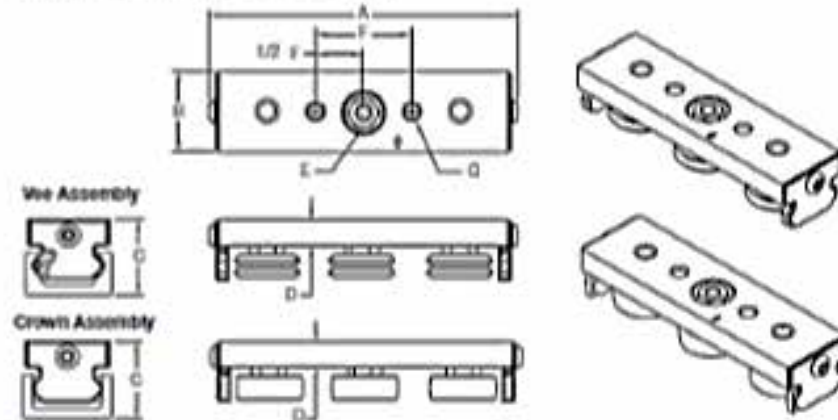
Dimensions (mm)

Size	Vee Assembly		Crown Roller Assembly		A	B	C (Pin)	C Min. Max (Crown)	D	E Bushed Size	F	G
	PW	SW ¹	PW	SW ¹								
0	UT2WVP	N/A	UT2WVR	N/A	70.0	18	22	22-33.1	7.0	8	22	M10x7
1	UT1WVP	UT1WVA	UT1WVR	UT1WVA	113.5	24	26.3	26.3-27.6	9.8	10	40	M16x1
2	UT2WVP	UT2WVA	UT2WVR	UT2WVA	144.2	38	36	34.7-37.4	11.8	13	45	M16x1.25
3	N/A	UT3WVA	N/A	UT3WVR	201.3	55	50	46.0-52.4	15.8	15	60	M10x1.5

Load Capacity (Max)

Size	PW Series Carriage						SW Series Carriage					
	Radial F _r (N)	Axial F _a (N)	M _r ² (N-m)	M _a ² (N-m)	M _r ¹ (N-m)	C	Radial F _r (N)	Axial F _a (N)	M _r ² (N-m)	M _a ² (N-m)	M _r ¹ (N-m)	C
0	55	88	3	1.5	1	130	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
1	110	155	6	3	2	300	2440	710	16	30.5	7	1600
2	165	211	18	8	4	350	6200	1475	56	100	22.7	10000
3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	13600	3100	209	348	136	21600

¹Note: Crown roller assemblies are not intended for axial, pitch moment, or roll moment loads. Load figures in these columns apply to the Vee assemblies only.



Notes

1. SW Series assemblies come standard with shielded wheels, for wheels with hubs load add 70% to the pin as follows, UT1WVA, UT2WVA, UT3WVA.
2. See notes 7 for dimension pin protrusion.

Figura 8. Ruedas con sus rieles.

Fuente: http://www.daltonbearing.com/uploadFiles/supplier/brochure_504.pdf

Nuevo

Motores paso a paso EMMS-ST
Hoja de datos

FESTO

Datos técnicos generales		ST-S	ST-M	ST-L
Motor				
Tamaño		ST-S	ST-M	ST-L
Tensión nominal	[V DC]	60		
Corriente nominal	[A]	0,5		
Momento de inercia din	[kg]	2,5	5,9	9,3
Ángulo de los pines	[°]	1,8 a 3%		
Escala de la bobina	[V]	0,1 a 10%	0,25 a 10%	0,5 a 10%
Inductancia de la bobina	[mH]	0,45	2,6	5,7
Momento de inercia de rotación	[kg·m ²]	1,75·10 ⁻⁴	1,95·10 ⁻⁴	0,70·10 ⁻⁴
Capacidad en 4 volt	[N]	200		
Capacidad en 6 volt	[N]	45		
Momento de inercia de la masa, rotor	[kg·m ²]	1	1,9	3
Freno				
Tensión de funcionamiento	[V DC]	24 a 60 V		
Potencia	[W]	11		
Momento de inercia din	[kg]	2		
Momento de inercia de la masa	[kg·m ²]	0,07		

1 - Sin freno

Datos técnicos accesorios	
Encoders ópticos	
Tensión de funcionamiento	[V DC]
Impulsos/Revoluciones	[1/rev]
Impulsos/seg	[1/s]
Controlador de línea	Protocolo BA 22

Pines [g]						
Tamaño	42	ST-S	ST-M	ST-S	ST-M	ST-L
Peso del producto	300	670	1.100	1.950	3.000	4.200
con encoder	450	670	1.200	2.300	3.200	4.350
con freno	540	1.090	1.520	2.350	3.400	4.600
con encoder y freno	690	1.150	1.580	2.500	3.600	4.900

Condiciones de funcionamiento y del entorno	
Clasificación ambiental según IEC 60721	3
Clasificación ambiental de motor	IP54
Clasificación ambiental del motor	IP54
Temperatura ambiente	[°C]
Temperatura de almacenamiento	[°C]
Vida útil	Según el método de rotación EM
Velocidad de rotación de sincronización	[N]
Velocidad máxima	[N]
Velocidad mínima	[N]

Figura 9. Motor Paso a Paso.
Fuente: Catálogo de FESTO


Nuevo

Motores paso a paso EMMS-ST
Hoja de datos


FESTO

Descripción de conexión

Conexión 04 motor
Señales 12, 17




Señales 07



Señal	Función
1	Motor A
2	Motor A'
3	Motor B
4	Motor B'
5	-
6	-
7	Freno (24 V)
8	Freno (0 V)
9	-
10	-
11	-
12	-

Señal	Función
1	Motor A
2	Motor A
3	Motor A'
4	Motor A'
5	Motor B
6	Motor B
7	Motor B'
8	Motor B'
9	-
10	-
11	Freno (24 V)
12	Freno (0 V)
13	-
14	-
15	-

Conexión del motor

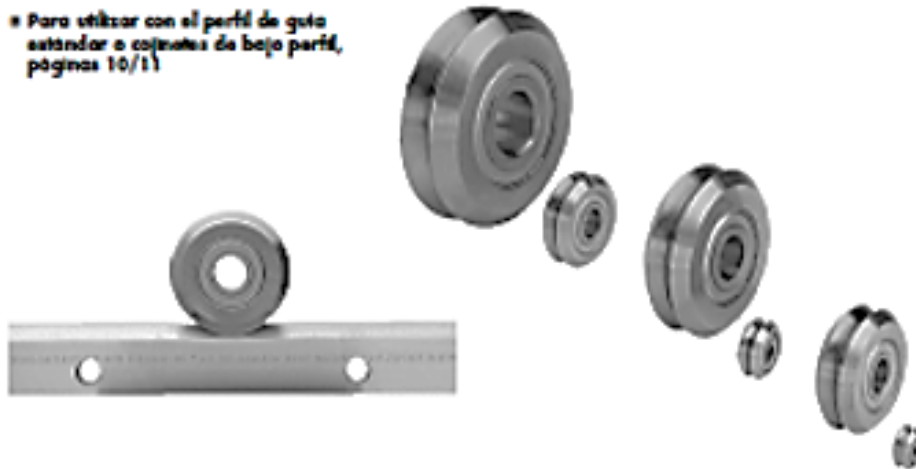


Señal	Función
1	Placa de señal A
2	Placa de señal A'
3	Placa de señal B
4	Placa de señal B'
5	0 V
6	Placa de señal B
7	Placa de señal A'
8	0 V

Figura 10. Motor Paso a Paso
Fuente: Catalogo de FESTO

Ruedas

* Para utilizar con el perfil de guta estándar o cojinetes de bajo perfil, páginas 10/11



DIMENSIONES**						MATERIALES						
Número de Perfil	Diámetro Exterior A	Ancho B	Longitud espesor C	Radio y Interior D/Ea	Radio y exterior D/Eb	Cuerpo Exterior*	Cuerpo Interior*	Bola*	Sustentador	Protector*	Sellos*	Grasa*
W10	10,00	8,00	4,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W12	12,00	9,00	5,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W14	14,00	11,00	5,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W16	16,00	13,00	6,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W18	18,00	15,00	6,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W20	20,00	17,00	7,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W22	22,00	19,00	7,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W24	24,00	21,00	8,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W26	26,00	23,00	8,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W28	28,00	25,00	9,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W30	30,00	27,00	9,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W32	32,00	29,00	10,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W34	34,00	31,00	10,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W36	36,00	33,00	11,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W38	38,00	35,00	11,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W40	40,00	37,00	12,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W42	42,00	39,00	12,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W44	44,00	41,00	13,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W46	46,00	43,00	13,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W48	48,00	45,00	14,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W50	50,00	47,00	14,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W52	52,00	49,00	15,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W54	54,00	51,00	15,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W56	56,00	53,00	16,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W58	58,00	55,00	16,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W60	60,00	57,00	17,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W62	62,00	59,00	17,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W64	64,00	61,00	18,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W66	66,00	63,00	18,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W68	68,00	65,00	19,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W70	70,00	67,00	19,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W72	72,00	69,00	20,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W74	74,00	71,00	20,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W76	76,00	73,00	21,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W78	78,00	75,00	21,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W80	80,00	77,00	22,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W82	82,00	79,00	22,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W84	84,00	81,00	23,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W86	86,00	83,00	23,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W88	88,00	85,00	24,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W90	90,00	87,00	24,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W92	92,00	89,00	25,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W94	94,00	91,00	25,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W96	96,00	93,00	26,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W98	98,00	95,00	26,50	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol
W100	100,00	97,00	27,00	3,00	5,10	30130	30130	30130	1004 20	A301	Héptaco	Graxol

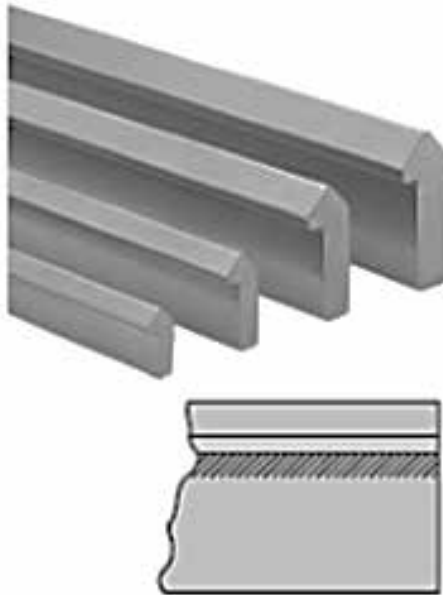
- Notas:**
1. El material *A591* del protector [JS STCC] está fabricado de acero al carbono enrollado al frío con un recubrimiento de zinc electroлитico (clasificado A591 por la ASTM). *304* refleja acero inoxidable 304.
 2. El material de sellado *CNE* es caucho de nitrilo butadieno.
 3. Todas las dimensiones se expresan en mm, si no se indica lo contrario.
 4. *Krytox GPL 227* es un producto DuPont. *Alvania 2* es un producto de Shell Oil.
 5. *52100* refleja acero de rodamiento endurecido AISI 52100 [Rc 60-67]; *440C* refleja acero inoxidable AISI 440C [Rc 58-60].
 6. Compatible con temperaturas altas - los componentes están estabilizados al calor para permitir su funcionamiento en temperaturas de hasta +260°C
 7. Compatible con zonas estériles - todos los componentes en acero inoxidable están internamente lubricados con grasa Erytex GPL 227.
 8. Las ruedas están fabricadas con tolerancias de la clase 2 de la ABIC.

Figura 11. Motor Paso a Paso
Fuente: Catalogo de FESTO

Guía: Tamaños y Especificaciones

Guía de Simple Canto - Sin agujeros

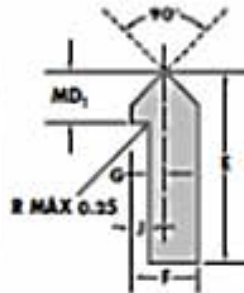
- Fácil instalación. Disponible desde stock.
- El diseño del simple canto permite un espaciado flexible entre pares de guías.
- El reborde patentado permite un posicionamiento preciso de las superficies en V.
- Disponible conformada o templada por inducción y pulida.
- La parte por debajo del reborde en la guía templada por inducción se deja blanda para permitir el taladrado de agujeros u otro tipo de mecanizado.
- Disponible en acero al carbono AISI 1045 o en acero inoxidable 420.



- Disponible sin agujeros o agujereado para facilitar la instalación.
- Las guías se pueden unir fácilmente para obtener longitudes superiores a los 6096 mm. La longitud máxima en una sola pieza es de 6096 mm, excepto en la guía T455 que es de 5790 mm. La tolerancia del corte en cualquier longitud es de ± 1.5 mm. (Tomar en cuenta el costo del corte).

Especificaciones

- T5** Material: acero AISI 1045, conformada en frío, sin templear, engrasada.
- T5 S5** Material: acero inoxidable AISI series 420, conformada en frío, sin templear, engrasada.
- T** Material: acero AISI 1045, superficies superiores de contacto templadas a un mínimo de 53 Rockwell C, pulidas y engrasadas. La parte por debajo del reborde no se endurece para permitir el posterior taladrado para el montaje.
- T S5** Material: acero inoxidable AISI Series 420, superficies superiores de contacto templadas a un mínimo de 48 Rockwell C, pulidas y engrasadas. La parte por debajo del reborde no se endurece para permitir el posterior taladrado para el montaje.



Para pedir: Especificar el número de longitudes, tipo de guía, tamaño y longitud.

Ejemplo: 5 unidades, T4 1500 mm [5 guías templadas del tamaño 4, de 1500 mm].

Notas:

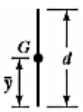
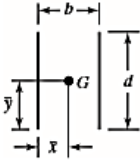
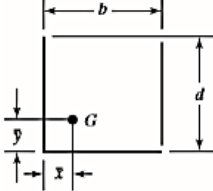
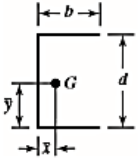
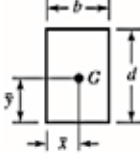

1. Todas las dimensiones se indican en mm.

Series	1	2	3	J	MD	kg/m
1	11.00	4.74	0.78	1.57	3.57	0.272
2	11.67	4.35	0.78	2.34	4.75	0.300
3	22.25	8.71	1.57	2.76	4.35	1.125
4	24.67	11.00	2.34	3.17	7.93	1.43

Figura 12. Rieles
Fuente: Catálogo de FESTO

Anexo C

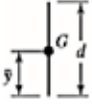
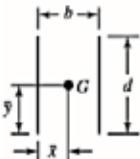
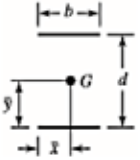
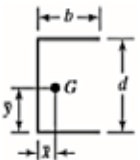
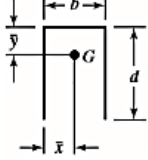
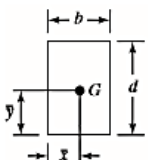
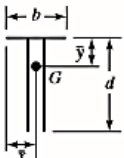
Tablas de Inercia y momentos

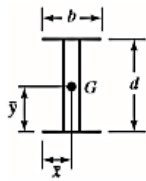
Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento polar unitario del área
	$A = 0.707 hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = d^3/12$
	$A = 1.414 hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2(b+d)}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b+d)}$	$J_u = \frac{(b+d)^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{(b+d)^3}{6}$
	$A = 1.414 \pi hr$		$J_u = 2\pi r^3$

*G es el centroide del grupo de soldaduras; h es el tamaño de la soldadura; el plano del par de torsión está en el plano de la página; todas las soldaduras son de ancho unitario.

Figura 1: Motor polar de inercia. Propiedades a la torsión de soldaduras de filete

Propiedades a la flexión de soldaduras de filete

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento unitario del área
	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$



$$A = 1.414h(b + d)$$

$$\bar{x} = b/2$$

$$\bar{y} = d/2$$

$$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$$

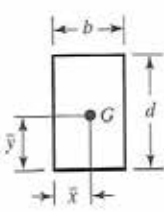
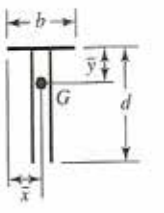
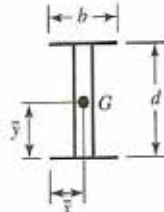



$$A = 1.414\pi hr$$

$$I_u = \pi r^3$$

* I_u segundo momento de área, se toma respecto de un eje horizontal que pasa por G , el centroide del grupo de soldaduras, siendo h el tamaño de la soldadura; el plano del par flexionante es normal al plano de la página y paralelo al eje y ; todas las soldaduras son del mismo tamaño.

Tabla 7-2 (continuación)

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento del área unitaria
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 1.414\pi hr$		$I_u = \pi r^3$

* I_u , segundo momento de área, se toma respecto a un eje horizontal que pasa por G, el centroide del grupo de soldaduras, siendo h el tamaño de la soldadura; el plano del par flexionante es normal al plano de la soldadura y, todas las soldaduras son del mismo tamaño.

... el centro de gravedad de un grupo de soldaduras se encuentra en el punto de intersección de los ejes de simetría de las soldaduras...

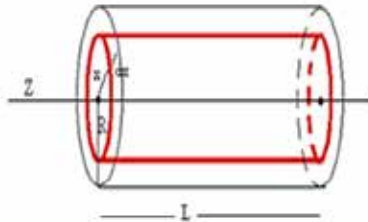


$$V = I + A\bar{y}^2$$

$$I^* = I_u$$

Momento de inercia de un cilindro

Vamos a calcular el momento de inercia de un cilindro de masa M , radio R y longitud L respecto de su eje.



Tomamos un elemento de masa que dista x del eje de rotación. El elemento es una capa cilíndrica cuyo radio interior es x , exterior $x+dx$, y de longitud L , tal como se muestra en la figura. La masa dm que contiene esta capa es

$$dm = \frac{M}{\pi R^2 L} 2\pi x dx L = \frac{2M}{R^2} x dx$$

El momento de inercia del cilindro es

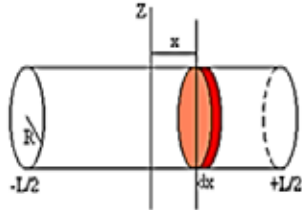
$$I_C = \int x^2 dm = \int_0^R \frac{2M}{R^2} x^3 dx = \frac{1}{2} MR^2$$

Figura 4. Momento de inercia de un cilindro.

Fuente: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/din_rotacion/inercia/inercia.htm

Momento de inercia de un cilindro

Vamos a calcular el momento de inercia de un cilindro de masa M , radio R y longitud L , respecto de un eje perpendicular a su generatriz y que pasa por su centro.



Dividimos el cilindro en discos de radio R y espesor dx . El momento de inercia de cada uno de los discos respecto de uno de sus diámetros es

$$\frac{1}{4} R^2 dm = \frac{1}{4} R^2 \frac{M}{\pi R^2 L} \pi R^2 dx = \frac{M}{4L} R^2 dx$$

Aplicando el teorema de Steiner, calculamos el momento de inercia de este disco, respecto de un eje paralelo situado a una distancia x .

$$\frac{1}{4} R^2 dm + x^2 dm = \left(\frac{1}{4} R^2 + x^2 \right) \frac{M}{\pi R^2 L} \pi R^2 dx = \left(\frac{1}{4} R^2 + x^2 \right) \frac{M}{L} dx$$

El momento de inercia del cilindro es

$$I_C = \int_{-L/2}^{+L/2} \left(\frac{1}{4} R^2 + x^2 \right) \frac{M}{L} dx = \frac{1}{4} MR^2 + \frac{1}{12} ML^2$$

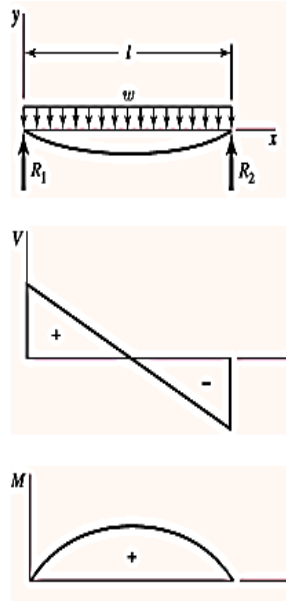
Figura 5. Momento de inercia de un cilindro.

Fuente: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/din_rotacion/inercia/inercia.htm

Tabla A-9

Cortante, momento y deflexión de vigas (continuación)
 (Nota: La fuerza y las reacciones de momento son positivas en las direcciones que se muestran; las ecuaciones de la fuerza cortante V y el momento cortante M siguen las convenciones de signos que se dieron en la sección 3-2.)

7 Apoyos simples: carga uniforme



$$R_1 = R_2 = \frac{wl}{2} \quad V = \frac{wl}{2} - wx$$

$$M = \frac{wx}{2}(l-x)$$

$$y = \frac{wx}{24EI}(2lx^2 - x^3 - l^3)$$

$$y_{\text{máx}} = -\frac{5wl^4}{384EI}$$

Figura 6 – a Cortante, Momentos y Deflexión en vigas
 Fuente: Budynas, R. y Nisbett, J. (2.008).

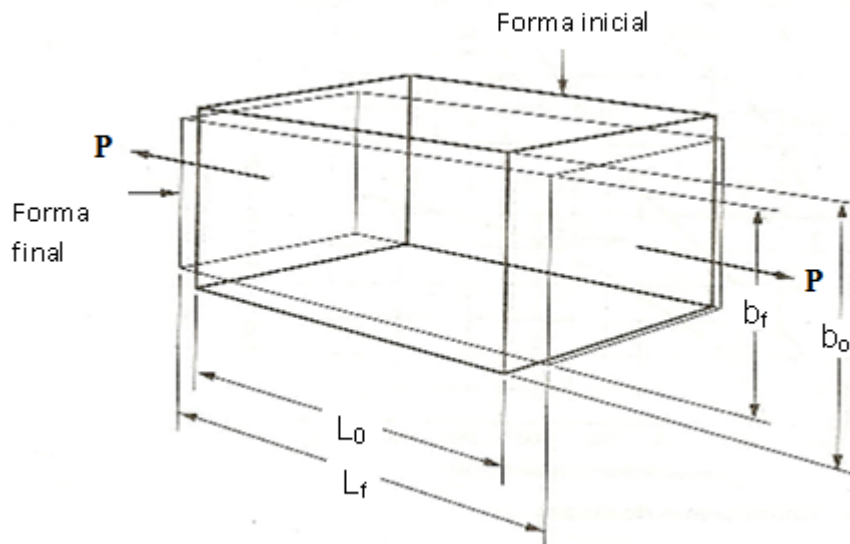


Figura 6 – b L_0 de tracción P ; L_f = longitud de la

pieza después de aplicada **P**. La deformación es

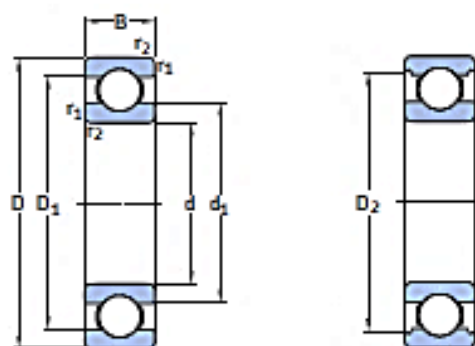
$$d = \frac{PL_0}{AE} = \frac{SL_0}{E}$$

Fuente: Tassoni D. (2.006).

Anexo D

Catalogo Rodamientos (SKF)

1.1 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas d 12-22 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	C	C ₀	P ₀	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-
12	21	5	1,74	0,915	0,039	70 000	43000	0,0063	61801
	24	6	2,91	1,46	0,062	67 000	40000	0,011	61901
	28	8	5,4	2,36	0,1	60 000	38000	0,021	6001
	30	8	5,07	2,36	0,1	60 000	38000	0,026	16101
	32	10	7,28	3,1	0,132	50 000	32000	0,037	6201
	37	12	10,1	4,15	0,176	45 000	28000	0,06	6301
15	24	5	1,9	1,1	0,048	60 000	38000	0,0065	61802
	28	7	4,36	2,24	0,095	56 000	34000	0,016	61902
	32	8	5,85	2,85	0,12	50 000	32000	0,03	16002
	32	9	5,85	2,85	0,12	50 000	32000	0,03	6002
	35	11	8,06	3,75	0,16	43 000	28000	0,045	6202
	42	13	11,9	5,4	0,228	38 000	24000	0,082	6302
17	26	5	2,03	1,27	0,054	56 000	34000	0,0075	61803
	30	7	4,62	2,55	0,108	50 000	32000	0,016	61903
	35	8	6,37	3,25	0,137	45 000	28000	0,038	16003
	35	10	6,37	3,25	0,137	45 000	28000	0,038	6003
	40	12	9,95	4,75	0,2	38 000	24000	0,065	6203
	40	12	11,4	5,4	0,228	38 000	24000	0,064	6203 ETN9
20	47	14	14,3	6,55	0,275	34 000	22000	0,11	6303
	62	17	22,9	10,8	0,455	28 000	18000	0,27	6403
	32	7	4,03	2,32	0,104	45 000	28000	0,018	61804
	37	9	6,37	3,65	0,156	43 000	26000	0,037	61904
	42	8	7,28	4,05	0,173	38 000	24000	0,05	16004
	42	12	9,95	5	0,212	38 000	24000	0,067	6004
22	47	14	13,5	6,55	0,28	32 000	20000	0,11	6204
	47	14	15,6	7,65	0,325	32 000	20000	0,098	6204 ETN9
	52	15	16,8	7,8	0,335	30 000	19000	0,14	6304
	52	15	18,2	9	0,38	30 000	19000	0,14	6304 ETN9
	72	19	30,7	15	0,64	24 000	15000	0,41	6404
	50	14	14	7,65	0,325	30 000	19000	0,13	62/22
56	16	18,6	9,3	0,39	28 000	18000	0,18	63/22	

* Rodamiento SKF Explorer

Anexo E

Propiedades Mecánicas de algunos aceros tratados
térmicamente

Tabla A-21

Propiedades mecánicas medias de algunos aceros tratados térmicamente

[Éstas son propiedades típicas de materiales normalizados y recocidos. Las propiedades de aceros templados y revenidos (TyR) son de una sola colada. Debido a las muchas variables, las propiedades listadas son promedios generales. En todos los casos, los datos se obtuvieron de piezas con diámetro de 0.505 pulg, maquinadas a partir de barras redondas de 1 pulg y la longitud de calibración es de 2 pulg. A menos que se especifique otra cosa, todas las piezas se templaron en aceite] Fuente: ASM Metals Reference Book, 2a. ed., American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1983.

1	2	3	4	5	6	7	8
AISI núm.	Tratamiento	Temperatura °C (°F)	Resistencia a la tensión MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación, %	Reducción en el área, %	Dureza Brinell
1030	TyR*	205 (400)	848 (123)	648 (94)	17	47	495
	TyR*	315 (600)	800 (116)	621 (90)	19	53	401
	TyR*	425 (800)	731 (106)	579 (84)	23	60	302
	TyR*	540 (1 000)	669 (97)	517 (75)	28	65	255
	TyR*	650 (1 200)	586 (85)	441 (64)	32	70	207
	Normalizado	925 (1 700)	521 (75)	345 (50)	32	61	149
	Recocido	870 (1 600)	430 (62)	317 (46)	35	64	137
1040	TyR	205 (400)	779 (113)	593 (86)	19	48	262
	TyR	425 (800)	758 (110)	552 (80)	21	54	241
	TyR	650 (1 200)	634 (92)	434 (63)	29	65	192
	Normalizado	900 (1 650)	590 (86)	374 (54)	28	55	170
	Recocido	790 (1 450)	519 (75)	353 (51)	30	57	149
1050	TyR*	205 (400)	1 120 (163)	807 (117)	9	27	514
	TyR*	425 (800)	1 090 (158)	793 (115)	13	36	444
	TyR*	650 (1 200)	717 (104)	538 (78)	28	65	235
	Normalizado	900 (1 650)	748 (108)	427 (62)	20	39	217
	Recocido	790 (1 450)	636 (92)	365 (53)	24	40	187
1060	TyR	425 (800)	1 080 (156)	765 (111)	14	41	311
	TyR	540 (1 000)	965 (140)	669 (97)	17	45	277
	TyR	650 (1 200)	800 (116)	524 (76)	23	54	229
	Normalizado	900 (1 650)	776 (112)	421 (61)	18	37	229
	Recocido	790 (1 450)	626 (91)	372 (54)	22	38	179
1095	TyR	315 (600)	1 260 (183)	813 (118)	10	30	375
	TyR	425 (800)	1 210 (176)	772 (112)	12	32	363
	TyR	540 (1 000)	1 090 (158)	676 (98)	15	37	321
	TyR	650 (1 200)	896 (130)	552 (80)	21	47	269
	Normalizado	900 (1 650)	1 010 (147)	500 (72)	9	13	293
	Recocido	790 (1 450)	658 (95)	380 (55)	13	21	192
1141	TyR	315 (600)	1 460 (212)	1 280 (186)	9	32	415
	TyR	540 (1 000)	896 (130)	765 (111)	18	57	262

[continúa]