



SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

ESPECIALIDAD INGENIERÍA MECÁNICA

RESIDENCIA PROFESIONAL

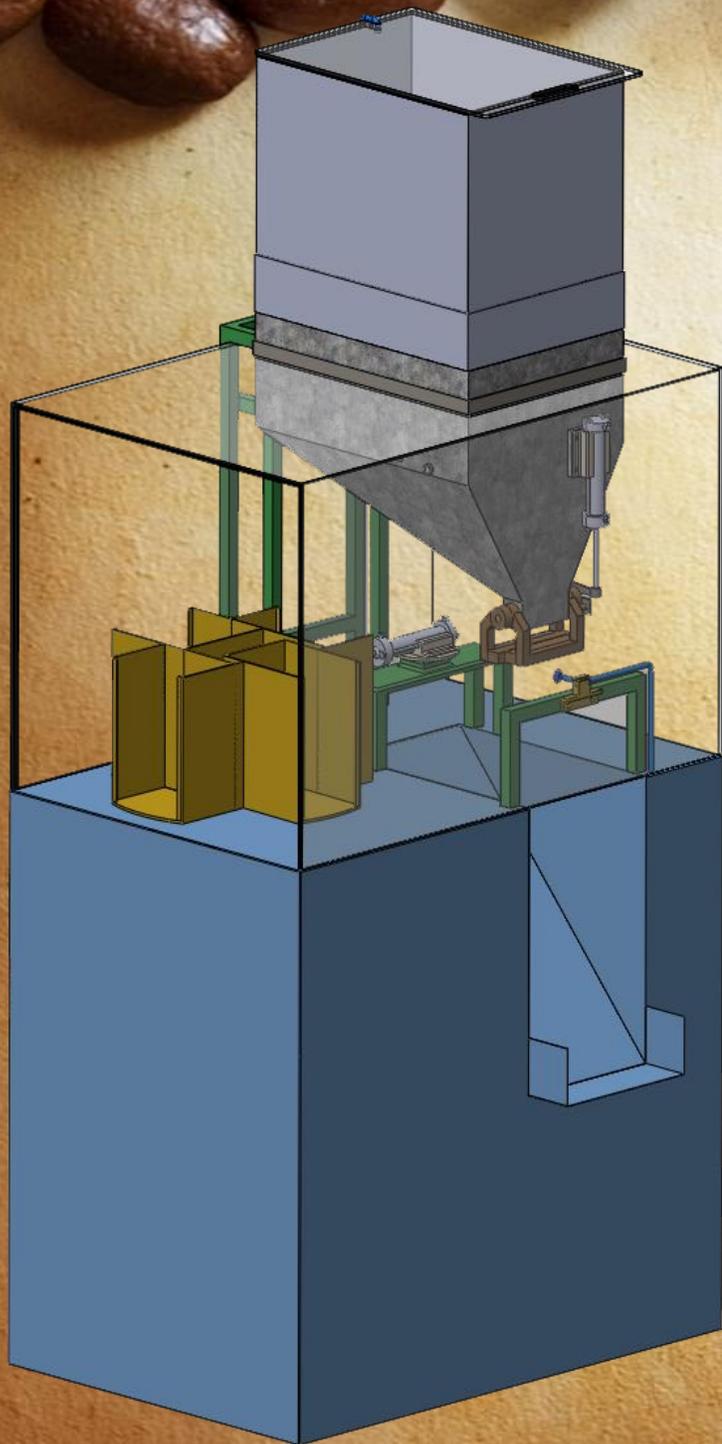
Diseño y construcción de una máquina empaquetadora de café molido

PRESENTADO POR:

Ever Rodríguez López (Etapa 1: Diseño mecánico y simulación)
Gilbert López y López (Etapa 2: Automatización y construcción)

Carretera Panamericana Km.1080, C.P. 29050, Apartado Postal 599
Teléfonos: (961) 61 5-03-80 (961) 61 5-04-61 Fax: (961) 61 5-16-87





**Diseño y construcción
de una maquina
empaquetadora de café
molido**

ÍNDICE

Introducción	
Justificación	
Objetivo general y específicos	
Caracterización del área en que participó	
Problema a resolver	
Alcances y limitaciones	

CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE

1.1 Generalidades del café.....	1
1.2 El café en México.....	4
1.2.1 ¿Quién produce el café en México?	4
1.2.2 ¿Dónde se produce el café en México?	5
1.2.3 ¿Cómo se produce el café en México?	7
1.3 El café en Chiapas.....	9
1.4 Procesamiento del café.....	13
1.5 Conservación y empaquetado del café.....	14

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

“Etapa 1: Diseño mecánico”

2.1 Filosofía del diseño mecánico.....	17
2.2 Etapas del diseño.....	17
2.3 Parámetros o criterios de diseño.....	18
2.4 Teoría acerca de los elementos utilizados en el diseño mecánico de la “Máquina empaquetadora de café molido”.....	19
2.4.1 Tapa.....	19
2.4.2 Tolva.....	20
2.4.2.1 Diseño de tolva.....	22
2.4.2.1.1 Dimensionamiento.....	22
2.4.2.1.2 Ángulo de reposo.....	22
2.4.2.1.3 Espesor del material.....	23
2.4.2.1.4 Peso de la tolva.....	25
2.4.3 Tornillo sinfín.....	27
2.4.3.1 Determinación del flujo del material.....	27
2.4.3.2 Potencia de accionamiento.....	29
2.4.4 Armadura.....	31
2.4.4.1 Armadura plana.....	31
2.4.4.2 Hipótesis de diseño.....	32
2.4.4.3 Método de los nodos.....	32

2.4.4.4 Método de las secciones.....	33
2.4.5 Columna.....	34

“Etapa 2: Automatización”

2.5 Definición de automatización.....	36
2.6 Tipos de automatización.....	36
2.7 Clasificación de automatización.....	36
2.8 Componentes electrónicos utilizados en la automatización.....	36
2.9 Software en la automatización.....	37
2.10 Motores eléctricos.....	37
2.10.1 Motores de C.A.....	39
2.10.2 Motores de corriente directa C. D. o de corriente continua C. C.....	39
2.10.2.1 Clasificación de los motores de corriente continua.....	40
2.11 Definición de solenoide.....	41
2.12 Definición de sensor.....	43
2.13 Definición de compresor.....	46
2.14 Aire comprimido.....	48
2.15 Definición de actuador.....	48
2.16 Definición de PLC.....	51
2.16.1 Descripción y funcionamiento de los PLC’S.....	51

CAPÍTULO 3. CÁLCULOS

“Etapa 1: Diseño mecánico”

3.1 Propuesta de diseño mecánico.....	55
3.2 Tapa de tolva superior.....	57
3.3 Tolva superior.....	58
3.3.1 Dimensionamiento.....	58
3.3.2 Ángulo de reposo de la parte baja de la tolva superior.....	59
3.3.3 Calculo del espesor de la lámina.....	60
3.3.4 Peso de la tolva.....	61
3.4 Tornillo sinfín.....	63
3.4.1 Dimensionamiento.....	63
3.4.2 Potencia de accionamiento.....	64
3.5 Tolva con cara plana.....	65
3.6 Soporte estructural tubular cuadrada de la tolva.....	66
3.6.1 Cálculo de reacciones.....	66

“Etapa 2: Automatización”

3.7 Propuesta de automatización.....	69
3.8 Selección de motor eléctrico para tornillo sinfín.....	74
3.9 Selección de tipo de bolsa para el llenado de café molido.....	75
3.10 Selección de motor a paso para el panel giratorio contenedor de bolsas de café de polietileno laminado metalizado.....	75
3.11 Determinación y selección de diámetros de actuadores neumáticos....	76
3.12 Selección de actuador rotativo neumático.....	78
3.13 Selección de compresor neumático.....	79
3.14 Selección de sensor de peso.....	80
3.15 Determinación de la temperatura de la prensa térmica para el sellado de las bolsas de café de polietileno laminado metalizado.....	82
3.16 Selección de PLC.....	84

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.....	86
4.2 Recomendaciones.....	86

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Planta de cafeto con cerezas maduras.....	1
Figura 2: Cafeto de Arabia o arábica (Coffea Arabica). Semilla, fruto y planta.....	2
Figura 3: Cafeto de Robusta (Coffea Robusta). Semilla, fruto y planta.....	2
Figura 4: Comparación entre la semilla de cafeto de Arabia o arábica y la semilla de cafeto de Robusta.....	3
Figura 5: Cafeto libérico (Coffea Liberica). Semilla, fruto y planta.....	3
Figura 6: Mapa de los municipios cafetaleros de México con las principales regiones productoras de café.....	6
Figura 7: Los 5 sistemas de producción de café en México.....	8
Figura 8: Etapas del diseño.....	17
Figura 9: Tolvas típicas, de paredes rectangulares y cilíndricas.....	21
Figura 10: Partes principales una tolva rectangular.....	21
Figura 11. Valores de α en las formulas para recipientes rectangulares.....	24
Figura 12: Uniones entre armaduras.....	31
Figura 13: Diversos motores eléctricos.....	38
Figura 14: Motores de C. C. de diversos tamaños.....	40
Figura 15: Ejemplo de solenoide.....	42
Figura 16: Líneas del campo magnético sobre un solenoide atravesado por una corriente.....	42
Figura 17: Aplicaciones del solenoide.....	42
Figura 18: Ejemplo de compresor neumático.....	46
Figura 19: Ejemplos de actuadores lineales neumáticos.....	49
Figura 20: Actuador lineal hidráulico.....	49
Figura 21: Actuador lineal eléctrico.....	49
Figura 22: Ejemplos de actuadores rotativos neumáticos.....	50
Figura 23: Muestras de actuadores rotativos hidráulicos.....	50
Figura 24: Actuador rotativo eléctrico.....	50
Figura 25: Una amplia gama de diversos modelos de PLC's.....	52
Figura 26: Modelo propuesto de máquina empaquetadora de café molido con sus componentes mecánicos y automáticos.....	55
Figura 27: Ejemplo propuesto simulado de tapa de tolva superior.....	57
Figura 28: Ejemplo propuesto simulado de tolva superior.....	58
Figura 29: Vistas de tolva superior.....	61
Figura 30: Ejemplo propuesto simulado de tornillo sin fin.....	63
Figura 31: Ejemplo propuesto simulado de tolva con cara plana.....	65
Figura 32: Ejemplo propuesto simulado de soporte estructural cuadrado de la tolva.....	66
Figura 33: Análisis de reacciones del soporte estructural tubular cuadrado de la tolva.....	67
Figura 34: Diagrama de escalera "Máquina empaquetadora de café molido"69	
Figura 35: Diagrama de conexión entre componentes de la "Máquina empaquetadora de café molido".....	73

Figura 36: Ejemplo propuesto simulado de actuador lineal neumático.....	78
Figura 37: Ejemplo propuesto simulado de soporte fijo de actuador lineal neumático.....	78
Figura 38: Ejemplo propuesto simulado de plataforma rotativa de actuador lineal neumático.....	79
Figura 39: Ejemplo propuesto simulado de elemento de unión entre mordaza y vástago de actuador lineal neumático.....	82
Figura 40: Ejemplo propuesto simulado de mordaza llámese también prensa o selladora térmica.....	82
Figura 41: Simulación y graficación de los puntos y áreas donde se propaga y distribuye el calor por convección.....	83
Figura 42: Diagrama de circuitos para selladoras domésticas e industriales	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Municipios, localidades, superficie y productores de café en México.....	4
Tabla 2: Relación entre tamaño del predio y el número de productores, superficie y producción de café en México.	5
Tabla 3: Las 13 regiones cafetaleras en el Estado de Chiapas.....	9
Tabla 4: Coeficiente de descarga según el tipo de descarga.....	27
Tabla 5: Coeficientes de disminución del flujo de material en función de la inclinación del canalón.....	28
Tabla 6: Coeficientes de resistencia de distintos materiales.....	29
Tabla 7: Tipos y ejemplos de sensores electrónicos.....	44
Tabla 8: Componentes mecánicos y automáticos pertenecientes a la “Máquina empaquetadora de café molido”.....	56
Tabla 9: Diámetros parciales y promedio D_A	59

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafica 1: Superficie del café en el estado de Chiapas a nivel delegación.....	10
Grafica 2: Número de cafeticultores en el estado de Chiapas por delegación.....	11
Grafica 3: Superficie sembrada con café en Chiapas a nivel delegación.....	12

Introducción

Desde hace más de dos siglos y hasta nuestros días, el café se mantiene como una de las bebidas más populares en el mundo occidental. El grano del cafeto es considerado como un producto básico que tiene una gran importancia para la economía de numerosos países productores que, en algunos casos, dependen en gran medida de su exportación hacia los países consumidores para obtener divisas. Para tal efecto, el grano debe pasar por un proceso que involucra a productores, beneficiadores, comercializadores, etc.; que a su vez, también, cuenta con nuevas tendencias de competencias tecnológicas de procesos secundarios para el tratado, molido y empacado del café dentro de los mercados, por lo cual, para este caso, se refleja la optimización del tiempo para la realización del proceso, no obstante también que todo esto debe contar con el diseño y la construcción de los elementos ingenieriles utilizados bajo ciertas normas oficiales e internacionales para llevar a cabo lo mencionado anteriormente.

El objetivo del presente trabajo es el empacado del café tratado y molido para su beneficio con la comunidad en general.

El proyecto consiste en empacar de forma automatizada el café tratado y molido, el cual ahorra tiempos, costos y genera beneficios para aquella persona o empresa que desee utilizarla; además, otro beneficio que se obtendrá con la implementación de este proyecto será la higiene y calidad con la que se realizará el empaquetado del café tratado y molido, utilizando conceptos y técnicas ingenieriles actuales y modernas de diseño, automatización y control para elementos eléctricos, electrónicos, mecánicos y neumáticos; todo esto regido bajo la **NORMA Oficial Mexicana NOM-251-SSA1-2009**, el cual trata sobre las “**PRACTICAS DE HIGIENE PARA EL PROCESO DE ALIMENTOS, BEBIDAS O SUPLEMENTOS ALIMENTICIOS**” y finalmente con todas las características mencionadas anteriormente se establece el grado de innovación y optimización del tiempo del proceso de empacado del café.

Justificación

Toda empresa dedicada al trabajo de la producción y exportación del café en sus diversas presentaciones, debe contar con los equipos necesarios y adecuados para el tratado, molido y empaquetado de este producto.

El objetivo del presente trabajo es el empaquetado del café. Para lograr este objetivo se seleccionarán y utilizarán elementos de diseño y automatización para este trabajo.

Pulverizado el café y empaquetándolo de forma automatizada, se obtendrá un empaquetado de buena calidad regido bajo ciertas normas que contendrá cantidades exactas de café molido que será aprovechado por la comunidad en general.

El café pulverizado se venderá en bolsas de papel aluminio, ya que este papel protege del óxido, es liviano, no toxico, reciclable, repele el calor, es manejable y resistente, el cual servirá para elevar la calidad y la presentación del producto.

Actualmente para el empaquetado del café, se utilizan técnicas rudimentarias, poco confiables y en su caso obsoletas, el cual no ofrecen las cantidades exactas y deseadas.

El presente proyecto consiste en utilizar un transportador helicoidal o tornillo sin fin para conducir el café pulverizado desde una tolva hacia una pesa, el cual estará controlada por un sensor automático de peso exacto, para desde ahí empaquetarlo en bolsas de papel aluminio seleccionadas desde un selector de bolsas y finalmente ser vendido al público.

Objetivo general y específicos

Objetivo general

Implementar una nueva forma de empaquetar café molido, fundamentándose en el uso de la ingeniería mecánica y sus aplicaciones, tales como el diseño mecánico y la automatización, así como también satisfacer la calidad alimenticia exigida por el comerciante.

Objetivos específicos

- Revisar referencias bibliográficas físicas y virtuales existentes los cuales estén relacionados con la siembra, extracción, procesado y empaquetado del café.
- Analizar la importancia que toman las industrias y los comercios cafetaleros para entregar calidad en el empaquetado del café.
- Estudiar los tiempos que conllevan los procesos automatizados para empaquetar café.
- Adecuar proceso de empaquetado de café que tenga la capacidad de procesar a éste de forma limpia y eficiente.
- Dar a conocer los beneficios que obtiene el comerciante y la zona de trabajo al adquirir un nuevo modelo tecnológico para empaquetar café.

Caracterización del área en que participó

Dentro de la Especialidad de Ingeniería Mecánica existe un área que se dedica a la investigación de proyectos a ser desarrollados por alumnos del Instituto como parte de su residencia Profesional.

Por nuestra parte, hemos trabajado en el desarrollo de un proyecto interno propuesto que cumple con las expectativas de esta área. Nuestro proyecto está enfocado particularmente en el tema del empaquetado del café molido, que a su vez abarca las áreas de diseño mecánico y automatización.

Problema a resolver

Un principal problema a los que se enfrentan los empresarios de pequeñas y medianas empresas que cuenta con un expendio de café: es la utilización de mayor tiempo en el envasado manualmente, la pérdida de producto durante el proceso, la contaminación del café en polvo debido al proceso manual de envasado y la mala capacitación del personal que maneja el envasado del producto.

Alcances y limitaciones

Alcances

Implementar una nueva forma de empaquetar café molido, fundamentándose en el uso de la ingeniería mecánica y sus aplicaciones, tales como el diseño mecánico y la automatización, así como también satisfacer la calidad alimenticia exigida por el comerciante y el cliente.

Limitaciones

Las limitaciones que se presentan durante el empaquetado del café son las siguientes:

Por lesiones

- ***Cortes o perforaciones***

Causa: Perforación del empaque por objetos agudos; astillas de madera; grapas o clavos sobresalientes en los contenedor.

Efecto: Perforaciones o cortes profundos en el producto que dan lugar a que se pierda producto y se deteriore el empaque.

- ***Impacto (golpes)***

Causa: Lanzamiento o caída del empaque; puesta en marcha o frenazo bruscos de la máquina, que hacen que la carga de café se mueva.

Efecto: Magulladuras en el contenido y en el empaque.

- ***Compresión (apretujamiento o aplastamiento)***

Causa: Contenedores demasiado llenos o en pilas demasiado altas o ambas cosas. Derrumbamiento de los empaques de café y su contenido.

Efecto: magulladuras o aplastamiento del contenido.

- ***Vibración (sacudidas)***

Causa: vibración debida a la propia máquina.

Efecto: Las piezas se desensamblan y se dañan.

Por las condiciones ambientales

- ***Daños causados por el calor***

Causa: Exposición de la máquina al calor exterior, por ejemplo, colocándola directamente al sol o almacenándola cerca de un sistema de calefacción; aumento natural del calor interno del producto debido a la falta de ventilación dentro de la máquina.

Efecto: El café adquiere un sabor anómalo y la descomposición progresiva rápida de éste.

- ***Daños causados por el enfriamiento o la congelación***

Causa: Temperatura ambiente baja o inferior a cero; exposición de productos delicados a temperaturas inferiores a su nivel de tolerancia del frío o la congelación durante el almacenamiento.

Efecto: Daños en algunas piezas mecánicas y deterioro del producto.

- ***Daños causados por la humedad y el agua***

Causa: Exposición a la lluvia o a humedad elevada y condensación dentro de la máquina.

Efecto: Deterioro del producto y dañado de piezas internas.

Por otras causas

- ***Daños causados por contaminación química***

Causa: Contaminación de contenedores por productos químicos y humedad.

Efecto: Contaminación del sabor o daños y cambios de coloración de la superficie en contacto con el contenedor; deterioro del producto por efecto del moho.

- ***Daños causados por insectos***

Causa: Insectos presentes en el producto.

Efecto: Rechazo del producto por los consumidores y problemas jurídicos por la presencia de insectos (por ejemplo, arañas o cucarachas) en el producto.

- ***Daños causados por personas y animales***

Causa: Roedores comen del producto o lo contaminan; hurto de producto por personas.

Efecto: Rechazo del producto por compradores o inspectores; pérdidas de ingresos causadas por las pérdidas del producto.



Capítulo

Estado del Arte

1.1. Generalidades del Café

El café es una bebida que se obtiene a partir de mezcla en agua caliente de granos tostados de la planta de café (*Coffea* de la familia Rubiaceae conocida como cafeto). A pesar de que comercialmente es la bebida número uno del mundo se estima que un tercio de la población mundial la consume (la mitad de la población mundial es consumidora de té). Su popularidad se debe básicamente a su efecto vigorizante, tonificante y estimulante, consecuencia de la presencia de la cafeína en aproximadamente un 0.75% al 1.5% del peso.

El cafeto es la planta que produce el fruto del café, pertenece a la familia de las rubiáceas y conforma el género *Coffea* que comprende setenta especies, aunque las más productivas son las agrupadas en tres grandes grupos muy diferentes: arábica, robusta y libérica.

De la treintena de especies que comprende el género *Coffea* solo son importantes tres: arábica, canephora y libérica. El arbusto o arbolillo, de 4.6 a 6 m de altura en la madurez, tiene hojas aovadas, lustrosas, verdes, que se mantienen durante tres a cinco años y flores blancas, fragantes, que solo permanecen abiertas durante unos pocos días. El fruto se desarrolla en el curso de los seis o siete meses siguientes a la aparición de la flor; cambia desde el verde claro al rojo y, cuando está totalmente maduro y listo para la recolección, al carmesí. El fruto maduro, que se parece a la cereza, se forma en racimos unidos a las ramas por tallos muy cortos; suele encerrarse en dos semillas rodeadas de una pulpa dulce.

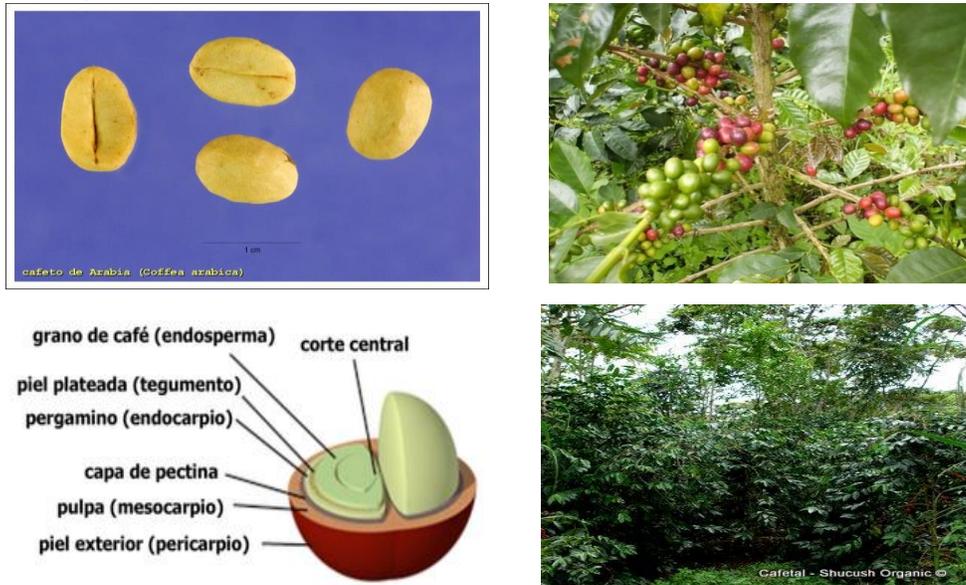
Figura 1: Planta de cafeto con cerezas maduras.



Fuente: Enciclopedia Encarta 2007

A continuación algunos ejemplos del género Coffea, los cuales son importantes tres: arábica, canephora y libérica.

Figura 2: Cafeto de Arabia o arábica (*Coffea Arabica*). Semilla, fruto y planta



Fuente: La cafeticultura en la región del Soconusco. Convenio Estatal del Café en Chiapas Colección Chiapas Google Images 2012

Figura 3: Cafeto de Robusta (*Coffea Robusta*). Semilla, fruto y planta



Fuente: La cafeticultura en la región del Soconusco. Convenio Estatal del Café en Chiapas Colección Chiapas Google Images 2012

Figura 4: Comparación entre la semilla de cafeto de Arabia o arábica y la semilla de cafeto de Robusta



Fuente: La cafeticultura en la región del Soconusco. Convenio Estatal del Café en Chiapas. Colección Chiapas Google Images 2012

Figura 5: Cafeto libérico (Coffea Libérica). Semilla, fruto y planta



Fuente: La cafeticultura en la región del Soconusco. Convenio Estatal del Café en Chiapas. Colección Chiapas Google Images 2012

1.2. El café en México

El café es uno de los cultivos tropicales más importantes no solo para los 56 países productores del tercer mundo, si no para Estados Unidos, Europa y Japón, que consume 80% del café producido. En la década pasada el grano generó uno de los más altos ingresos para las economías locales de más de cincuenta países tropicales, precedido en algunos casos solo por el petróleo y el turismo. Este fue el caso de México, donde el café, introducido desde 1795, es un cultivo de una enorme trascendencia desde el punto de vista no solo económico y social, si no cultural y ecológico.

Al ser el principal productor agrícola de exportación durante los últimos veinte años, este cultivo colocó a México en importantes posiciones internacionales. México ocupa hoy día el cuarto lugar en el mundo por su producción (Después de Brasil, Colombia e Indonesia), el quinto lugar por la superficie cosechada y el noveno por su rendimiento.

En México, el café generó en la década de los ochenta 36% del valor de las exportaciones agrícolas y ocupó el quinto sitio por superficie cosechada, antecedido solo por el maíz, el frijol, el sorgo y el trigo. Como generador de divisas, el café produjo entre 285 (1993) y 700 (1994) millones de dólares anuales. Asimismo, se estima que la producción de este cultivo ocupa a una población de casi tres millones de individuos.

1.2.1. ¿Quién produce el café en México?

De acuerdo con el censo del Inmecafé hacia 1989 la producción del aromático se concentraba en alrededor de 4300 localidades, distribuidas en 411 municipios y en 12 estados de la República.

Tabla 1: Municipios, localidades, superficie y productores de café en México

Estado	Número de municipios cafetaleros	Número de localidades cafetaleras	Superficie cultivada de café (en ha)	Número de productores	Producción en quintales
Colima	5	28	2 170	795	8 935
Chiapas	69	1 418	211 950	28 620	2 318 014
Guerrero	10	73	40 620	8 389	254 336
Hidalgo	18	473	43 100	23 746	451 372
Jalisco	1	10	2 080	308	6 398
Nayarit	7	49	19 000	3 288	157 825
Oaxaca	117	771	176 980	57 052	1 097 296
Puebla	47	442	67 700	14 136	1 184 286
Querétaro	1	3	614	313	4 592
San Luis Potosí	8	247	31 150	16 100	203 970
Tabasco	2	29	1 690	950	5 600
Veracruz	72	783	134 430	44 908	1 703 180
Total	357	4 326	731 484	198 605	7 395 804

Fuente: Censo Inmecafé 1989

La superficie cultivable se estima entre 700 000 (Censo del Inmecafé) y 800 000 hectáreas (Censo Agropecuario 1991), una superficie que puede varias año con año de acuerdo con las expectativas económicas que presente su cultivo. Lo que sucede en los principales países productores como Brasil y Colombia, en México el café lo producen fundamentalmente las familias campesinas e indígenas y a pequeña escala. Así, el 92% de la superficie cultivada corresponde a propietarios con promedios de menos de 5 hectáreas o a 70% con no más de 2 hectáreas. Estos representan 65% de la superficie cafetalera del país y casi la mitad del total de la producción, un tercio lo generan propietarios con más de 10 hectáreas y el restante 20% los de entre 5 y 10 hectáreas, 60% de los productores pertenecen a ejidos y comunidades indígenas, en tanto que 38% son propietarios privados (pequeños, medianos y grandes).

Tabla 2: Relación entre tamaño del predio y el número de productores, superficie y producción de café en México.

Tamaño de la finca (ha)	Productores		Superficie		Producción	
	Núm.	(%)	Hectáreas	(%)	Miles Qq	(%)
Hasta 2	138 192	71.3	203 544	36.3	1 511	25.3
2.01-5	39 941	20.6	157 967	28.2	1 177	19.7
5.01-10	11 791	6.1	90 724	16.2	1 272	21.3
10.01-20	3 097	1.6	48 203	8.6	675	11.3
20.01-50	631	0.3	20 161	3.6	532	8.9
Más de 50	270	0.1	39 744	7.1	806	13.5
Total	193 922	100	560 343	100	5 973	100

Fuente: Santoyo et. Al. 1994.

Según el panorama anterior, una parte sustancial de la producción del café en México es realizada por la población indígena. De acuerdo con el análisis llevado a cabo por los autores con base en los datos del Censo de Población y Vivienda de 1990, de 351 municipios plenamente reconocidos como cafetaleros, 200 tenían población indígena (25% o más de su población) y dentro de estos, 94 son muy indígenas (donde más de 75% de su población hablan una lengua diferente al español). Dentro de este sector están representados casi 30 grupos indígenas entre los que destacan zapotecos, mixtecos, mixes, mazatecos, totonacos, nahuas, huastecos, tzeltales, zoques, tojolabales, huicholes y chatinos. Desde el punto de vista cultural, destaca el hecho de que alrededor de este cultivo existe gran riqueza y diversidad de valores, creencias y conocimientos.

1.2.2. ¿Dónde se produce el café en México?

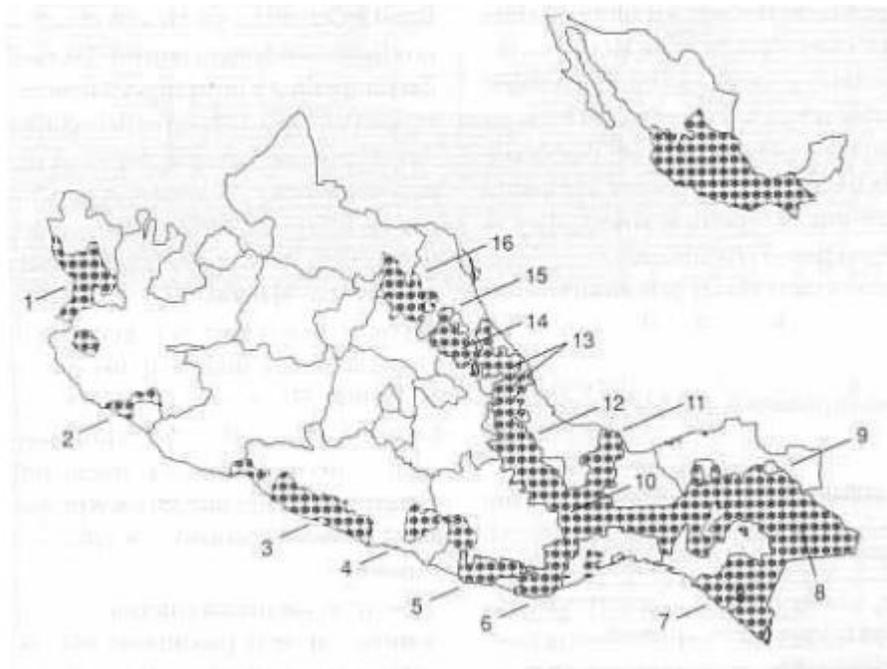
La distribución que presenta este cultivo en México es muy amplia, con altitudes que van desde 300 hasta casi 2000 msnm, con una gran diversidad de climas, suelos y vegetación. Sin embargo, este se desarrolla mejor entre 600 y 1200 msnm encontrándose fundamentalmente en zonas cerriles y montañosas de las dos vertientes, la del golfo de México y la del Pacífico.

Por lo tanto los principales estados productores son Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Puebla, Guerrero e Hidalgo.

En un análisis eco-geográfico de los municipios donde se produce café en México realizado por el Inmecafé, se encontró que 40% de la superficie corresponde a áreas con selvas altas y medianas (zona tropical húmeda), 23% con bosques de pino y encino, 21% con selvas bajas caducifolias y 15% con bosques mesófilos de montañas.

Desde el punto de vista biológico, las áreas cafetaleras coinciden con regiones muy ricas y diversas en flora y fauna. En México, conviene recordarlo, se concentra entre 10 y 12% de la biota del mundo. Los tres estados más importantes en la producción del café, Oaxaca, Veracruz y Chiapas, son hoy en día sitios de un enorme valor para la conservación de la biodiversidad, dado que allí se localizan importantes relictos de vegetación tropical y que son entidades con una gran complejidad de hábitats.

Figura 6: Mapa de los municipios cafetaleros de México con las principales regiones productoras de café. 1. Nayarit, 2. Colima, 3. Atoyac, 4. Malinaltepec, 5. Juquila, 6. Pluma Hidalgo, 7. Soconusco, 8. Selva Lacandona, 9. Norte de Chiapas, 10. Sierra de Juárez, 11. Los Tuxtlas, 12. Sierra Mazateca, 13. Centro de Veracruz, 14. Xicotepéc, 15. Cuetzalan, 16. La Huasteca.



Fuente: Censo del Inmecafé de 1989.

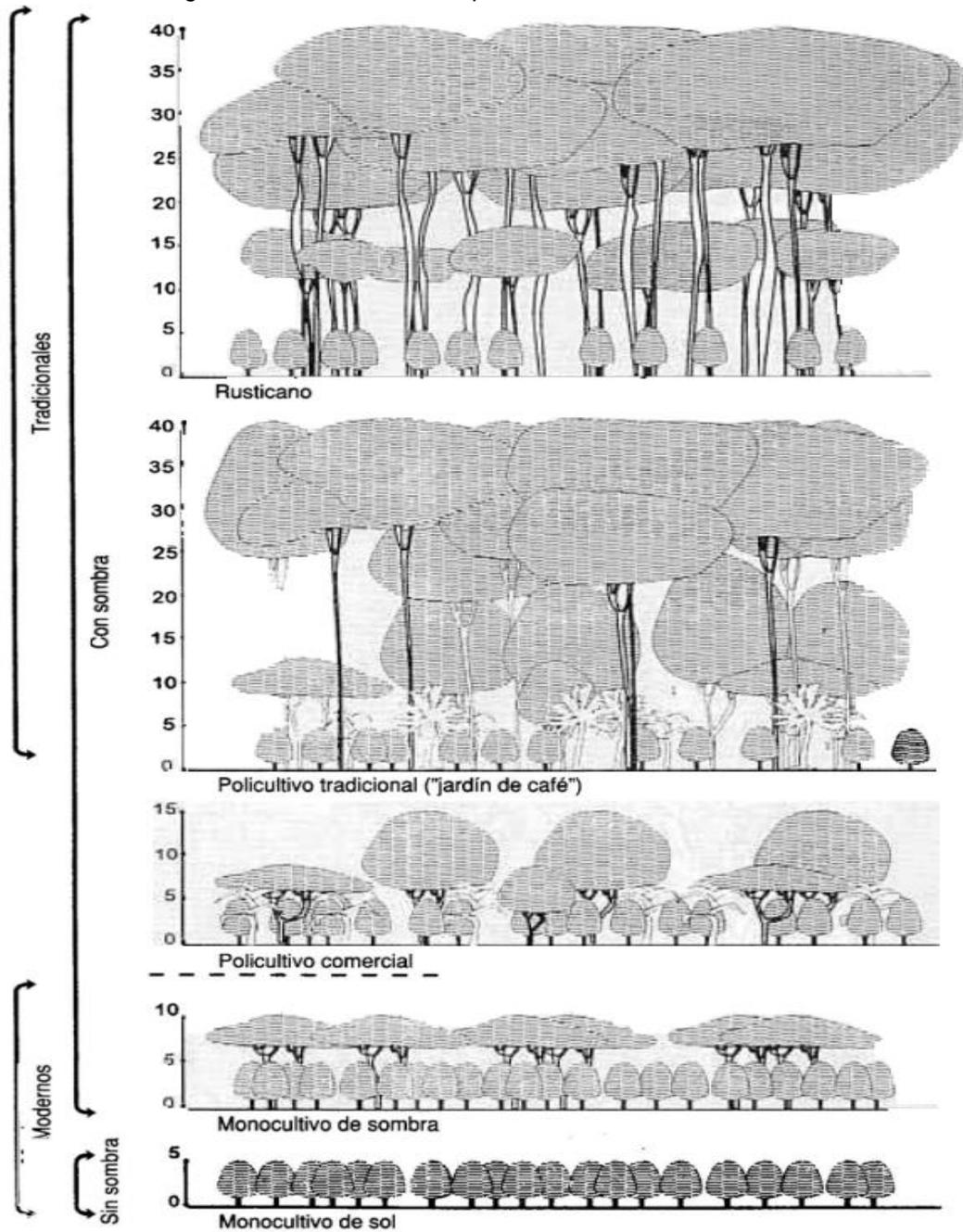
1.2.3. ¿Cómo se produce el café en México?

El café que tomamos puede tener muy diferentes sabores, aromas o contenidos, pero sobre todo puede proceder de muy diferentes orígenes, es decir se genera de diferentes sistemas de producción, cada uno de los cuales tiene diferentes implicaciones ecológicas y socio-culturales. A diferencia de países como Brasil, que es el primer productor de café en el mundo, donde los sistemas de producción están constituidos por fincas privadas de gran tamaño, ubicadas en partes planas y bajas y bajo la modalidad de monocultivos sin sombra (o bajo sol) que emplean altas dosis de agroquímicos, en México el café se produce fundamentalmente en las vertientes de las cadenas montañosas del centro y sur del país, bajo la cubierta de un dosel de árboles y por pequeños (en algunos casos pequeñísimos) productores, generalmente de comunidades indígenas o mestizas.

Lo anterior es el resultado de la historia agraria y cultural del país, donde la sabiduría indígena se apropia literalmente de un cultivo exótico, para adoptarlo y adaptarlo a los sistemas agroforestales nativos.

Por lo tanto, los pequeños cafecultores de México nunca han dejado solo al café, pues siempre lo han sembrado acompañado de numerosas especies de plantas como parte de lo que técnicamente se denomina policultivo. Muy reciente se comenzaron a utilizar sistemas cafetaleros “modernos”, especializados y sin cubierta forestal. Entonces, en México se pueden diferenciar de manera general dos principales modalidades de producción dentro de las que es posible distinguir cinco grandes sistemas productivos.

Figura 7: Los 5 sistemas de producción de café en México



Fuente: Nolasco 1985

Esta variedad en el manejo de los cafetales es resultado de la gran diversidad ecológica y cultural de las distintas condiciones económicas de los productores en las zonas cafetaleras. En este sentido, definir los rasgos característicos de cada sistema productivo resulta un tanto complejo, sobre todo si se considera que de un mismo sistema existen importantes variaciones. Aun así, los distintos tipos de cafetales han podido ser agrupados en México, de acuerdo con el origen, tipo y el uso de los árboles de sombra o de su ausencia.

1.3. El café en Chiapas

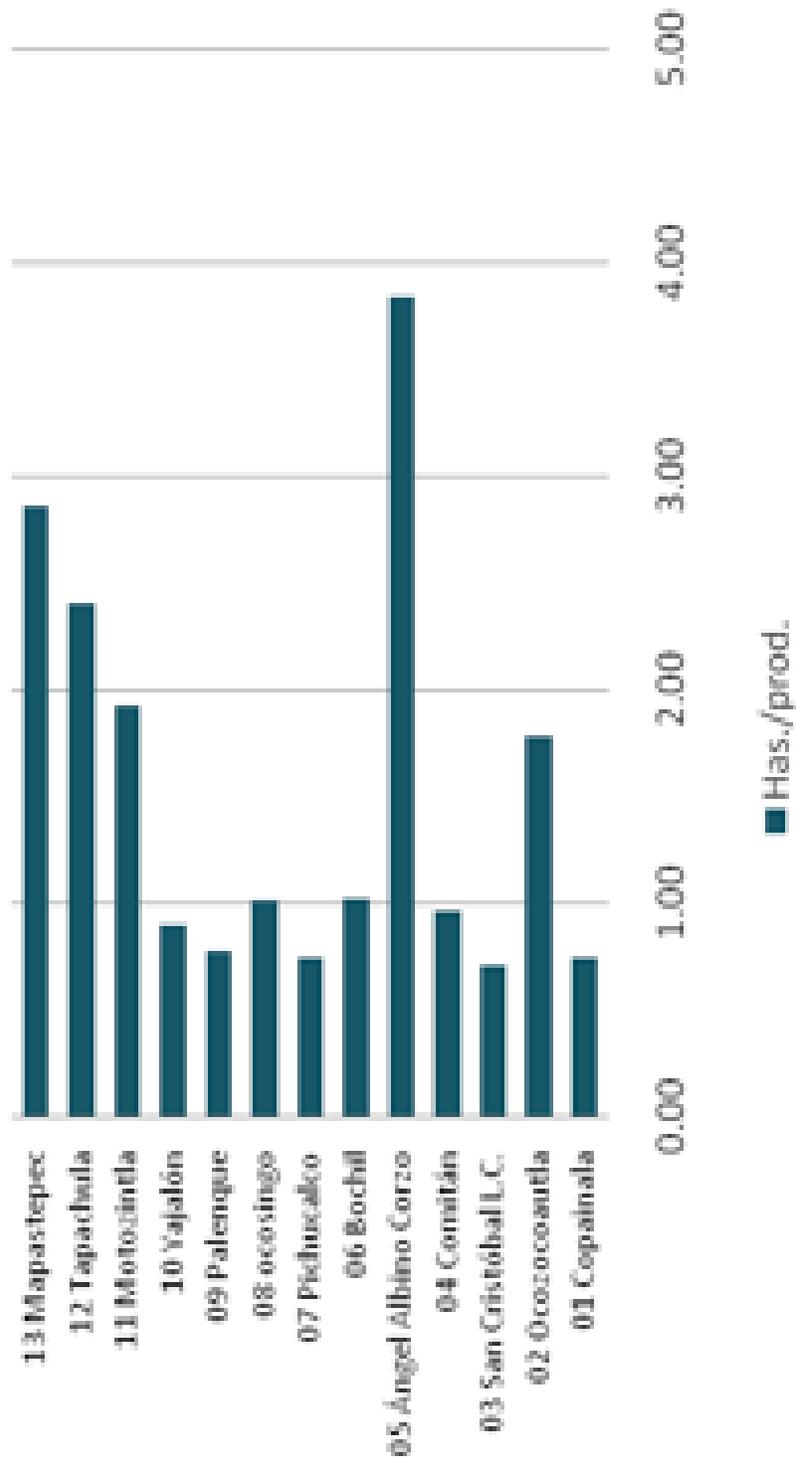
Tabla 3: Las 13 regiones cafetaleras en el Estado de Chiapas

Región Económica	Delegaciones	Municipios		Localidades		Productores		Hectáreas	
		No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
I CENTRO	01 Copainala	4	4.55	100	2.16	4,040	2	2,987	1.23
	02 Ocozocoautla	10	11.36	248	5.37	5,821	3	10,352	4.27
	Total	14	15.91	348	7.532	9861	5.61	13339	5.496
II ALTOS	03 San Cristóbal L.C.	11	12.50	376	8.14	25,840	15	18,182	7.49
	Total	11	12.5	376	8.139	25840	14.7	18182	7.492
III FRONTERIZA	04 Comitán	5	5.68	312	6.75	10,504	6	10,140	4.18
	Total	5	5.682	312	6.753	10504	5.98	10140	4.178
IV FRAYLESCA	05 Ángel A. Corzo	5	5.68	184	3.98	6,450	4	24,752	10.20
	Total	5	5.682	184	3.983	6450	3.67	24752	10.2
V NORTE	06 Bochil	7	7.95	274	5.93	15,058	9	15,388	6.34
	07 Pichucalco	12	13.64	198	4.29	7,570	4	5,614	2.31
	Total	19	21.59	472	10.22	22628	12.9	21002	8.654
VI SELVA	08 Ocosingo	4	4.55	948	20.52	28,053	16	28,213	11.63
	09 Palenque	3	3.41	238	5.15	6,914	4	5,312	2.19
	10 Yajalón	4	4.55	364	7.88	18,436	10	16,488	6.79
Total	11	12.5	1550	33.55	53403	30.4	50013	20.61	
VII SIERRA	11 Motozintla	10	11.36	586	12.68	21,233	12	40,858	16.84
	Total	10	11.36	586	12.68	21233	12.1	40858	16.84
VIII SOCONUSCO	12 Tapachula	7	7.95	564	12.21	20,395	12	48,851	20.13
	Total	7	7.955	564	12.21	20395	11.6	48851	20.13
IX ITSMO-COSTA	13 Mapastepec	6	6.82	228	4.94	5,443	3	15,539	6.40
	Total	6	6.818	228	4.935	5443	3.1	15,539.0	6.403
Totales 13 regiones::		88	100	4620	100	175,757	100	242,689	100

Fuente: Reporte preliminar, junio, 2005. Comisión para el Desarrollo y Fomento del Café en Chiapas.

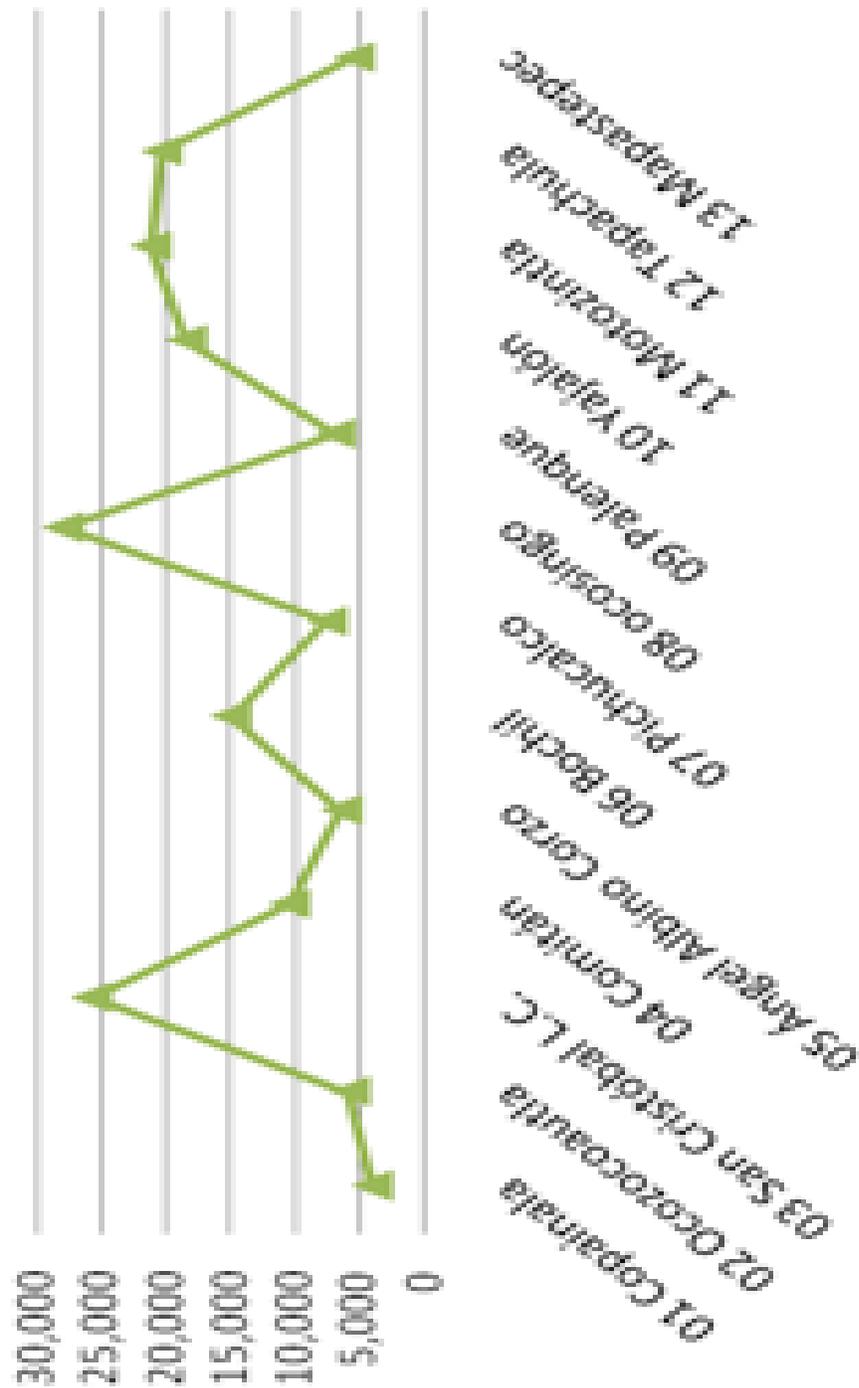
Las zonas cafetaleras en Chiapas, se ubican prácticamente en las nueve regiones económicas del Estado, de tal forma que con la finalidad de brindarles una mejor atención institucional, en base a la experiencia del extinto Instituto Mexicano de Café, la Comisión para el Desarrollo y Fomento del Café de Chiapas, los ubicó en 13 Delegaciones. Destacando por su importancia social, en atención a su número de productores las Delegaciones: San Cristóbal Las Casas, Bochil, Ocosingo, Yajalón, Motozintla y Tapachula en las cuales se concentra el 73.41 % de todos los productores equivalente a 129,015 personas. De igual forma se estima que más del 65% son cafeticultores de origen indígena equivalente a 114,242 productores. Por otra parte la superficie sembrada con café en el estado de Chiapas equivale a 242,689 hectáreas lo que correspondería a 1.51 hectáreas por productor; siendo este uno de los factores más significativos para que la cafecultura no pueda desarrollarse de forma importante, sobresaliendo la delegación de Jaltenango, la que mantiene un promedio de 3.84 hectáreas por productor, aunado a que la propiedad de la tierra es predominantemente privada. Con la finalidad de facilitar el análisis de las diversas delegaciones cafetaleras en el Estado, se presentan tres gráficos con la información referente a su participación, en las cuales queda de manifiesto tanto la superficie promedio por productor, como el número de productores y la superficie sembrada con este cultivo a nivel delegación.

Grafica 1: Superficie del café en el estado de Chiapas a nivel delegación



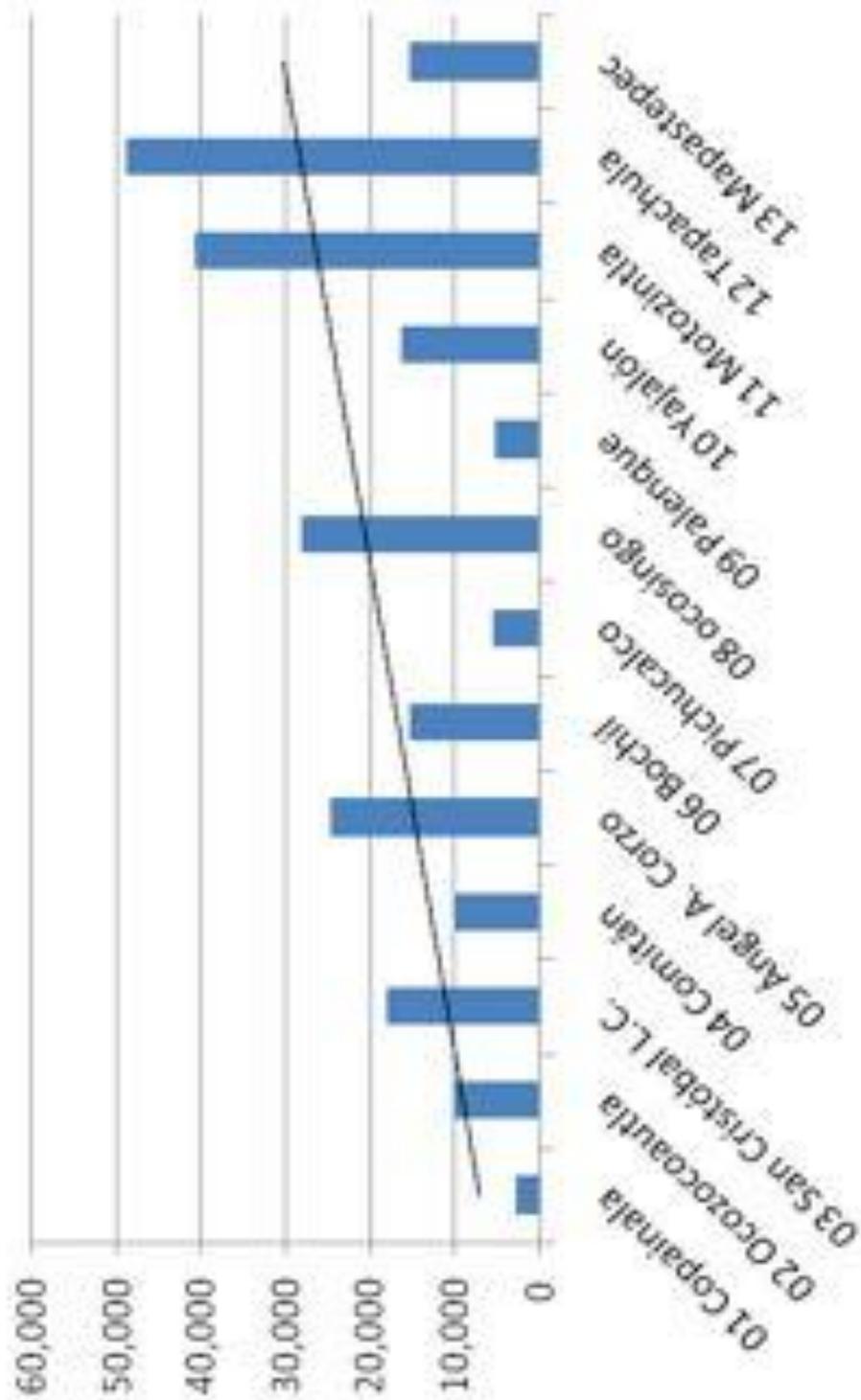
Fuente: Padrón cafetalero. Reporte preliminar, junio, 2005. Comisión para el Desarrollo y Fomento del Café de Chiapas.

Grafica 2: Número de cafeticultores en el estado de Chiapas por delegación.



Fuente: Padrón cafetalero. Reporte preliminar, junio, 2005. Comisión para el Desarrollo y Fomento del Café de Chiapas.

Grafica 3: Superficie sembrada con café en Chiapas a nivel delegación.



Fuente: Padrón cafetalero. Reporte preliminar, Junio, 2005. Comisión para el Desarrollo y Fomento del Café de Chiapas.

1.4 Procesamiento del café

El procesamiento del café comienza desde la extracción del grano hasta su comercialización en semillas o molido. A continuación se muestran los siguientes pasos que se llevan a cabo para realizar esta actividad:

Pasos básicos:

- **Cosecha y preparación**
- **Recolección**
- **Despalillado**
- **Recepción en el beneficiado**
- **Despulpado**
- **Zarandeado**
 - Manual
 - Mecánico
- **Fermentación**
- **Lavado**
- **Secado**
- **Clasificación**
 - Manual
 - Mecánico
- **Pulido**
- **Almacenamiento**
- **Comercialización**

Pasos adicionales:

- **Envejecimiento**
- **Descafeinado**
- **Tostado**
- **Torrefacción**
- **Enfriado**
- **Molido**
- **Pesado**
- **Empaquetado**

1.5 Conservación y empaquetado del café

Uno de los elementos de mayor incidencia en la vida útil y conservación del café después del procesado es el empaque, ya que es el encargado de proteger al producto tanto de los factores ambientales, químicos o físicos como en la manipulación del producto en el transporte y almacenamiento; además de ser la carta de presentación ante el cliente final.

En el caso del café, se han utilizado diferentes tipos de materiales desde el papel kraft hasta el vidrio pasando por mono polímeros, estructuras laminadas flexibles, de alta barrera, hasta empaques rígidos como la lata, siendo las estructuras flexibles, metalizadas o laminadas las más comunes.

Las empresas productoras de películas y los convertidores procuran ofrecer en el mercado nuevas estructuras combinando diferentes películas que garanticen una mejor protección de las características del café.

Generalmente ningún material plástico posee todas las características necesarias para cumplir su función de barrera y protección como empaque por esta razón se combinan varios de ellos para formar un material complejo o laminado que reúna las propiedades más importantes de sus componentes.

La permeabilidad es básica para establecer la capacidad de barrera de una película. Las constantes de permeabilidad dependen de la estructura química del polímero, de su morfología, densidad y grado de cristalinidad.

Para estos casos, el empaque más usado para empaquetar el café es la bolsa, ya sea de fondo plano que se pueda parar o de tipo sobre sin fondo plano. El empaque se realiza de dos maneras principalmente:

- **De forma manual:** Se parte de bolsas preformadas las cuales son llenadas por medio de máquinas dosificadoras que trabajan en base a un tornillo dosificador a una balanza de dosificación o a un vaso volumétrico. Luego de la dosificación la bolsa es sellada por mordazas que posee la misma máquina o por una selladora independiente.
- **De forma automática:** Se parte de bobina de empaque, la cual forma la bolsa, dosifica y sella; la forma de dosificación es por tornillo o volumétricamente. La segunda opción es más conveniente tanto por calidad del producto (esta menos tiempo en contacto con el aire y se manipula menos) como por rendimiento



Capítulo

Marco Teórico

ETAPA 1: DISEÑO MECÁNICO

2.1 Filosofía del diseño mecánico

El diseño es una actividad mental, una actividad fruto del intelecto mediante la cual se generan una serie de ideas respecto a la solución práctica de un problema que requiere del desarrollo y/o construcción de una máquina, mecanismo, dispositivo y/o la creación de un proceso. Desde un punto de vista amplio el proceso de diseño es aplicable a las artes como a las actividades técnicas. El proceso de diseño implica la definición clara de que es lo que se debe desarrollar, como debe funcionar, como se debe hacer, las funciones, los requerimientos, etc.

El diseño tiene diferentes niveles dependiendo del grado de profundidad que se le dé a la solución. Este puede ser simplemente los esquemas, plano o bocetos sobre una obra o maquina o puede tener una mayor complejidad e incluir las memorias de cálculo que permiten dimensionar el tamaño de los componentes, la selección de los materiales, la simulación computacional del funcionamiento del equipo, entre otras.

En general puede decirse que el diseño es la formulación de un plan integral realizado por un grupo interdisciplinario, cuyo objetivo es satisfacer una necesidad.

Para llevar a cabo el diseño mecánico es necesario tener bases fuertes en las áreas de la mecánica de materiales, dibujo, mecanismos, materiales de ingeniería y procesos de fabricación principalmente. Dependiendo del objeto del diseño es probable que se tenga que aplicar principios de la mecánica de fluidos, termodinámica, turbo máquinas y algunas más.

2.2 Etapas del diseño mecánico

Figura 8: Etapas del diseño mecánico



Fuente: Apuntes del Ing. Lorenzo Marciano Vázquez

Materia: Diseño 1

Plan de estudios de Ingeniería Mecánica IMEC-2005-298

El establecimiento de la necesidad es lo que da inicio a la búsqueda de una solución. Normalmente esta necesidad es planteada por el cliente (interno o externo).

La síntesis es el proceso en el cual comienza el desarrollo del diseño como tal. Se ha recopilado toda la información pertinente y se formulan una o varias alternativas de solución y se hace los análisis preliminares, se establecen costos, materiales, limitaciones, ventajas y desventajas de las opciones planteadas.

En el análisis y optimización se trabaja usualmente sobre la mejor alternativa y se le hace un estudio más completo de su viabilidad técnica y económica. Se tienen todas las memorias de cálculo y se aplican técnicas avanzadas para determinar si la alternativa es funcional o no. Es posible que se hayan desarrollado prototipos o simulaciones en esta etapa.

La evaluación, sugiere que con base a criterios objetivos se determine si la opción es aceptada o no. Esta etapa, puede requerir en el caso de que se hayan construido prototipos o modelos de la realización de ensayos y de simulaciones para determinar su comportamiento y desempeño.

2.3 Parámetros o criterios del diseño mecánico

- La resistencia requerida en los diferentes componentes dadas las solicitaciones de carga a las que van a ser sometidos, las condiciones de operación, incluyendo el entorno (tipo de atmósfera, humedad, temperatura) y la vida esperada del mismo.
- Los materiales a emplear en la fabricación de los componentes, los cuales tienen diferentes características en cuanto a sus propiedades mecánicas, físicas y químicas. Además de los aspectos relacionados con su costo, fabricación, manipulación y disponibilidad., entre otros.
- Los costos en los que se debe incurrir para el desarrollo del proyecto, la materialización del diseño. Estos costos están relacionados, como ya se mencionó, con los materiales, los procesos de fabricación, ensamblaje, las pruebas técnicas y demás recursos requeridos durante la etapa de construcción y prueba y optimización.
- El tiempo disponible para la realización del proyecto, desde la fase de concepción hasta la entrega.
- El peso puede ser un factor determinante en el diseño, y usualmente debe tenerse especial cuidado al momento de la realización de los cálculos los esfuerzos a los que está sometido el material. En ocasiones debe analizarse la relación resistencia mecánica peso como un criterio adicional para la selección del material a emplear en la construcción de la máquina o del componente mecánico.

- Otros aspectos técnicos: tales como el ensamblaje, el mantenimiento, la seguridad deben ser tomados en cuenta en el proceso del diseño mecánico.

Una práctica común en el diseño mecánico es el uso de factores, usualmente denominados, de seguridad, con los cuales se tiene un margen adicional que busca garantizar que el diseño escogido satisfaga adecuadamente los requerimientos bajo los cuales se formuló. Estos factores tienen en cuenta por ejemplo que los valores de la resistencia de los materiales suministrados por los fabricantes sean de referencia y que estos pueden ser diferentes a los esperados. Cuando el diseño implica un riesgo alto debido a la presencia de vidas humanas, es preferible ser un poco conservador durante el proceso del diseño. Existen muchas otras circunstancias que sugieren el uso de estos factores de seguridad.

El proceso del diseño mecánico se rige por Códigos y Normas de entes gubernamentales o de asociaciones técnicas. Los Códigos son directrices de estricto cumplimiento, y son supervisados por los organismos de control de los países y las normas son recomendaciones de entidades, sociedades o agremiaciones de empresas o especialistas en un área del saber específico.

2.4 Teoría acerca de los elementos utilizados en el diseño mecánico de la “Máquina empaquetadora de café molido”

2.4.1 Tapa

Las tapas son las piezas con las que se cierran por su parte superior cualquier tipo de envase u objeto semejante usado para guardar o proteger alguna cosa. Para hacer una distinción con respecto de los tapones podemos decir que estos son las variantes de las tapas, con menor tamaño, por lo que son más aplicados a envases de boca angosta y su mecanismo varía debido a esta composición. Las tapas ofrecen múltiples usos, puesto que pueden ofrecer un sistema de protección tan simple o tan complejo como lo requiera el envase y el producto contenido.

Algunas tapas no requieren necesariamente de un sistema de hermeticidad, sin que ello implique que su función sea menos importante. A este tipo de tapas se les conoce más comúnmente como cierres.

Las tapas realizan las siguientes funciones:

- Contención
- Conservación de la calidad
- Protección y seguridad

Las partes de una tapa son:

- **Panel o Tope:** Es la superficie plana central que constituye la parte superior de la tapa.
- **Hombro o Radio:** Es el área redondeada que conforma la parte superior de la tapa.
- **Falda:** Es el plano lateral o porción casi vertical de la tapa, esta zona puede ser lisa, estriada o anclada dependiendo de las necesidades de cierre para el envase.
- **Rizo:** Es la parte redondeada o rodada que se encuentra en la parte inferior de la falda.
- **Uña, Muesca o Ancla:** Es la deformación hacia el interior desde el rizo que descansa debajo del hilo o cuerda de la corona del envase de vidrio y retiene la tapa en posición.
- **Cara:** Es la parte exterior de la tapa y la constituye la zona del recubrimiento de la tapa.
- **Recubrimiento o Litografía:** Son las tintas o barnices utilizados en la superficie exterior e interior de la tapa para protegerla de agentes externos.
- **Botón de Seguridad o Panel Deflector:** Es un área circular aumentada en el centro de la tapa a modo de protuberancia inflada, es utilizada solo para productos envasados al vacío y sirve para dos propósitos:
 - Detección de falla de vacío antes de que sea puesto en venta.
 - Indicador de apertura previa para el consumidor.
- **Reverso:** Es el interior de la tapa.
- **Arandela:** Es utilizada en tapas de sello lateral.
- **Liner o Empaquetadura:** Se utilizada para lograr hermetismo entre la tapa y el envase.

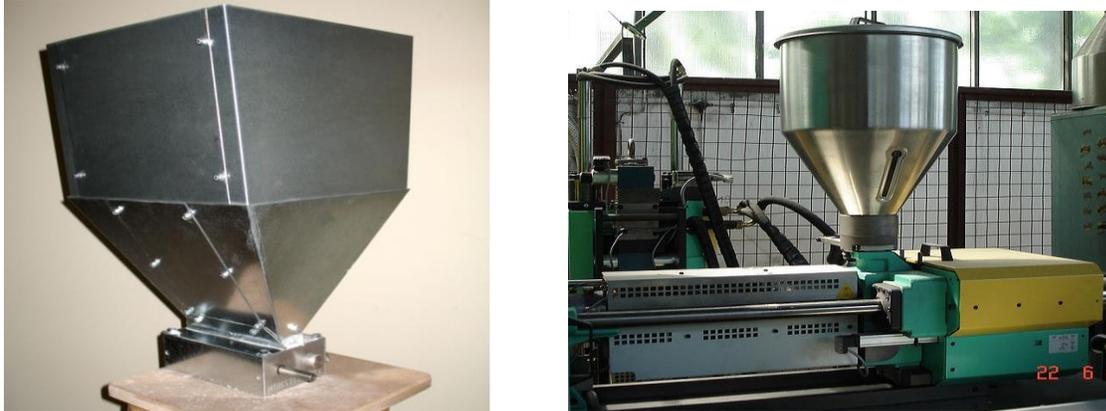
2.4.2 Tolva

Se denomina tolva a un dispositivo similar a un embudo de gran talla destinado al depósito y canalización de materiales granulares o pulverizados. En muchos casos, se monta sobre un chasis que permite el transporte.

En muchas ocasiones la materia prima de un proceso está formada por granza en estado sólido la cual hay que dirigir y dosificar, esto se logra a través de la tolva.

Básicamente una tolva consiste en un cilindro o rectángulo metálico cuya sección más habitual se muestra en las siguientes figuras:

Figura.9: Tolvas típicas de paredes rectangulares y cilíndricas.

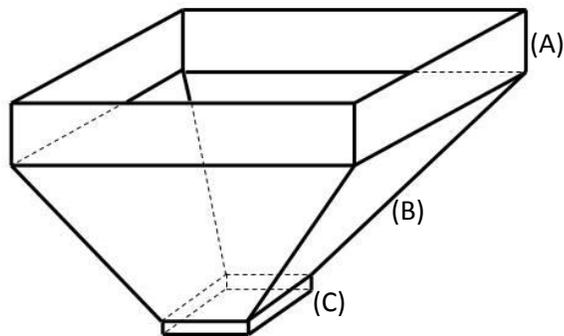


Fuente: <http://commons.wikimedia.org>

Las partes que conforman a una tolva son:

- Sección prismática (A)
- Pirámide truncada invertida (B)
- Sección prismática (C)

Figura 10: Partes principales una tolva rectangular



Fuente: <http://commons.wikimedia.org>

2.4.2.1 Diseño de tolva

Los tanques de paredes planas se utilizan únicamente para presiones hidrostáticas bajas, debido a su forma mecánicamente débil. La cantidad de material requerida para los tanques rectangulares es mayor que la que requiere los tanques cilíndricos de igual capacidad. Sin embargo, a veces se prefiere utilizar dichos tanques por la facilidad de fabricación y buena utilización de espacio.

2.4.2.1.1 Dimensionamiento

- **Tamaño máximo:** Los tanques sin elementos atiesadores no pueden ser mayores de 30 pies cúbicos de capacidad; los que sí llevan tendrán menos de 140 pies cúbicos de capacidad. Para tanques de mayor tamaño se utilizan tirantes por razones económicas.
- **Relación de los lados:** Si todos los lados son iguales, la longitud de un lado $B = \sqrt[3]{V}$, donde V = volumen en pies cúbicos.
- **Relación preferible:** Lado más largo $1.5 B$; lado más corto $0.667 B$.

2.4.2.1.2 Ángulo de reposo

Se denomina ángulo de reposo de un montículo de granel sólido al ángulo formado entre copete y la horizontal de la base, cuando el material se estabiliza por sí mismo. Al acumular granel sólido sobre un plano, este queda apilado en forma de cono. El ángulo formado entre la generatriz del cono y su base se denomina ángulo de reposo.

Factores que influyen en el ángulo de reposo:

- Menor tamaño de la partícula
- Mayor esfericidad de la partícula
- Menor humedad de la pila
- Mayor homogeneidad de la pila

Para determinar el ángulo de reposo del café molido, se realizan pruebas experimentales mediante el método de ensayo ASTM Standard Test Method for Measuring the Angle of Repose of Free-Flowing Mold Powders (Designation: 1444 - 00) es un método. El link del método original de la ASTM se encuentra en el anexo "Etapa 1: Diseño mecánico".

- **Descripción del método:** Este ensayo consiste en vaciar el café molido en una superficie de papel a través de un embudo de dimensiones específicas desde una altura de 1.5 pulgadas (o 3.81 cm). Para esta investigación el diámetro interno de la salida del embudo se coloca en 0.9 cm (0.35 pulgadas), valor que se encuentra entre las medidas mínima y máxima sugeridas por la norma, a saber, 0.64 cm (0.25 pulgadas) y 0.97 cm (0.38 pulgadas), respectivamente. Luego de posicionar el embudo a la altura establecida, se tapa la salida inferior y se llena el embudo con una muestra de café molido previamente homogeneizada. A continuación se remueve el tapón y se añade café molido continuamente de manera de mantener un flujo constante de material hasta que el punto de descarga del embudo sea tapado por el peak del montículo de arena formado. Se miden cuatro diámetros en la base del montículo los cuales se promedian, registrándose este valor como D_1 . Este procedimiento se repite dos veces más de manera de obtener tres diámetros parciales (D_1 , D_2 , y D_3) y calcular el ángulo de reposo mediante la ecuación:

$$\phi_{rep} = \tan^{-1}[2H/(D_A - d)]$$

Donde:

ϕ_{rep} = *Angulo de reposo*

H = *Altura entre la superficie de papel y el punto de descarga del embudo (3.81 cm)*

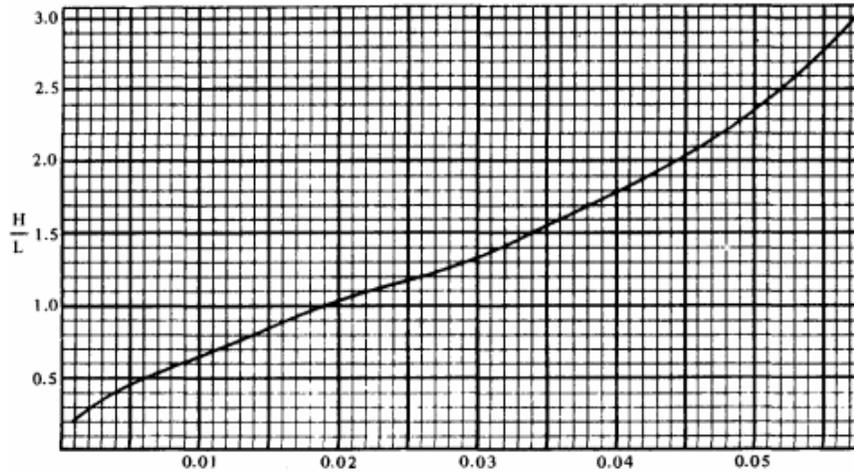
D_A = *Promedio entre D_1 , D_2 y D_3 .*

d = *Diámetro interno de la salida del embudo (0.9cm).*

2.4.2.1.3 Espesor del material

Las fórmulas siguientes están basadas en la deflexión máxima permitida $A = L/500$, en donde L es el lado más largo de la placa. El esfuerzo permitido para el material de la placa puede tomarse como el permitido por las normas ASME para recipientes sujetos a presión, sección VIII, Div. L; el link de la norma equivalente **NOM-020-STPS-2011** se encuentra en el anexo “Etapa 1: Diseño mecánico”. Los valores de α usados en las fórmulas dependen de la proporción de los lados y aparecen representados en la gráfica.

Figura 11: Valores de α en las formulas para recipientes rectangulares



Fuente: Google Images 2012

- **Sección prismática (A) y (C):** Para lograr que sea resistente tanto a la deflexión como a la corrosión, el espesor de las paredes de esta sección deben calcularse mediante:

$$t = 2.45L \sqrt{\frac{0.036GH\alpha}{S}} + C.A$$

Donde:

t = Espesor del recipiente

L = Largo del recipiente

G = Gravedad específica del café molido

H = Altura del recipiente

α = Factor que depende de la relación de la longitud a la altura H/L

S = Ancho del recipiente

$C.A$ = Factor de corrección por corrosión

- **Pirámide truncada invertida (B):** Para las partes que forman a la pirámide se considera lo siguiente:

s = Ancho de la sección prismática

l = Largo de la sección prismática

2.4.2.1.4 Peso de la tolva

El peso de la tolva siempre es requerido debido a que está montada sobre algún tipo de transportador de material, dicho montaje debe ser calculado en función de este peso.

$$W_{tolva\ sup} = M_{tolva\ sup} * g$$

Donde:

$$W_{tolva\ sup} = \text{Peso de la tolva superior}$$

$$M_{tolva\ sup} = \text{Masa de lamina de la tolva superior}$$

$$g = \text{Constante de aceleración de la gravedad } (9.806 \frac{m}{s^2})$$

Para obtener la masa tenemos:

$$M_{tolva\ sup} = V * \rho$$

Donde:

$$M_{tolva\ sup} = \text{Masa de lamina de la tolva superior}$$

$$V = \text{Volumen}$$

$$\rho = \text{Densidad}$$

Para obtener el volumen tenemos:

$$V = A * t$$

Donde:

$$V = \text{Volumen}$$

$$A = \text{Área total de las paredes de la tolva}$$

$$t = \text{Espesor de lamina del acero de las paredes de la tolva}$$

Para el área total de la lámina que se utiliza en la tolva completa sumamos las áreas de las láminas de las partes de la tolva.

$$A_{Total} = A_{Prism} + A_{Piram}$$

Donde:

$$A_{Total} = \text{Área total de la lámina que se utiliza en la tolva completa}$$

$$A_{Prism} = \text{Área de la sección prismática (A) y (C)}$$

$$A_{Piram} = \text{Área de la pirámide truncada invertida (B)}$$

El área de la sección prismática (A) y (C) es:

$$A_{Prism} = 2(S * H) + 2(L * H)$$

Donde:

A_{Prism} = Área de la sección prismática (A) y (C)

S = Ancho del recipiente

H = Altura del recipiente

L = Largo del recipiente

El área de la pirámide truncada invertida (B) es:

$$A_{Piram} = 2A_{Piram\ lateral} + 2A_{Piram\ frontal}$$

Donde:

A_{Piram} = Área de la pirámide truncada invertida (B)

$A_{Piram\ lateral}$ = Área de la pirámide truncada invertida lateral

$A_{Piram\ frontal}$ = Área de la pirámide truncada invertida frontal

Para el área de la pirámide truncada invertida lateral y el área de la pirámide truncada invertida frontal tomamos como referencia la fórmula para el área de un trapecio, la cual se muestra a continuación:

$$A_{trapecio} = \frac{(B + b)}{2} * h$$

Donde:

$A_{trapecio}$ = Área del trapecio

B = Base mayor

b = Base menor

h = Altura

Finalmente la ecuación queda así:

$$W_{tolva\ sup} = A_{Total} * t * \rho * g$$

Donde:

$W_{tolva\ sup}$ = Peso de la tolva superior

A_{Total} = Área total

t = Espesor de lamina del acero de las paredes de la tolva

ρ = Densidad

g = Constante de aceleración de la gravedad ($9.806 \frac{m}{s^2}$)

2.4.3 Tornillo Sinfín

El cálculo del tornillo sinfín tiene una importancia muy grande en el proceso del diseño; la velocidad y eficiencia de la maquina empaquetadora dependerá en gran medida del correcto diseño de esta pieza y sus partes.

2.4.3.1 Determinación del flujo de material

Para la determinación del flujo de café molido, tenemos dos cosas que nos orientan:

- El dimensionamiento original de la máquina.
- La cantidad de café molido que deseamos para obtener la velocidad requerida en el llenado de las bolsas.

Para el área de relleno del canalón tenemos la ecuación:

$$s = \lambda \frac{\pi D^2}{4}$$

Donde:

s = Área de relleno del canalón

λ = Coeficiente de relleno de la sección

D = Diámetro del tornillo sinfín

Para encontrar el valor de λ tenemos valores recomendados para tipos de carga en la siguiente tabla:

Tabla 4: Coeficientes de relleno según el tipo de carga

Tipo de carga	λ
Pesada y abrasiva	0.125
Pesada poco abrasiva	0.25
Ligera poco abrasiva	0.32
Ligera no abrasiva	0.4
Muy Ligera no abrasiva	$0.5 < \lambda < 1$

Fuente: Diseño propio

Para la velocidad de desplazamiento del transportador tenemos la ecuación:

$$v = \frac{t * n}{60}$$

Donde:

v = Velocidad de desplazamiento del transportador

t = Paso del tornillo

n = Velocidad de giro del tornillo

Para el paso del tornillo tenemos las siguientes indicaciones:

- Entre 0.1 y 1 veces el diámetro del mismo
- Mayor cuanto más ligera sea la carga

Para el diámetro del tornillo las siguientes indicaciones:

- 12 veces mayor que el diámetro de los pedazos a transportar (material homogéneo)
- 4 veces mayor que el diámetro de los pedazos a transportar (material heterogéneo)
- En caso de partículas muy pequeñas (alrededor de 1mm), se puede prescindir de lo anterior, aumentando más el diámetro.

Para la velocidad del tornillo las siguientes indicaciones:

- Inversamente proporcional a:
 - Peso a granel
 - Abrasividad de las cargas
 - Diámetro del tornillo
- Materiales pesados $n \approx 50 \text{ rpm}$
- Materiales ligeros $n \approx 150 \text{ rpm}$
- Materiales muy ligeros $> 150 \text{ rpm}$

Para el flujo del material tenemos:

$$Q = 3600 * s * v * \gamma * k$$

Donde:

$Q =$ Flujo del material

$s =$ Area de relleno del canalón

$v =$ Velocidad de desplazamiento del transportador

$\gamma =$ Densidad del material en t/m^3

$k =$ Coeficiente de disminución del flujo de material

Para el coeficiente de disminución del flujo de material encontramos que está en función de la inclinación del canalón y tenemos la tabla siguiente:

Tabla 5: Coeficientes de disminución del flujo de material en función de la inclinación del canalón

Inclinación del canalón	0°	5°	10°	15°	20°
k	1	0.9	0.8	0.7	0.6

Fuente: Diseño propio

2.4.3.2 Potencia de accionamiento

Para encontrar la potencia de accionamiento tenemos:

$$P = P_H + P_N + P_{St}$$

Donde:

P = Potencia de accionamiento

P_H = Potencia necesaria para el desplazamiento horizontal del material

P_N = Potencia para el accionamiento del tornillo en vacío

P_{St} = Potencia requerida para un tornillo sin fin inclinado

Para encontrar el valor de la potencia necesaria para el desplazamiento horizontal del material nos basamos de la siguiente fórmula:

$$P_H = c_0 \frac{QLg}{3600} = c_0 \frac{QL}{367}$$

Donde:

P_H = Potencia necesaria en kW para el desplazamiento horizontal del material

c_0 = Coeficiente de resistencia del material

Q = Flujo del material

L = Longitud de la instalación

g = Constante de aceleración de la gravedad ($9.806 \frac{m}{s^2}$)

El c_0 es empírico y se presenta distinto dependiendo del material en la siguiente tabla:

Tabla 6: Coeficientes de resistencia de distintos materiales

Material	c_0 Empírico
Harina, café soluble, leche en polvo	1.2
Aserrín, Turba, sosa, polvo de carbón	1.6
Antracita, carbón, sal de roca	2.5
Yeso, arcilla seca, tierra fina, cemento, cal, arena	4

Fuente: Diseño propio

El accionamiento del tornillo en el vacío está en la ecuación:

$$P_N = \frac{DL}{20}$$

Donde:

P_N = Potencia en kW para el accionamiento del tornillo en vacío

D = Diámetro del tornillo sinfin

L = Longitud de la instalación

Si existe una inclinación en el sinfin tenemos la ecuación:

$$P_{St} = \frac{QH}{367}$$

Donde:

P_{St} = Potencia requerida en kW para un tornillo sinfin inclinado

Q = Flujo del material

H = Altura de la instalación

Finalmente para la potencia total necesaria tenemos la ecuación:

$$P_{Total} = \frac{Q(c_0L + H)}{367} + \frac{DL}{20}$$

Donde:

P_{Total} = Potencia total requerida

Q = Flujo del material

c_0 = Coeficiente de resistencia del material

L = Longitud de la instalación

H = Altura de la instalación

D = Diámetro del tornillo sinfin

2.4.4 Armadura

La armadura es una estructura o montaje compuesto de miembros delgados y rectos unidos entre sí en sus puntos extremos que soportan cargas principalmente axiales (de tensión o de compresión) en esos miembros. La disposición de los miembros en una armadura puede soportar fuertes cargas en comparación con su propio peso. A la armadura se le considera como uno de los principales tipos de estructuras que se usan en la ingeniería ya que proporciona una solución práctica y económica para muchas situaciones de ingeniería, en especial para el diseño de puentes y edificios. Las armaduras se construyen de diversas maneras. Los materiales usados en las armaduras incluyen madera para su construcción, acero y aluminio. Los miembros de una armadura se pueden unir por medio de pernos, placas metálicas para clavar (placas para armaduras), soldaduras, articulaciones en forma de un solo pasador de gran tamaño u otros medios. Las uniones (nodos) de una armadura suelen ubicarse en los extremos de los miembros. Sin embargo, a veces un miembro podrá ser continuo (sin división) mediante una unión. Por lo general, las armaduras se diseñan de modo que las cargas (que no sean los pesos de cada uno de los miembros) se concentren en los nodos.

Figura 12: Uniones entre armaduras



Fuente: Google Image 2012

2.4.4.1 Armadura plana

La mayoría de las estructuras reales están hechas a partir de varias armaduras unidas entre sí para formar una armadura espacial. Cada armadura está diseñada para soportar aquellas cargas que actúan en su plano y, por tanto, pueden ser tratadas como estructuras bidimensionales. Los elementos de una armadura, por lo general, pueden soportar cargas laterales pequeñas, por eso todas las cargas deben estar aplicadas en los nodos y no sobre los elementos. Cuando se va a aplicar una carga concentrada entre dos nodos o cuando la armadura de un puente, debe proporcionarse un sistema de piso, el cual, mediante el uso de travesaños y largueros, transmite la carga a los nodos.

2.4.4.2 Hipótesis de diseño

Para diseñar los miembros y las conexiones de una armadura, es necesario determinar primero la fuerza desarrollada en cada miembro cuando la armadura está sometida a una carga dada. Con respecto a esto, formularemos dos importantes hipótesis:

1.- Todas las cargas están aplicadas a los nodos. En la mayoría de los casos, como en las armaduras de puentes y de techos, esta hipótesis se cumple. A menudo en el análisis de fuerzas, el peso de los miembros es ignorado ya que las fuerzas soportadas por los miembros son usualmente grandes en comparación con sus pesos. Si el peso del miembro debe ser incluido en el análisis, es generalmente satisfactorio aplicarlo como una fuerza vertical, la mitad de su magnitud aplicada a cada extremo del miembro.

2.- Los miembros están unidos entre sí mediante pasadores lisos. En los casos en que se usen conexiones con pernos o soldadura, esta hipótesis es satisfactoria siempre que las líneas de los centros de los miembros conectados sean concurrentes.

Debido a estas dos hipótesis, cada miembro de armadura actúa como un miembro de dos fuerzas, y por tanto, las fuerzas en los extremos del miembro deben estar dirigidas a lo largo del eje del miembro. Si la fuerza tiende a alargar el miembro, es una fuerza de tensión (T), mientras que si tiende a acortarlo, es una fuerza de compresión (C). En el diseño real de una armadura, es importante establecer si la fuerza en el miembro es de tensión o de compresión.

A menudo, los miembros a compresión deben ser más robustos que los miembros a tensión debido al efecto de pandeo o efecto de columna que ocurre cuando un miembro está sujeto a compresión.

2.4.4.3 Método de los nodos.

Este método consiste en aplicar las condiciones de equilibrio en todos los nodos de la estructura, no necesariamente de forma secuencial, para ir aplicando nodo a nodo el equilibrio de fuerza en cada uno de ellos es ir obteniendo el valor de las fuerzas incógnitas. La selección del nodo que se va a considerar depende del número de fuerzas desconocidas que posea, se seleccionan de primero aquellos que tengan menos incógnitas y se dejan para finalizar con los que posean más fuerzas desconocidas. La solución de los primeros nodos va simplificando la resolución de los últimos.

2.4.4.4 Método de las secciones.

Este método consiste en establecer una línea de corte y separar la armadura en dos partes, no necesariamente simétricas. La línea de corte la define la fuerza que se quiere calcular. Es decir, si se desea calcular la fuerza en una barra cualquiera, esta barra tiene que ser necesariamente cortada y con ella un máximo de tres fuerzas. Esta condición que limita el corte en una armadura se debe al hecho de que sólo existen tres ecuaciones de estáticas y para poder generar sistemas de ecuaciones compatibles que se puedan resolver, máximo se cortarán tres barras. Al hacer un corte, si la armadura es grande se tomará la sección menor y si es pequeña, aquella porción que pueda ser considerada una sección, es decir que contenga barras que no hayan sido cortadas. En una sección son incógnitas solo las barras cortadas y el resto no se toman en cuenta en el análisis. Se consideran las fuerzas externas a la armadura como las que actúan sobre los nodos y las reacciones en los apoyos. Se pueden hacer tantos cortes como se necesiten para dar respuestas a todas las fuerzas desconocidas.

El análisis de las secciones consiste en aplicar el equilibrio estático sobre ella. Se sumarán las fuerzas en "x" en "y" y de ser necesario el momento que ellas generan respecto a cualquier punto que se les conozcan sus coordenadas, dentro o fuera de la sección. El punto para generar una ecuación de momento se selecciona de forma arbitraria y va a depender de cuanto facilita la simplificación de la ecuación obtenida. Este punto depende más de la intuición del analista quede otra cosa. Si una armadura se analizara solo por el método de las secciones, ella requeriría la aplicación de un nodo de comprobación que preferiblemente sea uno que posea el mayor número de barras para comprobar que la armadura cierra.

Para resolver una armadura se deben seguir los siguientes pasos:

1. Descomponer las fuerzas inclinadas en horizontales y verticales.
2. Calcular el ángulo de todas las barras.
3. Definir el número de reacciones según el tipo de apoyo.
4. Aplicar el equilibrio externo para calcular las reacciones en los apoyos.
5. Comprobar las reacciones aplicando momento en cualquier punto y comprobando que sea igual a cero.
6. Establecer una secuencia de análisis de los nodos.
7. Hacer un diagrama de cuerpo libre para cada nodo y representar todas las fuerzas en él.
8. Aplicar el equilibrio de fuerzas a todos los nodos.
9. Comprobar el cierre de la cercha en el Nodo de Comprobación, considerando el error de cierre.
10. Establecer una línea de corte y hacer un esquema de la sección a estudiar.
11. Aplicar el equilibrio estático a la sección considerada y obtener el valor de las incógnitas.

2.4.5 Columna

La columna es el elemento estructural vertical empleado para sostener la carga de la edificación. Es utilizado ampliamente en arquitectura por la libertad que proporciona para distribuir espacios al tiempo que cumple con la función de soportar el peso de la construcción; es un elemento fundamental en el esquema de una estructura y la adecuada selección de su tamaño, forma, espaciamiento y composición influyen de manera directa en su capacidad de carga.

Para la columna se indica las características que la definen así como el comportamiento para definir los aspectos a tomar en cuenta en el diseño de las columnas de madera, acero y concreto armado. La columna es un elemento sometido principalmente a compresión, por lo tanto el diseño está basado en la fuerza interna, conjuntamente debido a las condiciones propias de las columnas, también se diseñan para flexión de tal forma que la combinación así generada se denomina *Flexo compresión*.

Según el uso actual de la columna como elemento de un pórtico, no necesariamente es un elemento recto vertical, sino es el elemento donde la compresión es el principal factor que determina el comportamiento del elemento. Es por ello que el pre-dimensionado de columnas consiste en determinar las dimensiones que sean capaces de resistir la compresión que se aplica sobre el elemento así como una flexión que aparece en el diseño debido a diversos factores:

1. Cabe destacar que la resistencia de la columna disminuye debido a efectos de geometría, lo cuales influyen en el tipo de falla.
2. El efecto geométrico de la columna se denominan esbeltez y es un factor importante, ya que la forma de fallar depende de la esbeltez, para la columna poco esbelta la falla es por aplastamiento y este tipo se denomina *columna corta*, los elemento más esbeltos se denominan *columna larga* y la falla es por pandeo. La *columna intermedia* es donde la falla es por una combinación de aplastamiento y pandeo. Además, los momentos flectores que forman parte del diseño de columna disminuyen la resistencia del elemento tipo columna (Galambos, Lin y Johnston, 1999; Singer y Pytel, 1982).

Dentro de los requisitos fundamentales de una estructura o elemento estructural están: equilibrio, resistencia, funcionalidad y estabilidad. En una columna se puede llegar a una condición inestable antes de alcanzar la deformación máxima permitida o el esfuerzo máximo. El fenómeno de inestabilidad se refiere al pandeo lateral, el cual es una deflexión que ocurre en la columna; cuando aparece incrementa el momento flector aplicado sobre el elemento, el aumento de la deflexión agranda la magnitud del momento flector, creciendo así la curvatura de la columna hasta la falla; este caso se considera inestable. Por ello la resistencia de la columna sometida a compresión tiene dos límites, el de resistencia para columnas cortas y el de estabilidad para columnas largas. La estabilidad es así el nuevo parámetro que define además de la resistencia y la rigidez, las dimensiones de la columna (Beer y Johnston 1993; Popov, 1996; Timoshenko y Young, 2000).

ETAPA 2: AUTOMATIZACIÓN

2.5 Definición de automatización

Automatización es la tecnología que trata de la aplicación de sistemas mecánicos, electrónicos y de bases computacionales para operar y controlar la producción. Esta tecnología incluye:

- Herramientas automáticas para procesar partes
- Máquinas de montaje automático
- Robots industriales
- Manejo automático de material y sistemas de almacenamiento
- Sistemas de inspección automática para control de calidad
- Control de reaprovechamiento y control de proceso por computadora
- Sistemas por computadora para planear colecta de datos y toma de decisiones para apoyar las actividades manufactureras

2.6 Tipos de automatización

- Automatización fija.
- Automatización programable.
- Automatización flexible.

2.7 Clasificación de automatización

- Neumática
- Hidráulica
- Mecánica
- Electrónica

2. 8 Componentes electrónicos utilizados en la automatización

Algunos componentes electrónicos usados en la automatización son:

- Tubos de vacío
- Circuitos integrados
- Resistencias
- Bobinas
- Dispositivos de detección y transductores

Los componentes eléctricos son los más comunes en todo tipo de industria. En los siguientes puntos comentaremos sobre aquellos componentes que son necesarios en cualquier sistema de automatización:

- **Motores:**
 - Motores C.A.
 - Motores C.D.
 - Servomotores
 - Otros motores

- **Controles de motores:**
 - Arrancadores
 - Variadores de C.D
 - Inversores
 - Servocontroles
 - Cables y alambres
 - Botones y señalización
 - Controles alambrados

2.9 Software en la automatización.

El control de procesos computarizado es el uso de programas digitales en computadora para controlar el proceso de una industria, hace el uso de diferentes tecnologías como el PLC el cual está guardado en el proceso de una computadora. Hoy en día el proceso computarizado es muy avanzado ya que los procedimientos de datos y otras funciones se pueden controlar más. En cuanto al proceso de los datos que se introducen a la computadora y los que salen de ella se implementa un sistema de monitoreo y control que es lo que para principalmente se usa el software en la automatización. Para monitorear un proceso información de manufactura tiene que ser introducido para que la interfaz de la computadora sepa que monitorear.

2.10 Motores eléctricos

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de campos electromagnéticos variables. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores. Son muy utilizados en instalaciones industriales, comerciales y particulares. Pueden funcionar conectados a una red de suministro eléctrico o a baterías. Así, en automóviles se están empezando a utilizar en vehículos híbridos para aprovechar las ventajas de ambos.

Figura 13: Diversos motores eléctricos



Fuente: Google Images 2012

Ventajas: En diversas circunstancias presenta muchas ventajas respecto a los motores de combustión:

- A igual potencia, su tamaño y peso son más reducidos.
- Se pueden construir de cualquier tamaño.
- Tiene un par de giro elevado y, según el tipo de motor, prácticamente constante.
- Su rendimiento es muy elevado (típicamente en torno al 75%, aumentando a medida que se incrementa la potencia de la máquina).
- Este tipo de motores no emite contaminantes, aunque en la generación de energía eléctrica de la mayoría de las redes de suministro sí emiten contaminantes.

Dentro de los motores eléctricos encontramos 2 tipos:

- Motores de corriente alterna C. A.
- Motores de corriente directa C. D. o corriente continua C. C.

2.10.1 Motores de corriente alterna C. A.

Se denomina **motor de corriente alterna** a aquellos motores eléctricos que funcionan con corriente alterna.

Existe una gran variedad de motores de C. A., entre ellos tres tipos básicos:

- **Motor universal**

- **Motor asíncrono**
 - Motor de jaula de ardilla
 - Motor bobinado
 - Motor asíncrono monofásico

- **Motor síncrono**
 - Motor síncrono trifásico,
 - Motor de imán permanente (motores IP)
 - Motor monofásico de fase partida

2.10.2 Motores de corriente directa C. D. o de corriente continua C. C.

El motor de corriente continua es una máquina que convierte la energía eléctrica continua en mecánica, provocando un movimiento rotatorio. En la actualidad existen nuevas aplicaciones con motores eléctricos que no producen movimiento rotatorio, sino que con algunas modificaciones, ejercen tracción sobre un riel. Estos motores se conocen como motores lineales.

Esta máquina de corriente continua es una de las más versátiles en la industria. Su fácil control de posición, par y velocidad la han convertido en una de las mejores opciones en aplicaciones de control y automatización de procesos. Pero con la llegada de la electrónica su uso ha disminuido en gran medida, pues los motores de corriente alterna, del tipo asíncrono, pueden ser controlados de igual forma a precios más accesibles para el consumidor medio de la industria. A pesar de esto los motores de corriente continua se siguen utilizando en muchas aplicaciones de potencia (trenes y tranvías) o de precisión (máquinas, micromotores, etc.)

La principal característica del motor de corriente continua es la posibilidad de regular la velocidad desde vacío a plena carga.

Su principal inconveniente, el mantenimiento, muy caro y laborioso.

Una máquina de corriente continua (generador o motor) se compone principalmente de dos partes, un estator que da soporte mecánico al aparato y tiene un hueco en el centro generalmente de forma cilíndrica. En el estator además se encuentran los polos, que pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre núcleo de hierro. El rotor es generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, al que llega la corriente mediante dos escobillas.

También se construyen motores de CC con el rotor de imanes permanentes para aplicaciones especiales.

Figura 14: Motores de CC de diversos tamaños



Fuente: Google Images 2012

2.10.2.1 Clasificación de los motores de corriente continua

Los motores de corriente continua se clasifican según la forma como estén conectados, en:

- **Motor serie**
- **Motor compound**
- **Motor shunt**
- **Motor sin escobillas**
- **Motor de imanes permanentes (motores IP)**
 - Motores de corriente continua de IP
 - Motores de corriente alterna de IP
 - Motores paso a paso de IP
- **Motor sincrónico de imán permanente**
 - Imanes montados en la superficie del rotor (Surface-mounted magnets)
 - PMSM con imanes montados en la superficie del rotor:
 - Imanes insertos en el rotor (Buried Magnets)
 - PMSM con imanes insertos en el rotor:
- **Motor piezoeléctrico**

Además de los anteriores, existen otros tipos que son utilizados en electrónica:

- **Motor paso a paso**

- El motor de paso de rotor de imán permanente
 - PMSM con imanes montados en la superficie del rotor (*Surface-mounted magnets*):.
 - PMSM con imanes insertos en el rotor (*Buried Magnets*):
- El motor de paso de reluctancia variable (VR)
- El motor híbrido de paso
- Motores paso a paso bipolares
- Motores paso a paso unipolares

- **Servomotor**

2.11 Definición de solenoide

Un **solenoid** es cualquier dispositivo físico capaz de crear una zona de campo magnético uniforme. Un ejemplo teórico es el de una bobina de hilo conductor aislado y enrollado helicoidalmente, de longitud infinita. En ese caso ideal el campo magnético sería uniforme en su interior y, como consecuencia, fuera sería nulo.

En la práctica, una aproximación real a un *solenoid* es un alambre aislado, de longitud finita, enrollado en forma de hélice (bobina) o un número de espirales con un paso acorde a las necesidades, por el que circula una corriente eléctrica. Cuando esto sucede, se genera un campo magnético dentro de la bobina tanto más uniforme cuanto más larga sea la bobina.

La bobina con un núcleo apropiado, se convierte en un electroimán. Se utiliza en gran medida para generar un campo magnético uniforme.

Se puede calcular el módulo del campo magnético dentro de la bobina según la ecuación:

$$H = \frac{NI}{L}$$

Donde:

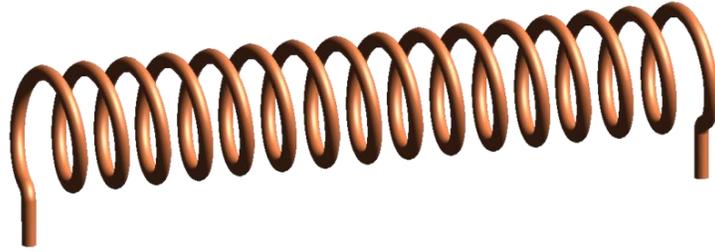
H = Módulo del campo magnético dentro de la bobina

N = Número de espiras del solenoide

I = Intensidad o corriente que circula

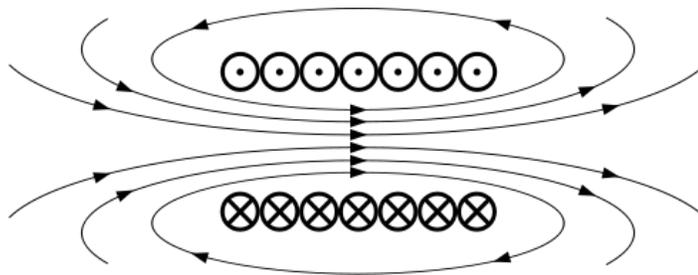
L = Longitud total del solenoide

Figura 15: Ejemplo de solenoide



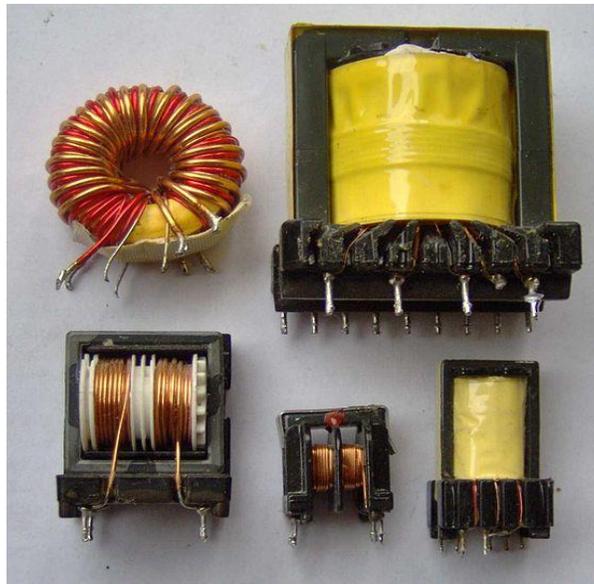
Fuente: Google Images 2012

Figura 16: Líneas del campo magnético sobre un solenoide atravesado por una corriente



Fuente: Google Images 2012

Figura 17: Aplicaciones del solenoide



Fuente: Google Images 2012

2.12 Definición de sensor

Un **sensor** es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, 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 (como en un fototransistor), etc.

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable de instrumentación con lo que puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura. Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra.

Áreas de aplicación de los sensores:

- Industria automotriz
- Robótica
- Industria aeroespacial
- Medicina
- Industria de manufactura, etc.

Los sensores pueden estar conectados a un computador para obtener ventajas como son el acceso a una base de datos, la toma de valores desde el sensor, etc.

Entre las características de los sensores encontramos las siguientes:

- **Rango de medida:** Dominio en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.
- **Precisión:** Es el error de medida máximo esperado.
- **Offset o desviación de cero:** Valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el *offset*.
- **Linealidad o correlación lineal.**
- **Sensibilidad de un sensor:** Suponiendo que es de entrada a salida y la variación de la magnitud de entrada.
- **Resolución:** Mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.
- **Rapidez de respuesta:** Puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.

- **Derivas:** Son otras magnitudes, aparte de la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida. Por ejemplo, pueden ser condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura u otras como el envejecimiento (oxidación, desgaste, etc.) del sensor.
- **Repetitividad:** Error esperado al repetir varias veces la misma medida.

Un sensor es un tipo de transductor que transforma la magnitud que se quiere medir o controlar, en otra, que facilita su medida. Pueden ser de indicación directa o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital, un computador y un display) de modo que los valores detectados puedan ser leídos por un humano.

En la siguiente tabla se indican algunos tipos y ejemplos de sensores electrónicos.

Tabla 7: Tipos y ejemplos de sensores electrónicos

Magnitud	Transductor	Característica
Posición lineal o angular	Potenciómetro	Analógica
	Encoder	Digital
	Sensor Hall	Digital
Desplazamiento y deformación	Transformador diferencial de variación lineal	Analógica
	Galga extensiométrica	Analógica
	Magnetostrictivos	A/D
	Magnetorresistivos	Analógica
	LVDT	Analógica
Velocidad lineal y angular	Dinamo tacométrica	Analógica
	Encoder	Digital
	Detector inductivo	Digital
	Servo-inclinómetros	A/D
	RVDT	Analógica

	Giróscopo	
Aceleración	Acelerómetro	Analógico
	Servo-accelerómetros	
Fuerza y par (deformación)	Galga extensiométrica	Analógico
	Triaxiales	A/D
Presión	Membranas	Analógica
	Piezoeléctricos	Analógica
	Manómetros Digitales	Digital
Caudal	Turbina	Analógica
	Magnético	Analógica
Temperatura	Termopar	Analógica
	RTD	Analógica
	Termistor NTC	Analógica
	Termistor PTC	Analógica
	[Bimetal - Termostato]	I/O
Sensores de presencia	Inductivos	I/O
	Capacitivos	I/O
	Ópticos	I/O y Analógica
Sensores táctiles	Matriz de contactos	I/O
	Piel artificial	Analógica
Visión artificial	Cámaras de video	Procesamiento digital
	Cámaras CCD o CMOS	Procesamiento digital

Sensor de proximidad	Sensor final de carrera	
	Sensor capacitivo	Analógica
	Sensor inductivo	Analógica
	Sensor fotoeléctrico	Analógica
Sensor acústico (presión sonora)	Micrófono	Analógica
Sensores de acidez	FET	
Sensor de luz	Fotodiodo	Analógica
	Fotorresistencia	Analógica
	Fototransistor	Analógica
	Célula fotoeléctrica	Analógica
Sensores captura de movimiento	Sensores inerciales	

Fuente: Diseño propio

2.13 Definición de compresor

Del latín *compressor*, compresor es aquello que comprime (aprieta, oprime, reduce a menor volumen). El término se utiliza para nombrar a una máquina que, a través de un aumento de la presión, logra desplazar fluidos compresibles, como los gases.

Figura 18: Ejemplo de compresor neumático



Fuente: Google Images 2012

El compresor no sólo desplaza los fluidos, sino que también modifica la densidad y la temperatura del fluido compresible. Los compresores se utilizan en diversos ámbitos, como en los equipos de aire acondicionado, los refrigeradores o heladeras, los turborreactores y en ciertos sistemas de generación eléctrica.

El compresor por sí mismo no sirve para hacer funcionar una instalación si no viene acompañado de una serie de dispositivos, los cuales se mencionan a continuación:

- **Dispositivos de arranque**
- **Dispositivos de regulación**
- **Dispositivos de refrigeración**
 - Por agua
 - Por aceite
 - Por aire

Los accesorios necesarios son:

- Accesorios de acumulación
- Accesorios de filtro

El proceso por el cual un compresor de aire produce la energía cinética es a través de presionar y comprimir el aire. A continuación, suelta el aire en ráfagas rápidas en orden a cualquier mecanismo de energía por el cual el compresor de aire está conectado.

De acuerdo al método de intercambio de energía, los compresores pueden dividirse en distintos tipos:

- Compresores alternativos
- Compresores rotativos:
 - Compresores rotodinámicos
 - Compresores de aire de desplazamiento positivo
 - Compresores de aire de desplazamiento negativo

Los compresores de aire pueden ser clasificados según sus características en:

- Con paleta
- Turbo
- Compresores roots
- Helicoidales
- Compresores a membrana
- Compresores axiales
- Radiales
- Pistón

Las utilidades más comunes de los compresores de aire son para el llenado de los cilindros de gas, alimentación de las herramientas neumáticas, para inflar los neumáticos y el suministro de presión para procesos industriales.

Para seleccionar el compresor de aire adecuado, puesto que ciertas herramientas consumen más aire que las demás, se deben conocer las necesidades de aire, o pies cúbicos por minuto, de las herramientas te permitirá determinar el compresor de aire apropiado para comprar. Los pies cúbicos por minuto se pueden encontrar en la propia herramienta o en las instrucciones proporcionadas por el fabricante.

2.14 Aire comprimido

El aire comprimido se refiere a una tecnología o aplicación técnica que hace uso de aire que ha sido sometido a presión por medio de un compresor. En la mayoría de aplicaciones, el aire no sólo se comprime sino que también se deshumidifica y se filtra. El uso del aire comprimido es muy común en la industria, su uso tiene la ventaja sobre los sistemas hidráulicos de ser más rápido, aunque es menos preciso en el posicionamiento de los mecanismos y no permite fuerzas grandes.

Se utiliza en:

- Elevadores neumáticos.
- Destornilladores automáticos.
- Tornos dentales.
- Armas de aire comprimido
- Equipos de minería (taladros rotopercutores, martillos picadores, lámparas, ventiladores y muchos otros).
- Arranque de motores de avión.
- Coches de aire comprimido y motores de aire comprimido
- Atracciones, para conseguir grandes velocidades en poco tiempo.

2.15 Definición de actuador

Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles:

- Presión neumática
- Presión hidráulica
- Fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide)

Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”.

Los actuadores lineales generan una fuerza en línea recta, tal como haría un pistón. Los actuadores rotatorios generan una fuerza rotatoria, como lo haría un motor eléctrico.

Figura 19: Ejemplos de actuadores lineales neumáticos



Fuente: Google Images 2012

Figura 20: Actuador lineal hidráulico



Fuente: Google Images 2012

Figura 21: Actuador lineal eléctrico



Fuente: Google Images 2012

Figura 22: Ejemplos de actuadores rotativos neumáticos



Fuente: Google Images 2012

Figura 23: Muestras de actuadores rotativos hidráulicos



Fuente: Google Images 2012

Figura 24: Actuador rotativo eléctrico



Fuente: Google Images 2012

2.16 Definición de PLC

Un PLC es un equipo electrónico programable que permite almacenar una secuencia de ordenes (programa) en su interior y ejecutarlo de forma cíclica con el fin de realizar una tarea.

Un PLC trabaja en base a la información recibida por los captadores y el programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación.

Los PLC actuales pueden comunicarse con otros controladores y computadoras en redes de área local, y son una parte fundamental de los modernos sistemas de control distribuido.

Existen varios lenguajes de programación, tradicionalmente los más utilizados son el diagrama de escalera (Lenguaje Ladder), preferido por los electricistas, lista de instrucciones y programación por estados, aunque se han incorporado lenguajes más intuitivos que permiten implementar algoritmos complejos mediante simples diagramas de flujo más fáciles de interpretar y mantener.

Un lenguaje más reciente, preferido por los informáticos y electrónicos, es el FBD (en inglés Function Block Diagram) que emplea compuertas lógicas y bloques con distintas funciones conectados entre sí.

2.16.1 Descripción y funcionamiento de los PLC's

Los Controladores Lógicos Programables, (PLC's, Programmable Logic Controller), nacieron esencialmente como tales, a finales de la década de los 60's y principios de los 70's. Las industrias que propiciaron este desarrollo fueron las automotrices. Ellas usaban sistemas industriales basadas en relevadores, en sus sistemas de manufactura. Buscando reducir los costos de los sistemas de control por relevadores, la General Motor preparó en 1968 ciertas especificaciones detallando un "Controlador Lógico Programable". Estas especificaciones definían un sistema de control por relevadores que podían ser asociado no solamente a la industria automotriz, si no prácticamente a cualquier industria de manufactura.

El PLC está diseñado para trabajar en ambientes industriales y ejecutar su programa de forma indefinida. Para ello, un PLC consta de las siguientes partes:

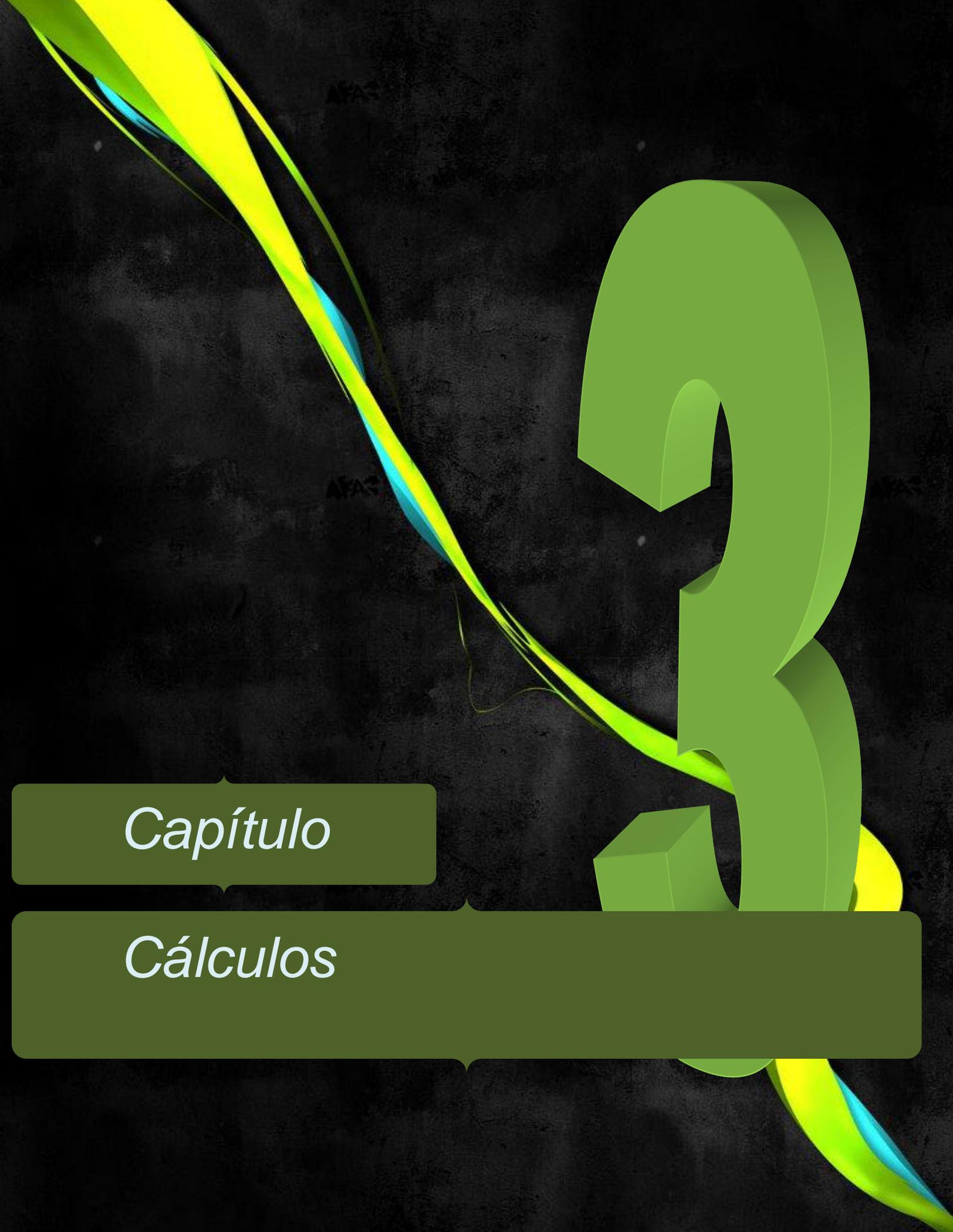
- 1. CPU - Unidad central de proceso:** Es el cerebro del sistema, usualmente es un microcontrolador, antiguamente se usaban microcontroladores de 8bits, hoy en día, son más usados en aplicaciones robustas de 16 y 32 bits.
- 2. Memoria:** Usualmente se incluye una memoria externa al microcontrolador que puede ser EEPROM y/o FLASH, que hace las veces de banco de datos para la lecto-escritura de datos.
- 3. Fuente de alimentación:** El PLC tiene una entrada análoga de 220 V. A. C. o 110 V. A. C. Adicionalmente tiene salidas de 24 V. A. C. o D. C. para alimentar sensores.

- 4. Reloj en tiempo real:** Para todo proceso automatizado, es necesario establecer la variable tiempo ya que es indispensable para poner en marcha TEMPORIZADORES Y CONTADORES.
- 5. Puerto de entradas:** Las entradas de un PLC son controladas, para proteger al microcontrolador de altos voltajes y algunas marcas permiten ajustar la intensidad de la entrada. Adicionalmente, las entradas de un PLC pueden ser análogas o digitales y esto se debe en gran medida a la cantidad impresionante de instrumentos que se pueden integrar con los PLC.
- 6. Puerto de salidas:** Como en las entradas, las salidas pueden ser análogas o digitales, y pueden ser de cualquiera de los siguientes tipos:
- 120 VAC
 - 24 VDC
 - 12 – 48 VAC
 - 12 – 48 VDC
 - 5V DC (TTL)
 - 230 VAC
- Esto se debe a que sus circuitos internos permiten convertir niveles lógicos TTL a niveles de voltaje externos, y efectivamente, también suelen utilizarse opto acopladores para proteger el micro.
- 7. Comunicaciones:** El PLC, es un sistema autónomo, sin embargo, no puede programarse solito. Para ello es necesaria una interfaz con el humano, y esa la provee el puerto RS232, un cable serial y un computador o un programador portátil.
- 8. Software:** Indispensable tanto para programarlo, como para monitorearlo. Aquí es el punto cuando se unen la informática, las redes y los PLC.

Figura 25: Una amplia gama de diversos modelos de PLC's



Fuente: Google Images 2012



Capítulo

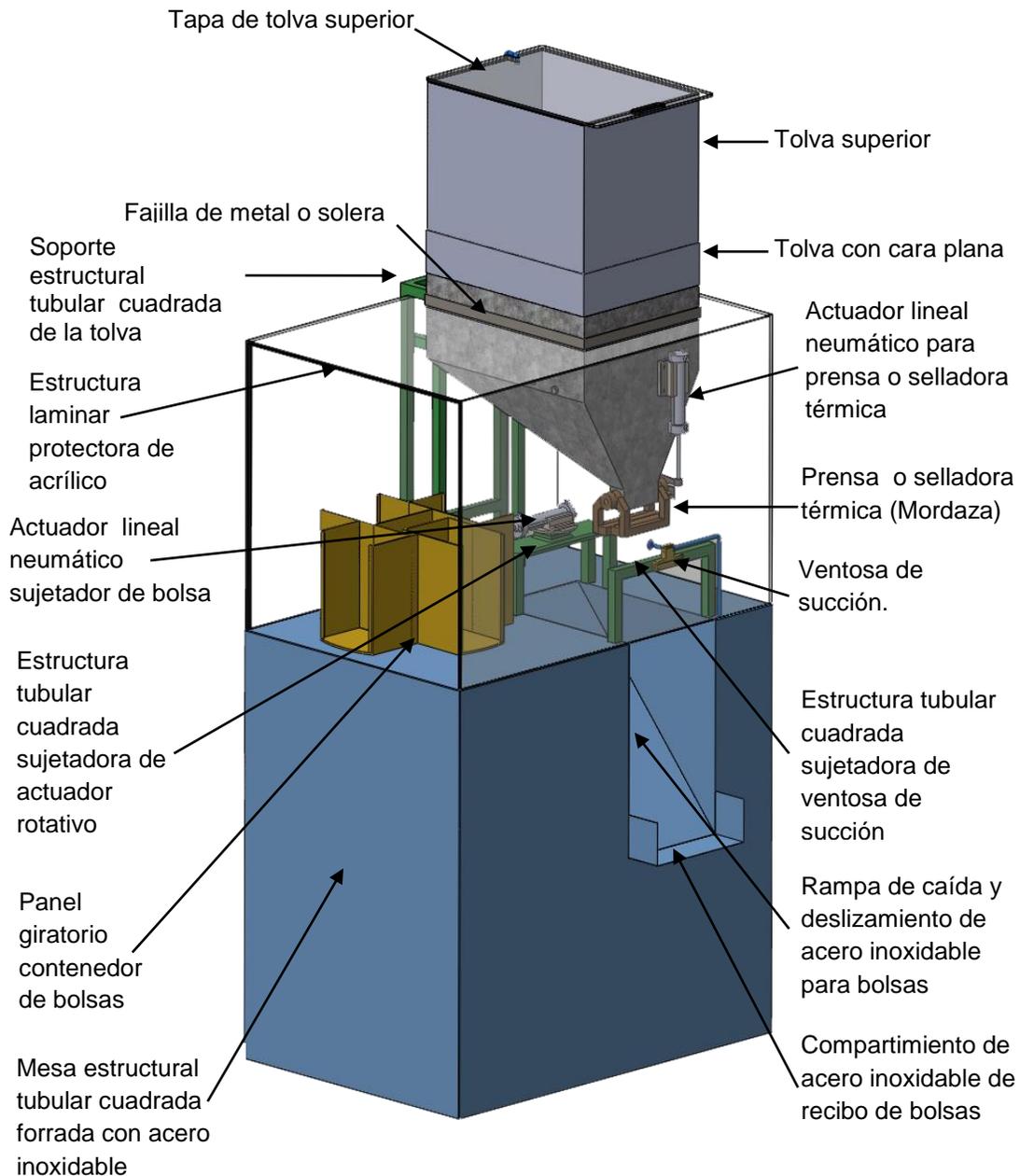
Cálculos

ETAPA 1: DISEÑO MECÁNICO

3.1 Propuesta de diseño mecánico

A continuación se presenta el siguiente modelo propuesto para la máquina empaquetadora de café automática, en el cual se muestran los elementos mecánicos y automáticos que lo componen:

Figura 26: Modelo propuesto de máquina empaquetadora de café molido con sus componentes mecánicos y automáticos.



Fuente: Diseño propio

Tabla 8: Componentes mecánicos y automáticos pertenecientes a la
 “Máquina empaquetadora de café molido”

“Máquina empaquetadora de café molido”	
Componentes mecánicos externos	Componentes automáticos externos
1.- Tapa de tolva superior	1.- Actuador lineal neumático para prensa o selladora térmica
2.- Tolva superior	2.- Actuador lineal neumático sujetador de Bolsa
3.- Tolva con cara plana	3.- Ventosa de succión
4.- Fajilla de metal o solera	
5.- Soporte estructural tubular cuadrada de la Tolva	Componentes automáticos internos
6.- Estructura laminar protectora de acrílico	1.- Motor eléctrico para tornillo sin fin
7.- Prensa o selladora térmica (Mordaza)	2.- Solenoide para compuerta selladora para tapar orificio de canalón de tornillo sin fin
8.- Estructura tubular cuadrada sujetadora de actuador rotativo neumático	3.- Temporizador para el giro de tornillo sin fin
9.- Estructura tubular cuadrada sujetadora de ventosa de succión	4.- Sensor de presión
10.- Panel giratorio contenedor de bolsas	5.- Motor paso a paso para panel giratorio contenedor de bolsas
11.- Rampa de caída y deslizamiento de acero inoxidable para bolsas	6.- Actuador rotativo neumático
12.- Compartimiento de acero inoxidable de recibo de bolsas	7.- Sensor indicador de bolas para panel giratorio contenedor de bolsas
13.- Forro de acero inoxidable	8.- Temporizador para giro del motor paso a paso de panel giratorio contenedor de bolsas
	9.- Temporizador para actuador rotativo Neumático
Componentes mecánicos internos	10.- Temporizador para actuador lineal neumático sujetador de bolsa
1.- Canalón para tornillo sin fin	11.- Actuador lineal neumático para báscula receptora de café molido
2.- Tornillo sin fin	12.- Temporizador para actuador lineal neumático para báscula receptora de café molido
3.- Báscula receptora de café molido	13.- Temporizador para actuador lineal neumático para prensa o selladora térmica
4.- Varilla sujetadora de báscula receptora de café molido.	14.- Alarma para sensor de presión
5.- Bisagra sujetadora de actuador lineal Neumático	15.- Alarma para sensor indicador de bolsas para panel giratorio contenedor de bolsas
6.- Mesa estructural tubular cuadrada	16.- Compresor neumático
7.- Compuerta selladora para tapar orificio de canalón de tornillo sin fin	17.- Bolsas de polietileno laminado metalizado
	18.- Circuito para la temperatura de sellado de la prensa o selladora térmica.
	19.- PLC
	20.- Programa para funcionamiento del PLC y el sistema de la máquina empaquetadora de café automática

Fuente: Diseño propio

3.2 Tapa de tolva superior

La seguridad del café a la contaminación, es la función que tomamos en cuenta en el diseño de esta pieza. El diseño para hermeticidad o por cargas no será necesario, debido a que no estará sometida a ningún tipo de carga, ni estará impidiendo que se filtre alguna sustancia a nivel molecular desconocida al café molido, debido a que la locación de la maquina no estará prevista para que sea en un ambiente contaminado, si no que se prevé que esté ubicada en una zona limpia y fresca, con la correcta ventilación y libre de gases o polvos dispersos en el ambiente que afecten la calidad del café.

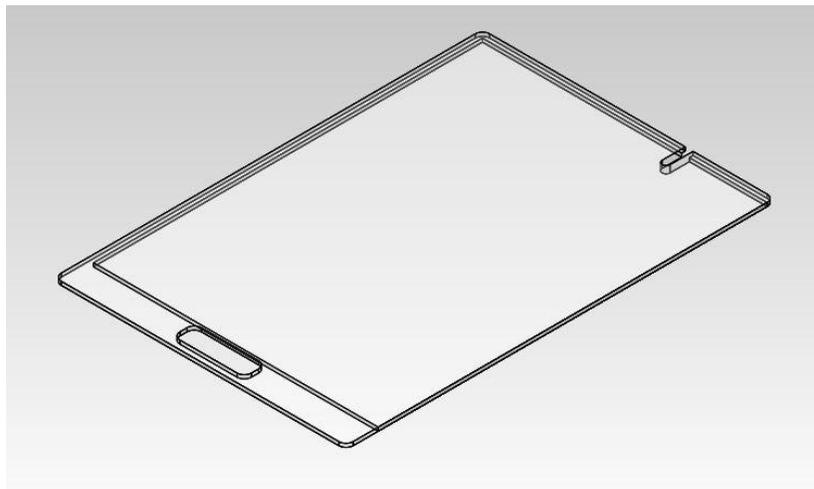
Tres características fueron las que buscamos en una lista de materiales proporcionada por las empresas dedicadas a la distribución de materiales en México:

- Transparencia
- Resistencia
- Peso

Tras haber buscado distintos materiales, sobre todo, plásticos, encontramos el más idóneo según lo requerido antes. El link de la hoja de características de los materiales considerados se encuentra en el anexo “Etapa 1: Diseño mecánico”. El material que hemos de utilizar es el Polimetilmetacrilato, debido a que tampoco necesitamos que sea de grado alimenticio ya que no estará en contacto con el café. Existen marcas diversas y conocidas de este material, vamos a utilizar el Plexiglás® Frosted, debido a que es muy accesible.

El espesor de la tapa se seleccionó tomando en cuenta solamente los calibres disponibles en tiendas mexicanas, de modo que sea fácil su compra. Así decidimos utilizar una tapadera de lamina acrílica de 3mm transparente de Plexiglás® Frosted. El dimensionamiento de esta tapadera, está en función de las dimensiones de la tolva superior.

Figura 27: Ejemplo propuesto simulado de tapa de tolva superior



Fuente: Diseño propio

3.3 Tolva superior

La tolva superior será el recipiente que contendrá el café molido la mayor parte del tiempo, por lo tanto tendrá contacto directo con el café molido por lo que el material que debemos utilizar debe ser de grado alimenticio, según la norma **NOM-251-SSA1-2009**, el link de esta norma se encuentra en el anexo “Etapa 1: Diseño mecánico”, el material que vayamos a utilizar para esta pieza debe ser inocuo, es decir de grado alimenticio para evitar la contaminación o reacción química con el mismo.

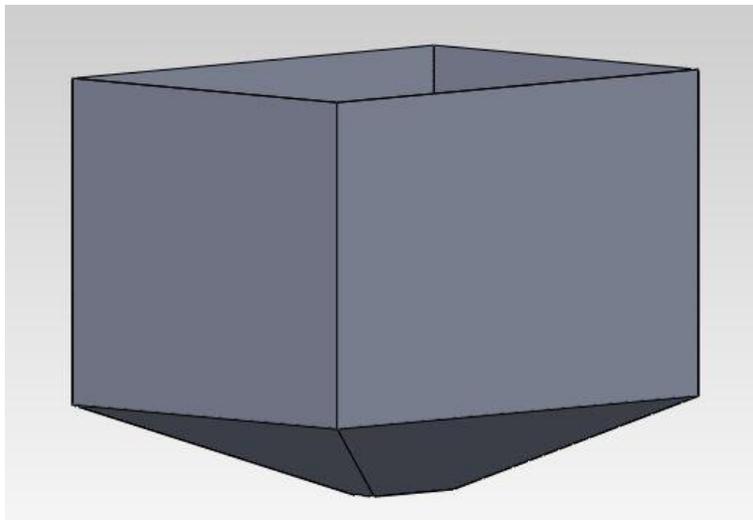
Tras haber inspeccionado las características de resistencia mecánica, resistencia a reaccionar químicamente con el café, peso y disponibilidad de distintos materiales para la fabricación de esta pieza, decidimos utilizar un acero inoxidable de grado alimenticio según la AISI, nos referimos al **Acero Inoxidable AISI 304** o simplemente Acero Inoxidable 304. Los links de la norma equivalente Mexicana a la AISI 304 al igual que las tablas de materiales inocuos inspeccionados se encuentran en el anexo “Etapa 1: Diseño mecánico”.

Una vez contando con el material, podemos descubrir sus propiedades y empezar a diseñar la pieza. El link de la tabla de propiedades del acero inoxidable AISI 304 se encuentra en el anexo “Etapa 1: Diseño mecánico”.

3.3.1 Dimensionamiento

Lo primero es dimensionar nuestro recipiente, las medidas las hemos tomado del total promedio de un costal de café en grano que rinde después de ser tostado y molido.

Figura 28: Ejemplo propuesto simulado de tolva superior



Fuente: Diseño propio

Para el dimensionamiento de esta tolva, tomamos en cuenta la cantidad de café que se obtiene de un costal de café pergamino de 42 kilos. Después de tostado y molido, la pérdida de peso es de entre 18% y 22%, por lo que habremos de dimensionar la tolva para una capacidad de café tostado y molido proveniente de 10 costales de café pergamino, es decir, para 335 kilos de café molido y tostado. La densidad del café tostado y molido es de 450kg/m³, por lo tanto tendremos:

$$\frac{335 \text{ kg}}{450 \text{ kg/m}^3} = 0.745\text{m}^3 = 74500\text{cm}^3$$

$$V = (40 \text{ cm})(50 \text{ cm})(40 \text{ cm})$$

$$V = 80000 \text{ cm}^3$$

El dimensionamiento antes propuesto estará sujeto a modificación, dependiendo del espacio disponible en la propuesta original de la máquina y al espesor necesario resultante de la lámina para su fabricación.

3.3.2 Ángulo de reposo de la parte baja de la tolva superior

Tras haber realizado la primer parte del método utilizado obtuvimos:

Tabla 9: Diámetros parciales y promedio D_A

Diámetros parciales		Promedio $D_A = 10.66\text{cm}$
D1	10.45cm	
D2	10.90cm	
D3	10.65cm	

Fuente: Diseño propio

Sustituyendo en la ecuación tenemos:

$$\phi_{rep} = \tan^{-1}[2H/(D_A - d)]$$

$$\phi_{rep} = \tan^{-1} \left\{ \frac{[2(3.81 \text{ cm})]}{[(10.66 \text{ cm}) - (0.9 \text{ cm})]} \right\}$$

$$\phi_{rep} = 37.96^\circ$$

Redondeando tenemos:

$$\phi_{rep} = 38^\circ$$

Para el rango de humedad que se tiene en los bultos provenientes de café pergamino.

3.3.3 Cálculo del espesor de la lámina

Ya contamos con el ángulo de reposo de la parte baja de la tolva superior, esto nos dará un margen en la altura y nos permitirá modificar las dimensiones propuestas anteriormente, para que se acomode mejor al diseño original. Ahora quedarán así:

$$\text{Ancho}(a) = 40\text{cm}$$

$$\text{Largo}(b) = 55\text{cm}$$

$$\text{Alto}(c) = 35\text{cm}$$

$$V = (40\text{cm})(55\text{cm})(35\text{cm})$$

$$V = 77000\text{cm}^3$$

Necesitamos corroborar si estas dimensiones serán satisfactorias para el cálculo del espesor de lámina. Procedemos a calcular el espesor del acero.

Para el espesor tenemos:

$$t = 2.45L \sqrt{\frac{0.036GH\alpha}{S}} + C.A$$

$$t = \{[2.45(21.26 \text{ in})]\} \left(\sqrt{\frac{[(0.036)(0.45)(13.78 \text{ in})(0.01)]}{45000 \text{ psi}}} \right) = 0.0116 \text{ in}$$

$$t = 0.0116 \text{ in}$$

Haciendo la conversión utilizando $1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$ tenemos:

$$1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$$

$$0.0116 \text{ in} = t$$

$$t = \frac{(2.54 \text{ cm})(0.0116 \text{ in})}{1 \text{ in}} = 0.029464 \text{ cm}$$

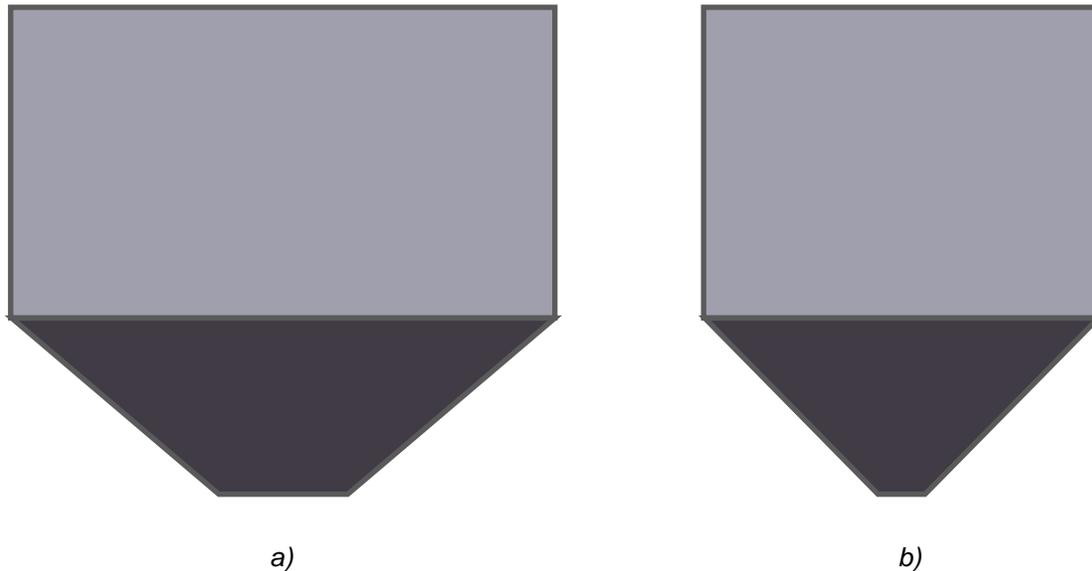
$$t = 0.029464 \text{ cm} = 0.295 \text{ mm}$$

Buscamos el link de las tablas de calibres de lámina de acero inoxidable para determinar el espesor real de las paredes de la tolva, el cual se encuentra en el anexo "Etapa 1: Diseño mecánico". El espesor será de 0.4mm, el excedente de espesor funcionará como el espesor dedicado a las pérdidas por corrosión.

3.3.4 Peso de la tolva

Ya tenemos el material que se va utilizar, las medidas y el espesor, solo nos resta obtener el peso de la pieza.

Figura 29: Vistas de tolva superior a) lateral y b) frontal



Fuente: Diseño Propio

Para el área de la pirámide truncada invertida tenemos:

$$\frac{55\text{cm} - 12\text{cm}}{2} = 21.5\text{ cm}$$

$$\frac{40\text{cm} - 5\text{cm}}{2} = 17.5\text{ cm}$$

$$h_1 = \sqrt{(21.5\text{ cm})^2 + (17.5\text{ cm})^2}$$
$$h_1 = 27.722\text{ cm}$$

$$h_2 = (21.5\text{ cm}) (\cos 45^\circ)$$
$$h_2 = 15.2\text{ cm}$$

Para obtener los valores del área de la pirámide truncada invertida lateral y el área de la pirámide truncada invertida frontal, tomamos como referencia la fórmula para el área del trapecio:

$$A_{\text{trapecio}} = \frac{(B + b)}{2} * h_1$$

$$A_{\text{Piram,lateral}} = \left[\frac{(55 \text{ cm}) + (12 \text{ cm})}{2} \right] (27.722 \text{ cm})$$

$$A_{\text{Piram,lateral}} = 928.7 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{trapecio}} = \frac{(B + b)}{2} * h_2$$

$$A_{\text{Piram,frontal}} = \left[\frac{(40 \text{ cm}) + (5 \text{ cm})}{2} \right] (15.2 \text{ cm})$$

$$A_{\text{Piram,frontal}} = 342 \text{ cm}^2$$

Para obtener el valor del área de la pirámide truncada invertida (B) tomamos lo siguiente:

$$A_{\text{Piram}} = 2A_{\text{Piram lateral}} + 2A_{\text{Piram frontal}}$$

$$A_{\text{Piram}} = [2(928.7 \text{ cm}^2)] + [2(342 \text{ cm}^2)]$$

$$A_{\text{Piram}} = 2541.4 \text{ cm}^2$$

Para el área de la sección prismática (A) y (C) tenemos:

$$A_{\text{Prism}} = 2(S * H) + 2(L * H)$$

$$A_{\text{Prism}} = \{2[(40 \text{ cm})(35 \text{ cm})]\} + \{2[(55 \text{ cm})(35 \text{ cm})]\}$$

$$A_{\text{Prism}} = 6650 \text{ cm}^2$$

Y el área total es:

$$A_{\text{Total}} = A_{\text{Prism}} + A_{\text{Piram}}$$

$$A_{\text{Total}} = 6650 \text{ cm}^2 + 2541.4 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{Total}} = 9191.4 \text{ cm}^2$$

Finalmente para el peso tenemos:

$$W_{\text{tolva sup}} = A_{\text{Total}} * t * \rho * g$$

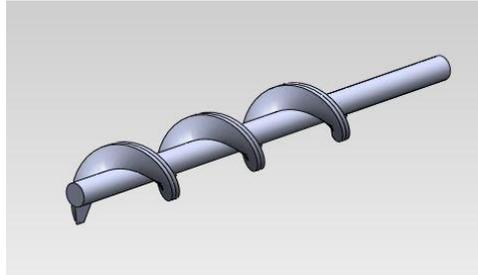
$$W_{\text{tolva sup}} = (0.91914 \text{ m}^2)(0.0004 \text{ m})(7930 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(9.806 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

$$W_{\text{tolva sup}} = 28.59 \text{ N}$$

3.4 Tornillo Sinfín

El tornillo sinfín también estará hecho de acero inoxidable 304, debido a que tiene contacto con el café todo el tiempo.

Figura 30: Ejemplo propuesto simulado de tornillo sin fin



Fuente: Diseño propio

3.4.1 Dimensionamiento

El café para cocción doméstica, es decir que se va a cocer con aparatos domésticos y filtros desechables, tiene un tamaño de partícula entre 0.3 y 0.5 mm, y es bastante homogéneo.

Por lo tanto tenemos:

$$D = 0.05m$$

El café se considera una carga ligera debido a su baja densidad relativa, 0.45; es ligeramente abrasiva, por lo tanto $\lambda = 0.9$.

Ahora calculamos el área de relleno del canalón:

$$s = \lambda \frac{\pi D^2}{4}$$

$$s = 0.9 \left[\frac{\pi(0.05 \text{ m})^2}{4} \right]$$

$$s = 0.0001767 \text{ m}^2$$

Para el paso del tornillo hacemos:

$$\begin{aligned} [(0.1)(0.05 \text{ m})] &< t < 0.05 \text{ m} \\ 0.005 \text{ cm} &< t < 0.05 \text{ m} \end{aligned}$$

Al ser muy ligera la carga:

$$t = (0.9)(0.05 \text{ m})$$

$$t = 0.045 \text{ m}$$

Ahora la velocidad de desplazamiento es:

$$v = \frac{t * n}{60}$$

$$v = \frac{(0.045 \text{ m})(225 \text{ rpm})}{60}$$

$$v = 0.16875 \text{ m/s}$$

El tornillo sinfín está ubicado a 0° de la horizontal; El café tiene una densidad $\gamma = 450 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, Entonces el flujo de material es:

$$Q = 3600 * s * v * \gamma * k$$

$$Q = (3600)(0.001767 \text{ m}^2)(0.16875 \text{ m/s}) \left(450 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) (1)$$

$$Q = 483.1 \text{ kg/hora}$$

Es decir se llena un paquete de un kilo en aproximadamente 7.5 segundos.

3.4.2 Potencia de accionamiento

Para la potencia P_H tenemos:

$$P_H = c_0 \frac{QLg}{3600}$$

$$P_H = (1.2) \left[\frac{(483.2 \text{ kg/hora})(0.0858 \text{ m})(9.806 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}{3600} \right]$$

$$P_H = 0.1355 \text{ kW}$$

Para la potencia P_N tenemos:

$$P_N = \frac{DL}{20}$$

$$P_N = \frac{(0.05)(0.0858 \text{ m})}{20}$$

$$P_N = 0.0002145 \text{ kW}$$

Finalmente la potencia de accionamiento es:

$$P = P_H + P_N + P_{St}$$

$$P = 0.1355 \text{ kW} + 0.0002145 \text{ kW} + 0 \text{ kW}$$

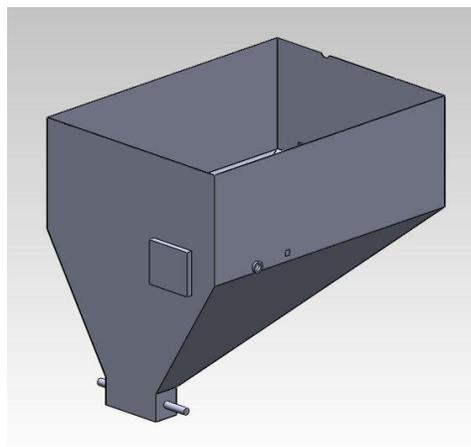
$$P = 0.1357 \text{ kW}$$

3.5 Tolva con cara plana

Para la tolva con cara plana, no es necesario hacer un cálculo preciso, debido a que no estará en contacto directo ni permanente con el café, ni tampoco estará soportando algún tipo de carga o sometida a un esfuerzo.

Para evitar cálculos innecesarios se decide hacerla del mismo material que la tolva superior, es decir de acero inoxidable, solo para evitar corrosión por humedad y abrasividad del café, el espesor también se va utilizar el mismo, de modo que se pueda acoplar de manera correcta a la tova superior y sea más sencillo de armar.

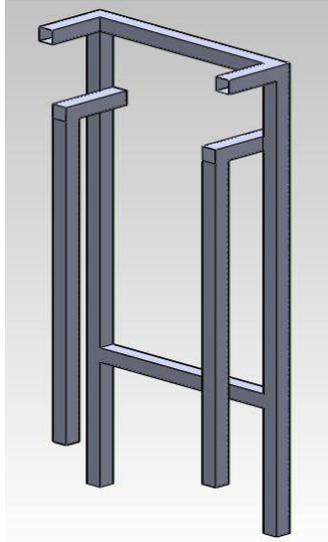
Figura 31: Ejemplo propuesto simulado de tolva con cara plana



Fuente: Diseño propio

3.6 Soporte estructural tubular cuadrada de la tolva

Figura 32: Ejemplo propuesto simulado de soporte estructural tubular cuadrada de la tolva



Fuente: Diseño propio

3.6.1 Cálculo de reacciones

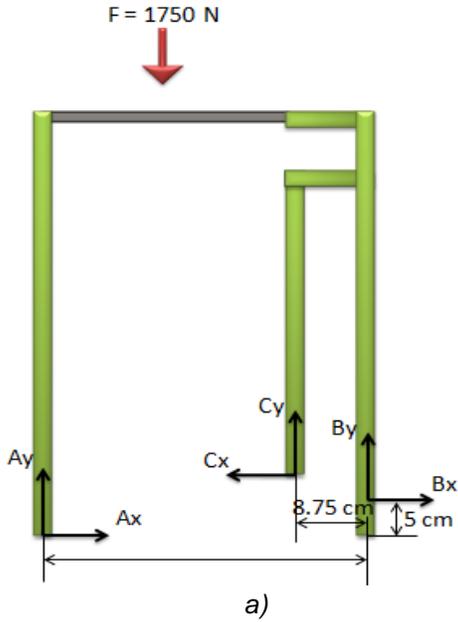
Para la estricta posición de la carga que deberá soportar el acoplamiento, es necesario hacer un cálculo del centro de masa de la parte superior de la máquina.

Para simplificar el cálculo, decidimos pensar en la carga máxima de la maquina, es decir cuando está en su máxima capacidad la tolva superior de café. Y el total de carga nos da un aproximado de 340 Kg, es decir 3334.4 N.éwtones.

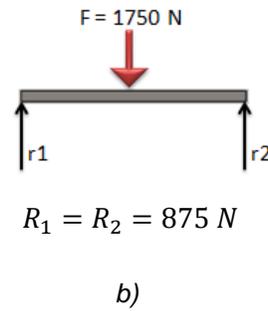
Para obtener un factor de seguridad, realizamos el cálculo con 3500 N.éwtones. A continuación se realiza el siguiente planteamiento del problema:

Figura 33: Análisis de reacciones del soporte estructural tubular cuadrada de la tolva

- a) Vista lateral
- b) Vista por partes
- c) Vista para las barras frontales
- d) Vista por las barras traseras



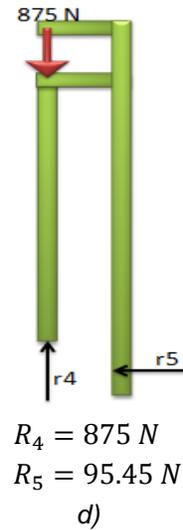
Resolviendo por partes:



Para las barras frontales tenemos



Para las barras traseras tenemos



Fuente: Diseño propio

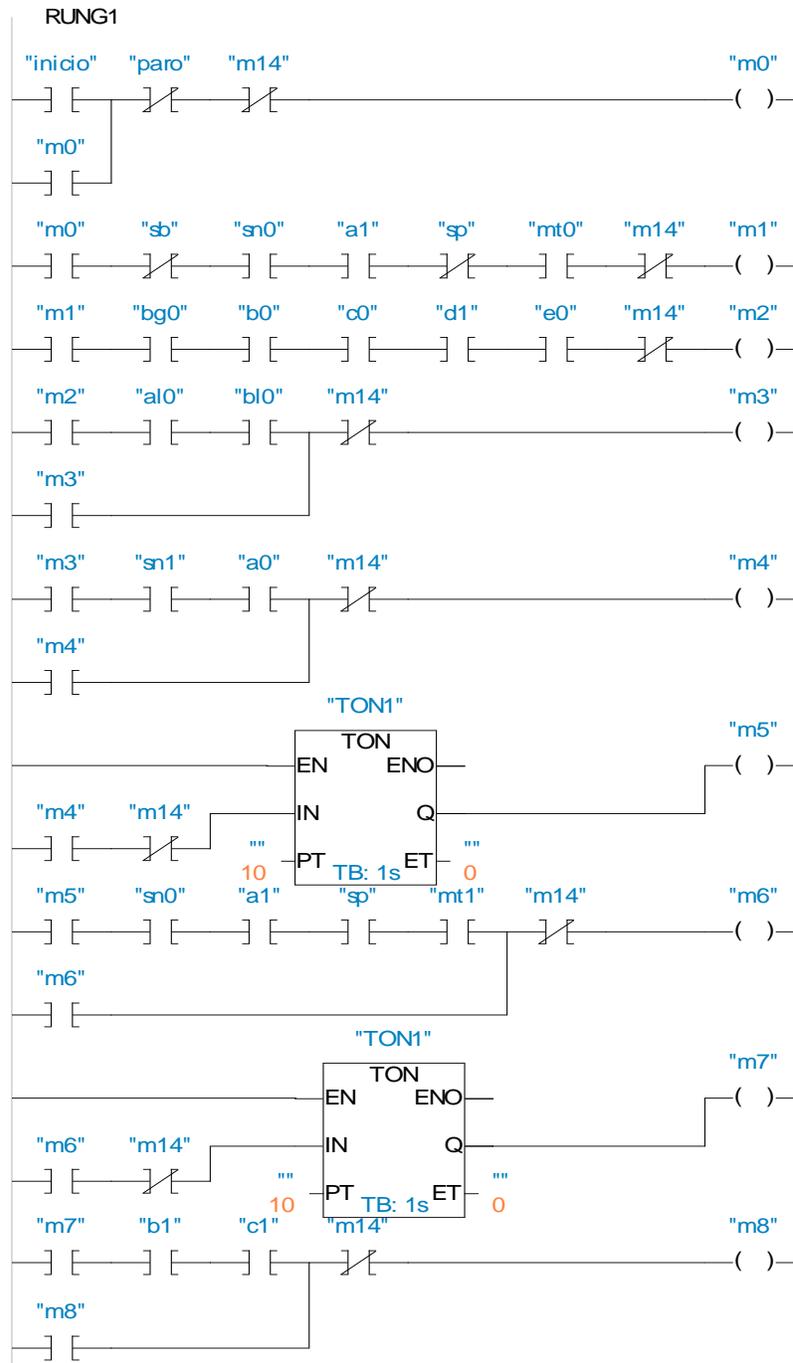
Es decir, las columnas cargan axialmente, 875 N, y la soldadura ubicada en r5, soporta axialmente un desprendimiento de 95.45 N.

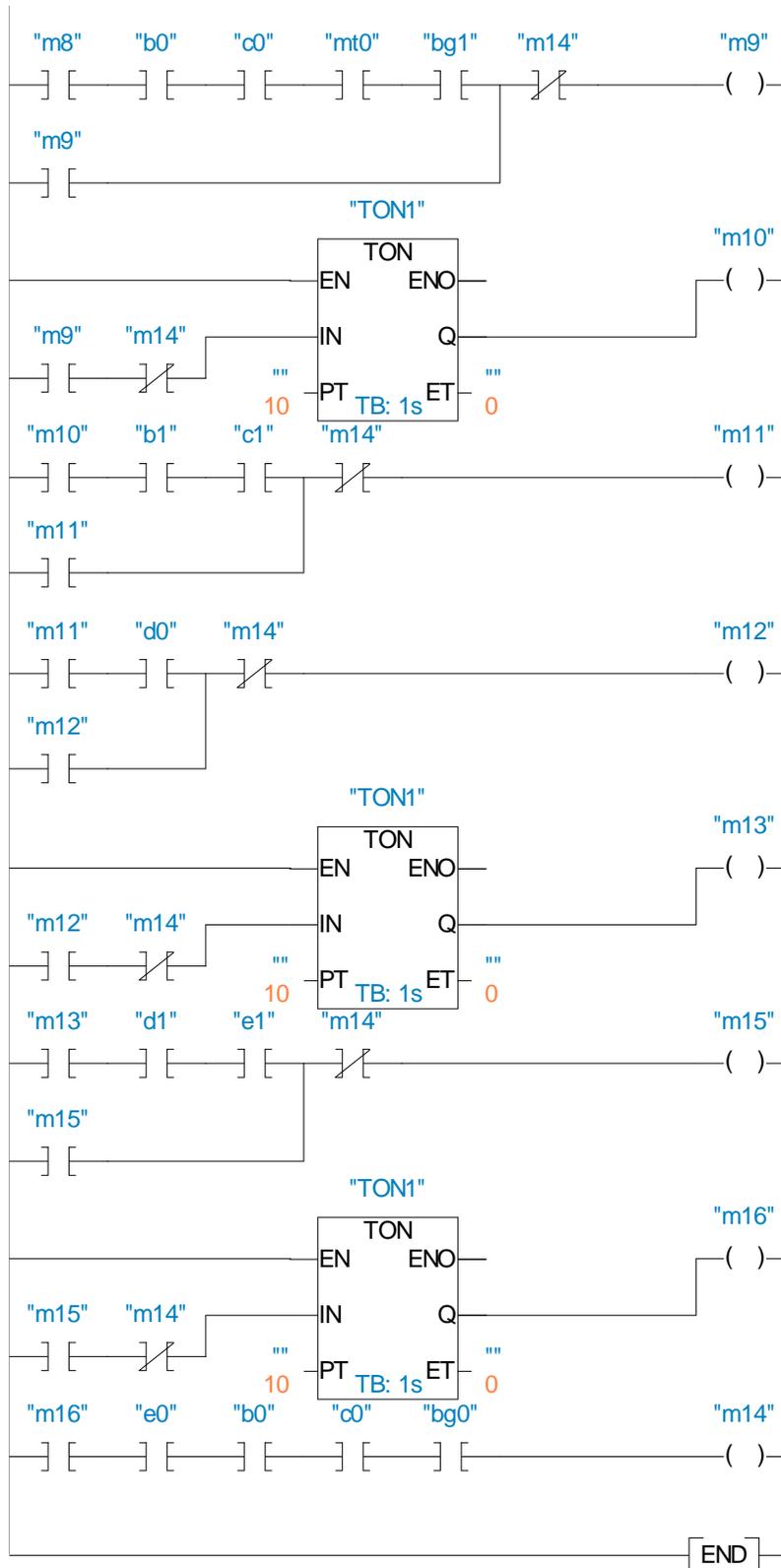
ETAPA 2: AUTOMATIZACIÓN

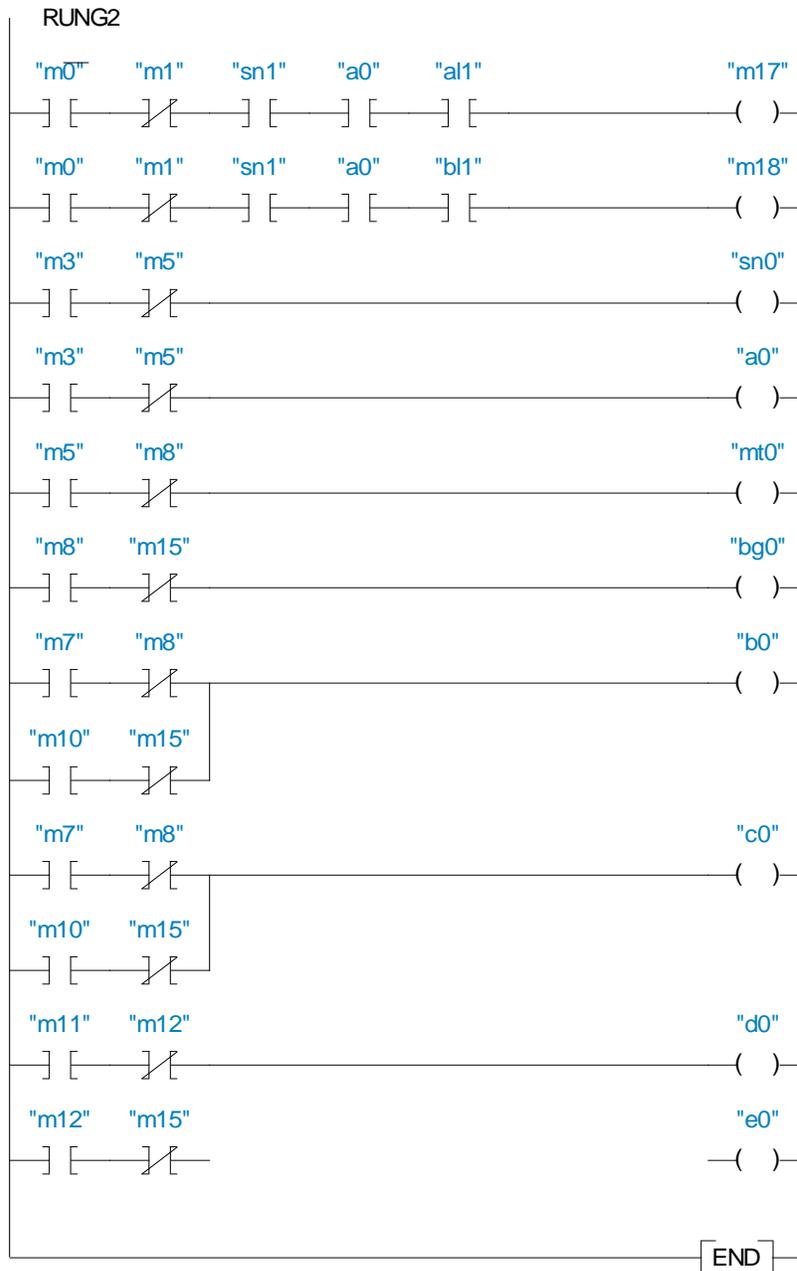
3.7 Propuesta de automatización

A continuación se presenta el siguiente modelo propuesto de automatización simulado mediante el uso del programa de simulación Automation Studio 5.0, en el cual muestra los componentes funcionales mecánicos y automáticos de la “Máquina empacadora de café automática”; para este caso se muestra primero el diagrama de escalera y después los diagramas de conexión entre componentes.

Figura 34: Diagrama de escalera “Máquina empacadora de café molido”







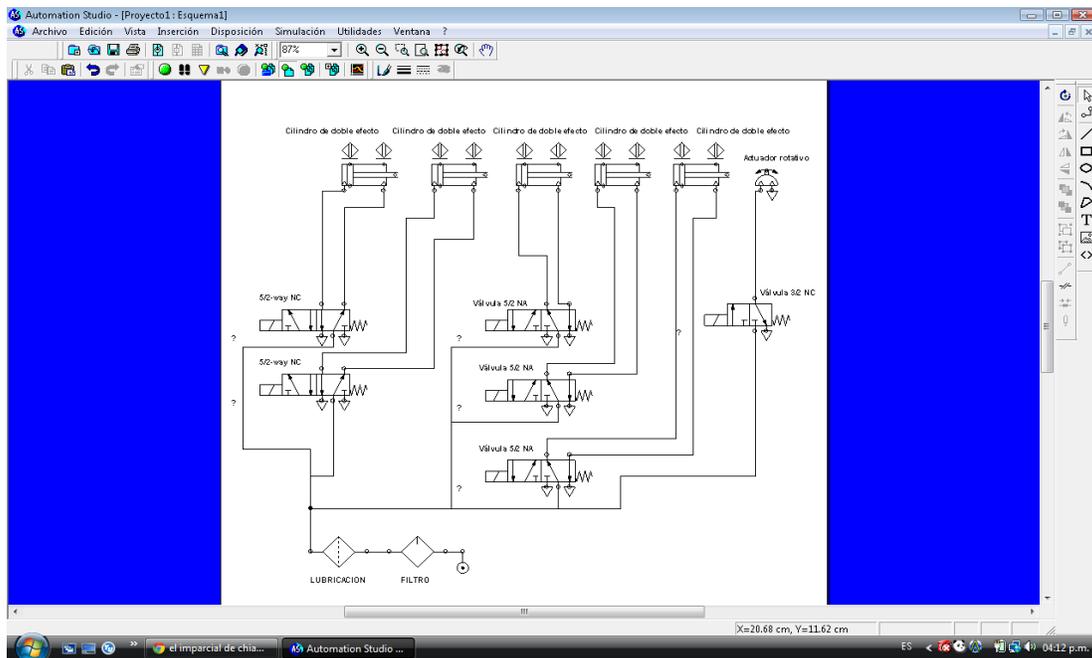
Fuente: Diseño propio

El funcionamiento del diagrama de escalera para la máquina es el siguiente:

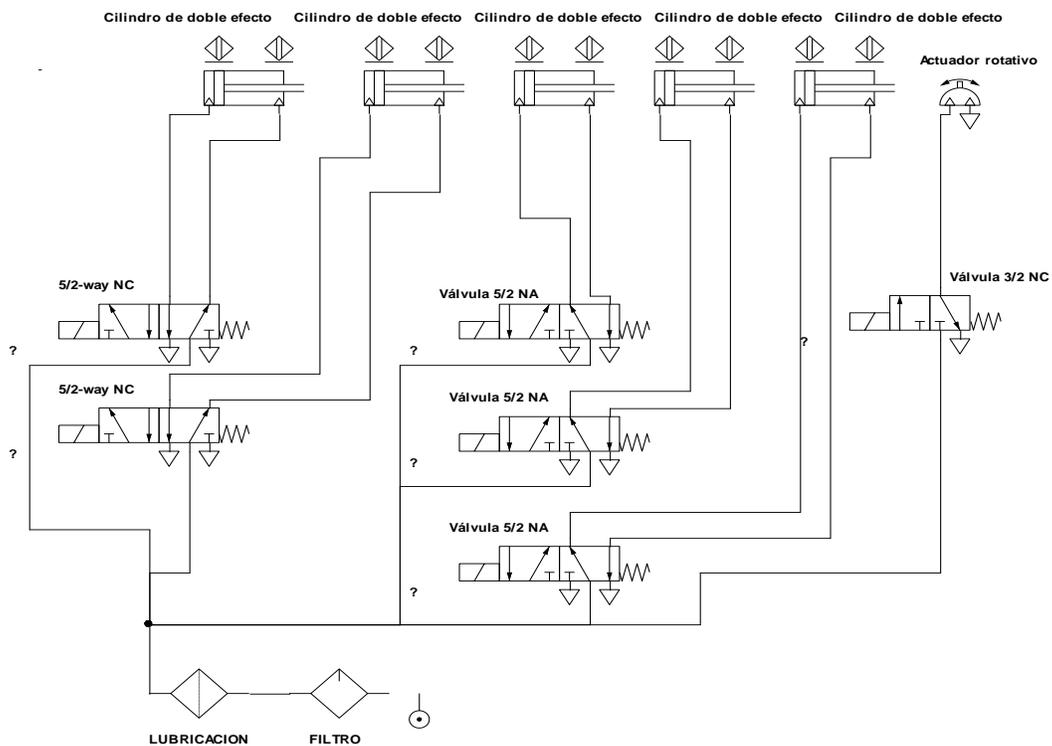
1. Seleccionamos la cantidad deseada de café en kilogramos (kg) desde un tablero de selección.
2. Habiéndose seleccionado la cantidad de café deseada, en el canalón del tornillo sin fin hay un solenoide con compuerta que bloquee el flujo de café, pero cuando se comience a dar el proceso de funcionamiento de la máquina, el solenoide se desactivará y abrirá la compuerta que permitirá que el tornillo sin fin comience a girar un determinado tiempo y a determinadas rpm para depositar la cantidad de café deseado en una báscula.
3. Cuando el café esté cayendo gradualmente sobre la báscula, esa masa de café será medida por un sensor de presión o de peso que se encontrará colocado debajo de ésta y cuando se haya depositado todo el café deseado, el peso del café ejercerá una fuerza de empuje en la báscula, el cual hará que el sensor de presión o de peso identifique que todo ese café se ha caído sobre ésta y es entonces cuando el sensor enviará una señal al motor eléctrico del tornillo sin fin para que deje de girar.
4. Habiéndose pesado la masa de café deseada, se activarán dos actuadores neumáticos de movimiento lineal con ventosas colocados sobre una base giratoria, los cuales tomarán una bolsa de tamaño adecuado de polietileno triple metalizado del clasificador de bolsas según la cantidad de café deseado (1/4 kg, 1/2 kg, 1 kg y 2 kg).
5. Después de que los actuadores neumáticos hayan tomado la bolsa adecuada para la masa de café seleccionada; éstos regresarán a su posición de inicio y después girarán a 90° a la izquierda para posicionar a la bolsa seleccionada frente a un par de ventosas y así mismo los actuadores neumáticos se volverán a activar nuevamente para que tanto actuadores como ventosas pueden abrir a la bolsa que se seleccionó y después de esto, los mismos actuadores neumáticos que están colocados sobre la base giratoria que los sostiene, se desactiven para mantener sujeta y abierta a la bolsa.
6. Una vez sujeta y abierta la bolsa, un actuador neumático de movimiento lineal que sostiene por debajo a la báscula se activará regresando todo su final de carrera para que la báscula tenga un movimiento de inclinación el cual permitirá que todo el café medido caiga dentro de la bolsa sujeta y abierta por las ventosas y los actuadores neumáticos.
7. Después de eso, el actuador que soporta a la báscula regresa a su posición de inicio y el par de actuadores neumáticos colocados sobre la base giratoria se activarán nuevamente uniendo ambos costados de la bolsa junto con las ventosas del otro extremo para que en ese momento se active otro actuador neumático de movimiento lineal con mordaza y resistencia térmica para que derrita y selle la parte superior de la bolsa por un determinado tiempo.
8. Por último, el actuador con mordaza regresa a su posición original y la bolsa debido al contenido del café caerá en una base para que sea recogida por el cliente y el par de actuadores con base giratoria regresan a su posición de inicio, listos para tomar otra bolsa en el momento que se vuelva a iniciar de nuevo el proceso.
9. Si en dado caso no hubiera la cantidad de café deseada en la báscula o hiciera falta bolsas en algunos de los espacios del panel rotativo de bolsas, el proceso de funcionamiento de la máquina se detendría y se activarían alarmas indicadoras para que tanto la tolva de café o el panel giratorio de bolsas sean llenados manualmente hasta alcanzar sus límites requeridos para que la máquina siga con su funcionamiento programado.

Figura 35: Diagramas de conexión entre componentes de la "Máquina empaquetadora de café molido"

- a) Pantalla completa
- b) Diagrama extraído



a)



b)

Fuente: Diseño propio

3.8 Selección de motor eléctrico para tornillo sinfín

En base al resultado obtenido en el subtema “3.4.2 Potencia de accionamiento” del tornillo sinfín, la potencia total que se obtuvo para accionarlo fue de $P= 0.1357$ kW. Tomando de referencia este dato se seleccionó un motor eléctrico con ciertas capacidades para que el tornillo sinfín pueda girar sin problema alguno y en el tiempo deseado, considerando la cantidad de café que éste soporta en el canalón en el cual se encontrará colocado. Además, el valor de la potencia total que se obtuvo en el cálculo del subtema mencionado anteriormente se encuentra catalogado dentro del rango de energía clasificada de salida del motor a mencionar.

Motor eléctrico para tornillo sinfín SLS HELICOIDAL modelo S37-S97



Datos básicos del producto:

- **Arreglo del engranaje:** Hipoide
- **Energía clasificada:** 0.12 kW – 22 kW
- **Velocidad de entrada:** 1352 rpm
- **Velocidad de salida:** 0.12 rpm
- **Esfuerzo de torsión de la salida:** 10 N.m – 461 N.m
- **Número de modelo:** S37-S97
- **Marca:** Wenzhou Sanlian Group Company. Ltd.
- **Lugar de procedencia:** China.

Especificaciones:

- Altamente modular
- Diseño estándar
- Alta resistencia
- Dimensiones compactas

Los modelos con serie **SLR/SLF/SLK/SLS** se caracterizan por una estructura compacta, peso ligero, esfuerzo de torsión grande y un excelente rendimiento. (Datos adicionales acerca del motor eléctrico para tornillo sinfín, consultar el link de la página de internet que se encuentra en el anexo “Etapa 2: Automatización”)

3.9 Selección de tipo de bolsa para el llenado de café molido

Para empaquetar el café molido que se estará usando en la máquina se eligieron bolsas de polietileno laminado metalizado de color plata, ya que son las más usadas en la industria empaquetadora alimenticia y poseen capacidad para 250 g, 500 g, 1 kg y 2 kg. Este tipo de bolsas se venden en paquetes de 100 piezas hasta 1000 piezas y su precio de venta varía dependiendo el tamaño de bolsa.

A continuación se muestran las dimensiones de las medidas de los empaques:

- **250 g (1/4 kg):** Ancho: 3 cm x Largo: 10 cm x Altura: 24 cm
- **500 g (1/2 kg):** Ancho: 7 cm x Largo: 11 cm x Altura: 28 cm
- **1 kg:** Ancho: 7 cm x Largo: 13 cm x Altura: 37 cm
- **2 kg:** Ancho: 9 cm x Largo: 15 cm x Altura: 40 cm

(Datos adicionales acerca de las bolsas, consultar el link de MERCADO LIBRE que se encuentra en el anexo “Etapa 2: Automatización”)



3.10 Selección de motor paso a paso para el panel giratorio contenedor de bolsas de café de polietileno laminado metalizado

Para el panel giratorio contenedor de bolsas de café se seleccionó el siguiente motor paso a paso marca FESTO con las siguientes características:

Motor paso a paso
Marca FESTO
Tipo MTRE-ST

Descripción:

- Ángulo del paso (paso completo) de $1.8\% \pm 5\%$
- Par de sujeción o apriete en N.m (motor) de 0.34 N.m
- Variante con freno y con engranaje
- Tamaño 42
- Tensión 24/48 V DC
- Corriente nominal 1,2 A
- Con controlador integrado
- Cable apropiado para el motor
- Brida apropiada para el motor



Datos adicionales acerca del motor a paso y sus componentes, consultar el link del catálogo que se encuentra en el anexo “Etapa 2: Automatización”.

3.11 Determinación y selección de diámetros de actuadores neumáticos

Para determinar el diámetro de los actuadores y poderlos elegir mediante catálogos se necesita conocer la siguiente fórmula:

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

Donde:

P = Presión de trabajo en bares.

F = Fuerza de actuación o de trabajo en Newtons (N)

A = Área de actuación o de trabajo en m^2

Y en base a estos datos podemos elegir nuestro actuador con el que queremos trabajar.

Para el caso de esta máquina se utilizarán **actuadores neumáticos**, ya que no se requiere una fuerza muy grande para poder trabajar.

Primero determinamos el actuador neumático para nuestra prensa térmica; para esto se determina la masa con la que se va a trabajar. Para el sellado de bolsas de polietileno laminado metalizado el rango de masa de trabajo utilizado normalmente es de 30 kg a 50 kg para este tipo de bolsas utilizadas en la industria empaquera alimenticia; en esta ocasión utilizaremos el valor máximo de 50 kg del rango mostrado.

Después de determinar la masa de trabajo, el valor obtenido se multiplica por el valor de la gravedad en Sistema Internacional SI que es $9.81 \frac{m}{s^2}$ para obtener el valor de la fuerza en Newtons N.

$$F = m \cdot g$$

Donde:

F = Fuerza en Newtons (N)

m = Masa (kg)

g = Constante de aceleración de la gravedad ($9.81 \frac{m}{s^2}$)

$$F = m \cdot g$$

$$F = (50 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2})$$

$$F = 490.5 \text{ N}$$

Una vez obtenida el valor de la fuerza, se aplica la fórmula de presión para obtener de ella el área y después obtener el diámetro requerido para seleccionar nuestro actuador neumático. No olvidemos que la presión de trabajo que estaremos usando será de 8 bares, pero a este valor lo convertiremos a Mpa para poder usarlo en la fórmula y así proseguir con nuestro cálculo.

$$1 \text{ atmósfera (atm)} = 1.01325 \text{ bares}$$

$$x = 8 \text{ bares}$$

$$x = \frac{(1 \text{ atm})(8 \text{ bares})}{1.01325 \text{ bares}} \rightarrow x = 7.9 \text{ atm}$$

$$1 \text{ atmósfera (atm)} = 101.325 \text{ Kpa}$$

$$7.9 \text{ atmósferas (atm)} = x$$

$$x = \frac{(101.325 \text{ Kpa})(7.9 \text{ atm})}{1 \text{ atm}} \rightarrow x = 700 \text{ kpa} = 0.8 \text{ Mpa}$$

$$P = \frac{F}{A} \rightarrow A = \frac{F}{P} \rightarrow A = \frac{490.5 \text{ N}}{0.8 \text{ Mpa}} \rightarrow A = 6.13125 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Encontrado el valor del área, obtenemos el diámetro en mm para nuestro actuador neumático de la siguiente fórmula:

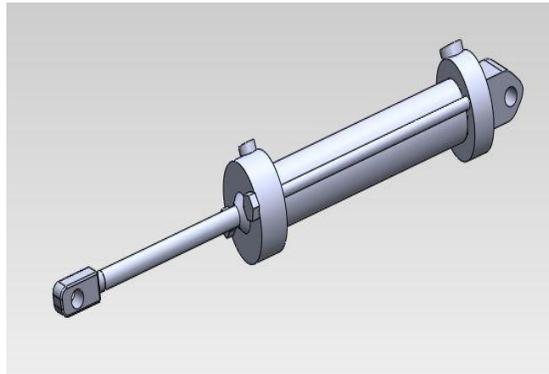
$$A = \frac{\pi d^2}{4} \rightarrow d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \rightarrow d = \sqrt{\frac{4(6.13125 \times 10^{-4} \text{ m}^2)}{\pi}} \rightarrow d = 0.02794 \text{ m}$$

$$d = 0.02794 \text{ m} = 27.94 \text{ mm}$$

Basándonos del catálogo de la marca SMC para actuadores neumáticos, seleccionamos un diámetro para nuestro actuador con base en referencia al diámetro obtenido en el cálculo hecho anteriormente, el cual, el diámetro más próximo para nuestro actuador es de 32 mm. (Consultar link del catálogo en el anexo "Etapa 2: Automatización")

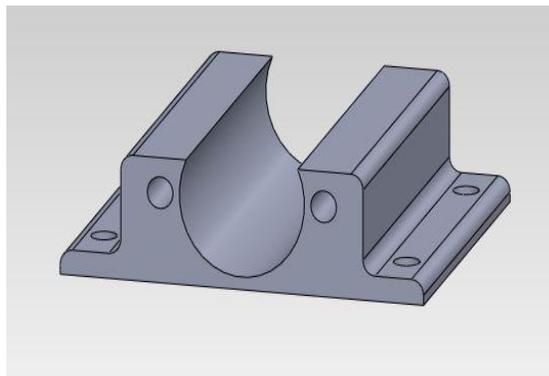
Para el actuador neumático usado para el movimiento de inclinación de la báscula y para los actuadores neumáticos que tomarán las bolsas del panel giratorio, recurriendo a los cálculos hechos anteriormente y trabajando con otros valores de masa de trabajo y de área, se dedujo un diámetro de 40 mm para estos actuadores neumáticos, los cuales podemos encontrar en el catálogo de la marca SMC para actuadores neumáticos. (Consultar link del catálogo en el anexo "Etapa 2: Automatización")

Figura 36: Ejemplo propuesto simulado de actuador lineal neumático, el cual ejerce la función de sostener e inclinar a la báscula receptora de café molido.



Fuente: Diseño propio

Figura 37: Ejemplo propuesto simulado de soporte fijo de actuador lineal neumático



Fuente: Diseño propio

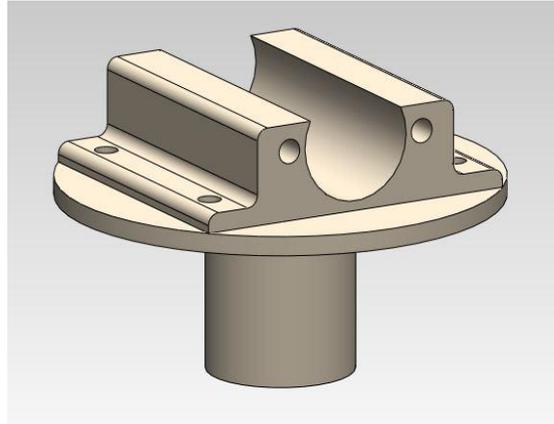
3.12 Selección de actuador rotativo neumático

Para mover la plataforma que contendrá a los actuadores lineales neumáticos que tomarán y sostendrán a las bolsas que se llenarán de café se seleccionó el siguiente actuador rotativo neumático:

**Actuador rotativo neumático de cremallera simple
Serie 6410
Marca PNEUMAX
(Datos adicionales acerca del actuador rotativo
neumático, consultar el link del catálogo que se
encuentra en el anexo “Etapa 2: Automatización”)**



Figura 38: Ejemplo propuesto simulado de plataforma rotativa de actuador lineal neumático



Fuente: Diseño propio

3.13 Selección de compresor neumático

De acuerdo a la presión de trabajo que se ha utilizado que es de 8 bares y para el volumen de la máquina de acuerdo a las funciones que realiza, ya que no requiere grandes potencias de aire para trabajar, se seleccionó el siguiente compresor con las siguientes características:

Compresor de aire portable
Serie OF302 (sin aceite)
Modelo OF302 -4B
Marca: JUN-AIR



(Datos adicionales acerca del compresor neumático, consultar links del catálogo que se encuentran en el anexo “Etapa 2: Automatización”)

3.14 Selección de sensor de peso

Para el sensor de presión o de peso, se tomó en cuenta la masa total de la báscula incluyendo la masa máxima de café. Para esto se hizo lo siguiente:

Masa máxima de café:	2 kg = 2000 g
Plataforma de la báscula para soportar masa de café:	1 kg = 1000 g
Varilla de soporte y sujeción:	0.15 kg = 150 g
Barra de soporte y sujeción entre báscula y actuador:	<u>0.15 kg = 150 g</u>
Masa total:	3.3 kg = 3300 g

Para saber la fuerza que actuará en la báscula utilizamos la fórmula:

$$F = m \cdot g$$

Donde

$F =$ Fuerza en Newtons (N)

$m =$ Masa kg

$g =$ Constante de aceleración de la gravedad ($9.81 \frac{m}{s^2}$)

$$F = m \cdot g$$

$$F = (3.3 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2})$$

$$F = 32.373 \text{ N}$$

Dado este valor de fuerza, podemos utilizar para nuestro sensor de peso o de presión la gama de sensores flexibles **FlexiForce® Sensors “Standard FlexiForce Sensors for Force Measurement”** (FlexiForce estándar Sensores para medición de fuerza) mostrados en la siguiente tabla a continuación:



FlexiForce® Sensors
standard flexiforce sensors for force measurement

FlexiForce force sensors are ultra-thin and flexible printed circuits, which can be easily integrated into force measurement applications. These sensors are available for purchase in our online store.

[overview](#) | [specs](#) | [how it works](#) | [sensor construction](#) | [applications](#) | [getting started](#) | [pricing](#)



	A201 MODEL (Spec Sheet)	HT201 (HIGH-TEMP) MODEL (Spec Sheet)	A301 MODEL (Spec Sheet)	A401 MODEL (Spec Sheet)
PHYSICAL PROPERTIES				
Thickness	0.008 in. (.203 mm)			
Length	7.75 in. (197 mm) 6 in. (152 mm)* 4 in. (102 mm)* 2 in. (51mm)*		1 in. (25.4 mm)	2.24 in. (56.8 mm)
Width	0.55 in. (14 mm)			
Sensing Area	0.375 in. diameter (9.53 mm)		0.375 in. diameter (9.53 mm)	1.0 in. diameter (25.4 mm)
Connector	3-pin male square pin		2-pin male square pin	
TYPICAL PERFORMANCE				
Linearity Error	<±3%	<±3%	<±3%	<±3%
Repeatability	<±2.5% of full scale	<±3.5% of full scale	<±2.5% of full scale	<±2.5% of full scale
Hysteresis	<4.5% of full scale	<3.6% of full scale	<4.5% of full scale	<4.5% of full scale
Drift	<5% per logarithmic time scale	<3.3% per logarithmic time scale	<5% per logarithmic time scale	<5% per logarithmic time scale
Response Time	<5 microseconds	TBD	<5 microseconds	<5 microseconds
Operating Temperatures	15°F to 140°F (-9°C to 60°C)	15°F to 400°F (-9°C to 204°C)	15°F to 140°F (-9°C to 60°C)	15°F to 140°F (-9°C to 60°C)
Force Ranges	0-1 lb (4.4 N) 0-25 lb (110 N) 0-100 lb (440 N)**	Low: 0-30 lb (133 N) High: 0-100 lb (440 N)**	≈ 0-1 lb (4.4 N) ≈ 0-25 lb (110 N) ≈ 0-100 lb (440 N)**	0-25 lb (110 N)***
Temperature Sensitivity	Output variance up to 0.2% per degree F	Output variance up to 0.16% per degree F	Output variance up to 0.2% per degree F	Output variance up to 0.2% per degree F

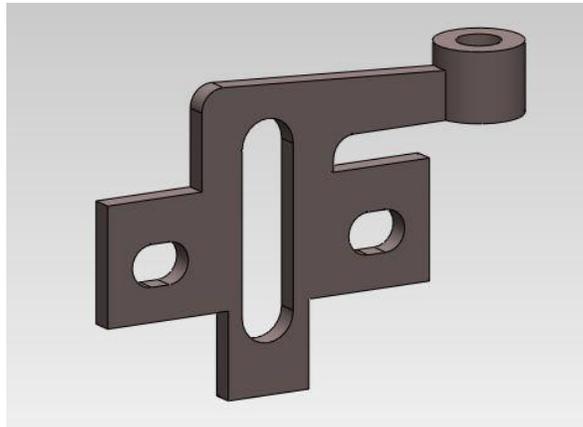
* For an additional fee.

Ya que el valor de nuestra fuerza obtenida se encuentra dentro del rango de trabajo (Force Ranges) para usar cualquiera de los cuatro sensores mostrados en la tabla.

3.15 Determinación de la temperatura de la prensa térmica para el sellado de las bolsas de café de polietileno laminado metalizado.

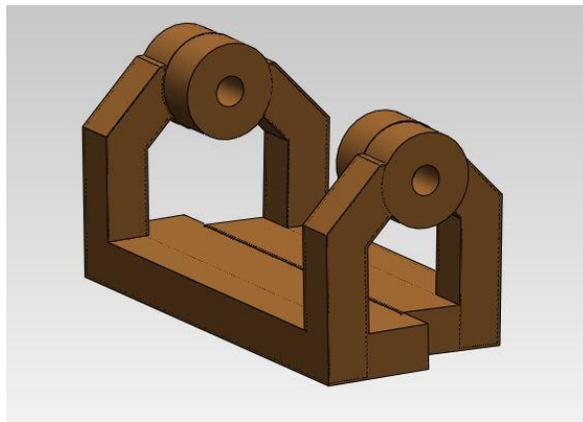
Para las bolsas de polietileno laminado metalizado que se usarán para empaquetar el café molido extraído de la tolva y arrojado por el tornillo sin fin, la temperatura estándar que se debe alcanzar en las mordazas para un buen sellado de la bolsa es de 120 °C de acuerdo a la longitud de la mordaza y de la longitud de la bolsa.

Figura 39: Ejemplo propuesto simulado de elemento de unión entre mordaza y vástago de actuador lineal neumático



Fuente: Diseño propio

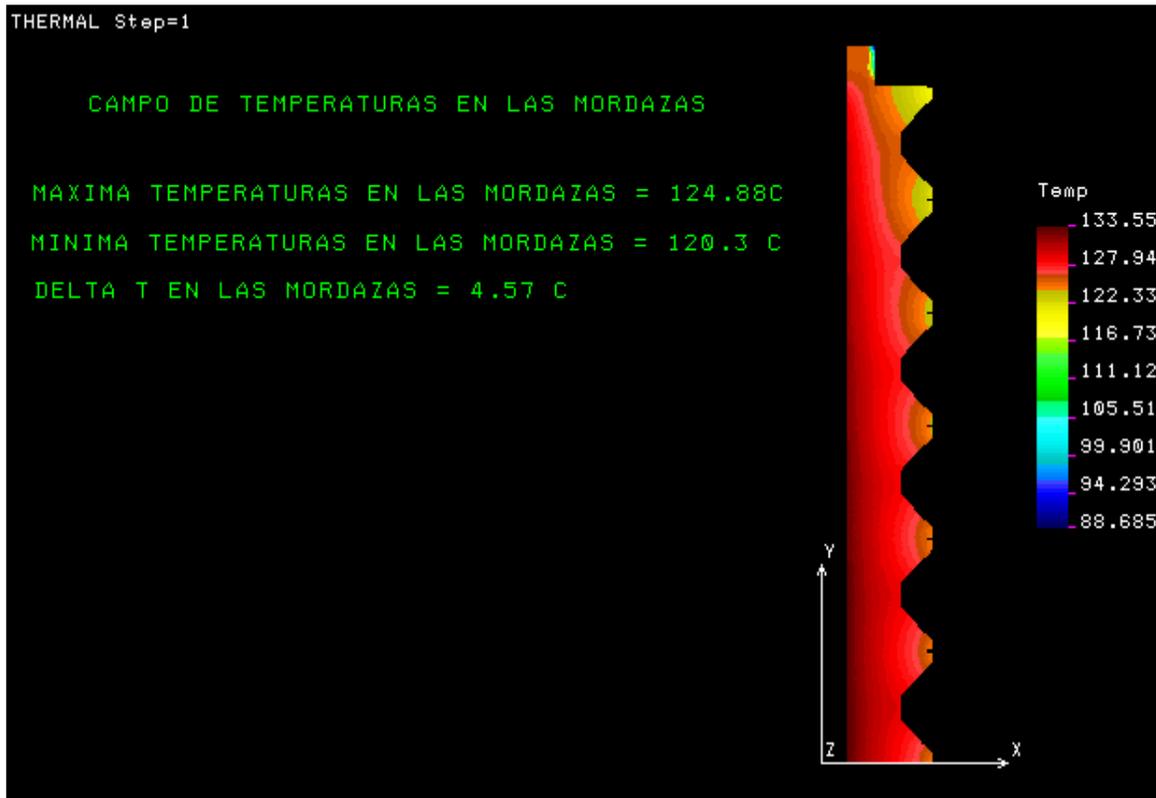
Figura 40: Ejemplo propuesto simulado de mordaza llámese también prensa o selladora térmica



Fuente: Diseño propio

Para determinar esta temperatura se utilizan modelos y programas computacionales que utilizan el método de elementos finitos o nodos utilizado en el campo de la “Transferencia de calor”, ya que estos programas simulan y grafican las áreas o puntos donde se propaga y distribuye el calor por convección. A continuación algunos ejemplos:

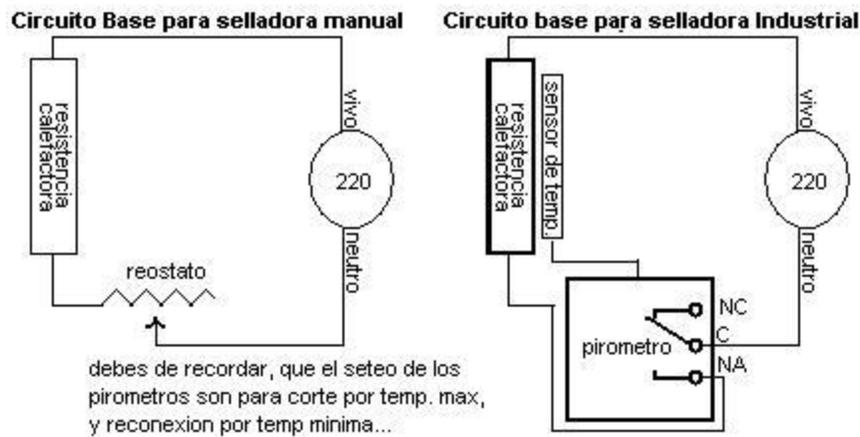
Figura 41: Simulación y graficación de los puntos y áreas donde se propaga y distribuye el calor por convección.



Fuente: Google Images 2012

Se puede también recurrir a la elaboración de circuitos sencillos para realizar sellados domésticos o a nivel industrial.

Figura 42: Diagramas de circuitos para selladoras domésticas e industriales.



Fuente: Google Images 2012

3.16 Selección de PLC

Para el funcionamiento y automatización de la máquina empacadora de café, de acorde al diagrama de escalera mostrado en el subtema **“3.7 Propuesta de automatización”** los PLC que se pueden elegir de acuerdo a sus características son los siguientes modelos:

- Mini PLC DELTA DVP
Marca DELTA “Global Automation Solution Provider”
Serie S
Modelos DVP16SP11R/DVP16SP11T
Alimentación de 24 Vdc +20% -15%
Con módulo de expansión de 8 entradas digitales 24 Vdc/5 mA (Fuente o drenador)
Con módulo de expansión de 8 salidas digitales por relé de 250 Vac/30 Vdc; 1.5 A y salida por transistor de 5Vdc - 30Vdc; 0.3 A a 40 °C.

Datos adicionales acerca del PLC y su software de funcionamiento, consultar el link del catálogo que se encuentra en el anexo “Etapa 2: Automatización”.

The background is a vibrant, abstract composition of swirling, iridescent colors including deep reds, oranges, yellows, and greens, creating a sense of motion and energy. A large, three-dimensional, yellow-green number '4' is positioned on the right side of the frame, casting a soft shadow on the background.

Capítulo

Conclusiones y Recomendaciones

4.1 Conclusión.

El proceso de este trabajo nos permitió identificar la problemática que existe actualmente en las empresas y comercios dedicados a la actividad del empaquetado del café molido, así como también integrar los objetivos generales y específicos presentados anteriormente; la propuesta desarrollada como solución a lo planteado fue la creación de una máquina empaquetadora de café automática que utilizará métodos actuales y modernos de diseño mecánico y automatización, el cual mejorará el proceso de empaquetado cumpliendo con estrictas normas de calidad alimenticia e higiene además de ofrecer la cantidad exacta y la agilización de los pedidos demandados por los usuarios, siendo ésta una forma de implementación e innovación tecnológica y de competencia, considerándose también que el diseño de este prototipo y su funcionamiento sean de fácil entendimiento para todo usuario que desea adquirirlo y el mantenimiento de ésta no requiera grandes costos.

4.2 Recomendaciones

- Se debe elaborar un manual de usuario para poder utilizar la máquina sin problema o duda alguna, si en dado caso hubiera alguna duda o anomalía en el equipo, contactar al personal capacitado para su reparación.
- Para el mantenimiento o cambio de piezas de la máquina se debe contar con personal especializado y capacitado que cuente con las herramientas adecuadas para poder reparar alguna anomalía o elaborar un mantenimiento adecuado, además de elaborar un historial técnico de la máquina para tomar datos de los días que se le ha realizado mantenimiento como también el cambio y reparación de sus piezas para revisiones futuras.
- No exponer la máquina en lugares con mucha suciedad o humedad o en áreas que tenga contacto directo con el sol o el medio ambiente.
- Si hubiera altas variaciones de voltaje de manera repentina o frecuente, desconectar el equipo y ubicarlo en otro lugar para no afectar su sistema eléctrico.
- No tratar de manera brusca a la máquina para evitar fallas físicas o electrónicas en ella.
- No exponer a la máquina cerca de fuego o sustancias inflamables o peligrosas que puedan afectarla.
- No colocar cosas bruscas o pesadas encima de la máquina, ya que ello dañaría la estructura física de ésta.



Referencias Bibliográficas y Virtuales

- Boresi Arthur P., Schmidt Richard J. Ingeniería Mecánica (Estática). International Thomson Learning Editores, 2001.
- Beer Ferdinand P., Johnston E. Russell Jr., Eisenberg Elliot R. Mecánica Vectorial para Ingenieros (Estática). Octava edición. McGraw Hill Interamericana, 2007.
- Hibbeler Russel C. Mecánica Vectorial para Ingenieros (Estática). Décima edición. PEARSON EDUCATION PRENTICE HALL, 2004.
- Pytel Andrew, Singer Ferdinand L. Resistencia de Materiales (Introducción a la mecánica de sólidos). Cuarta edición. OXFORD 2003.
- Mott Robert L. Resistencia de Materiales Aplicada. Tercera edición. PEARSON EDUCATION PRENTICE HALL, 1996.
- Beer Ferdinand P., Johnston E. Russell Jr., DeWolf John T. Mecánica de Materiales. Cuarta edición. McGraw Hill Interamericana, 2007.
- Hibbeler Russel C. Mecánica de Materiales. Sexta edición. PEARSON EDUCATION PRENTICE HALL, 2004.
- Gere James M., Goodno Barry J. Mecánica de Materiales. Séptima edición. Cengage Learning Editores, 2009.
- Craig Roy R. Jr. Mecánica de Materiales. Primera edición. Grupo Editorial Patria, CECSA, 2002.
- Popov Egor P. Mecánica de Sólidos. Segunda edición. PEARSON EDUCATION PRENTICE HALL, 2000.
- Mott.. Robert L. Diseño de Elementos de Máquinas. Cuarta edición. PEARSON EDUCATION PRENTICE HALL, 2006.
- Budynas Richard G. Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. Octava edición. McGraw Hill Interamericana, 2008.
- Juvinal Robert C. Fundamentos de Diseño para Ingeniería Mecánica. LIMUSA NORIEGA EDITORES, 2002.

- **Serway Raymond A., Jewett John W. Jr. Física (Electricidad y Magnetismo). Octava edición. Cengage Learning Editores, 2008.**
- **Halliday David, Resnick Robert, Walker Jearl. Fundamentos de Física Volumen 2 (versión extendida). Grupo Editorial Patria, 2008.**
- **Boylestad Robert L. Análisis Introductorio de Circuitos. Tercera edición. TRILLAS, 2010.**
- **Hayt William H. Jr., Kemmerly Jack E., Durbin Steven M. Análisis de Circuitos en Ingeniería. Séptima edición. McGraw Hill Interamericana, 2007.**
- **Dorf Richard C., Svoboda James A. Circuitos Eléctricos. Sexta edición. ALFAOMEGA, 2006.**
- **Chapman Stephen J. Máquinas Eléctricas. Cuarta edición. McGraw Hill Interamericana, 2005.**
- **Cathey Jimmie J. Máquinas Eléctricas (Análisis y Diseño aplicando MATLAB) Primera edición. McGraw Hill Interamericana, 2001.**
- **Boylestad Robert L., Nashelsky Louis. Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos. Décima edición. PEARSON EDUCATION PRENTICE HALL, 2009.**
- **Cengel Yunus A. Transferencia de Calor y Masa (Un enfoque práctico). Tercera edición. McGraw Hill Interamericana, 2007.**
- **Deppert Werner., Stoll Kurt. Dispositivos Neumáticos. Primera edición. Editorial Alfaomega Marcombo, 2001.**
- **Millán Teja Salvador. Automatización Neumática y Electroneumática. Primera edición. Editorial Alfaomega Marcombo, 1996.**
- **Manual de estudio. Curso de neumática para la formación profesional. Editorial FESTO DIDACTIC**

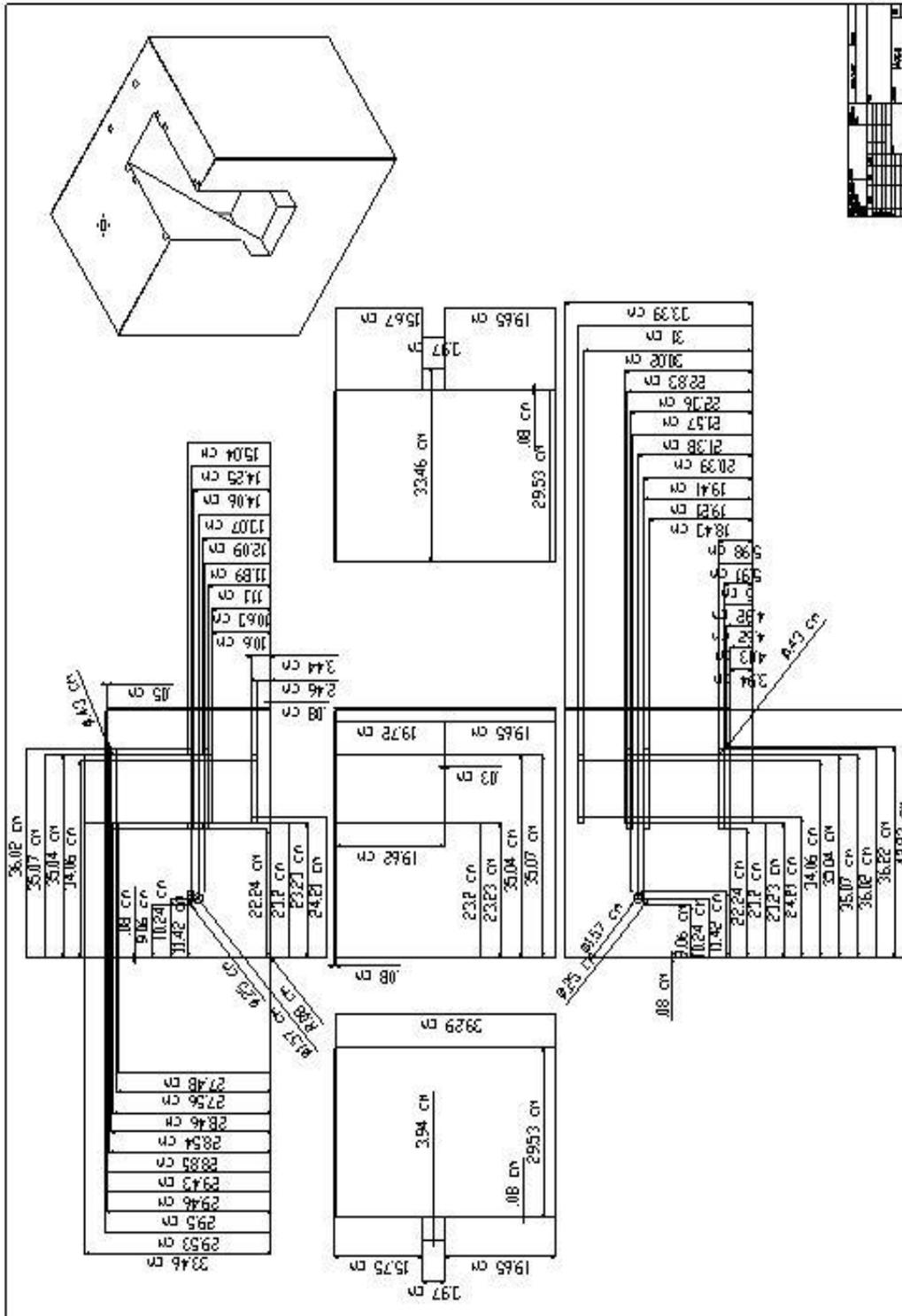
- **Farrando Boix Ramón. Circuitos Neumáticos, Eléctricos e Hidráulicos, Primera edición. Editorial Alfaomega Marcombo, 1975.**
- **Deppert Werner, Stoll Kurt. Aplicaciones de la Neumática. Primera edición. Editorial Alfaomega Marcombo, 1980.**
- **Badía Albert. Autómatas Programables. Primera edición. Editorial Alfaomega Marcombo, 1987.**
- **Porras Criado Alejandro, Montanero A. P. Autómatas Programables. Primera edición. McGraw Hill Interamericana, 1997.**



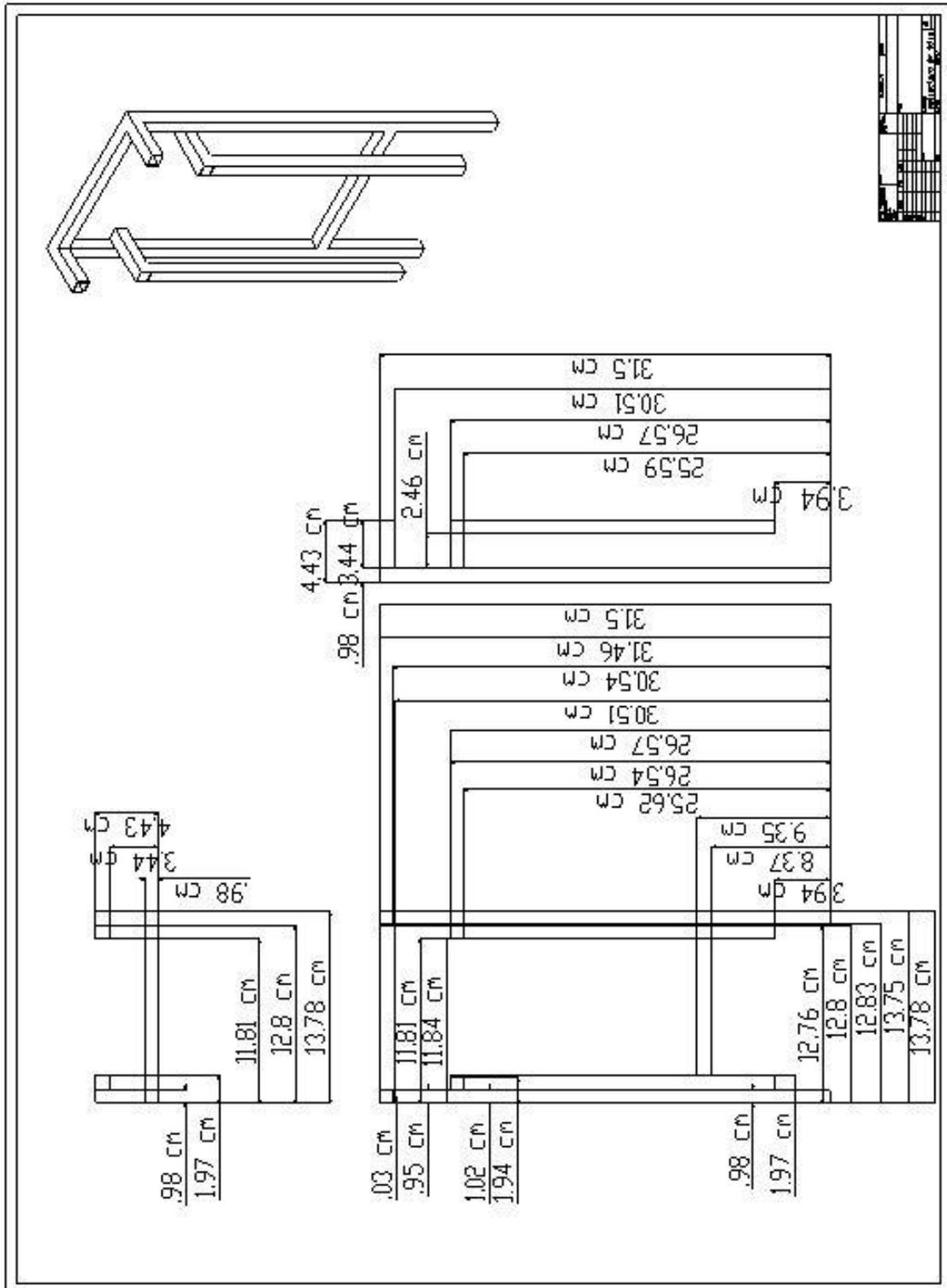
Anexos

PLANOS

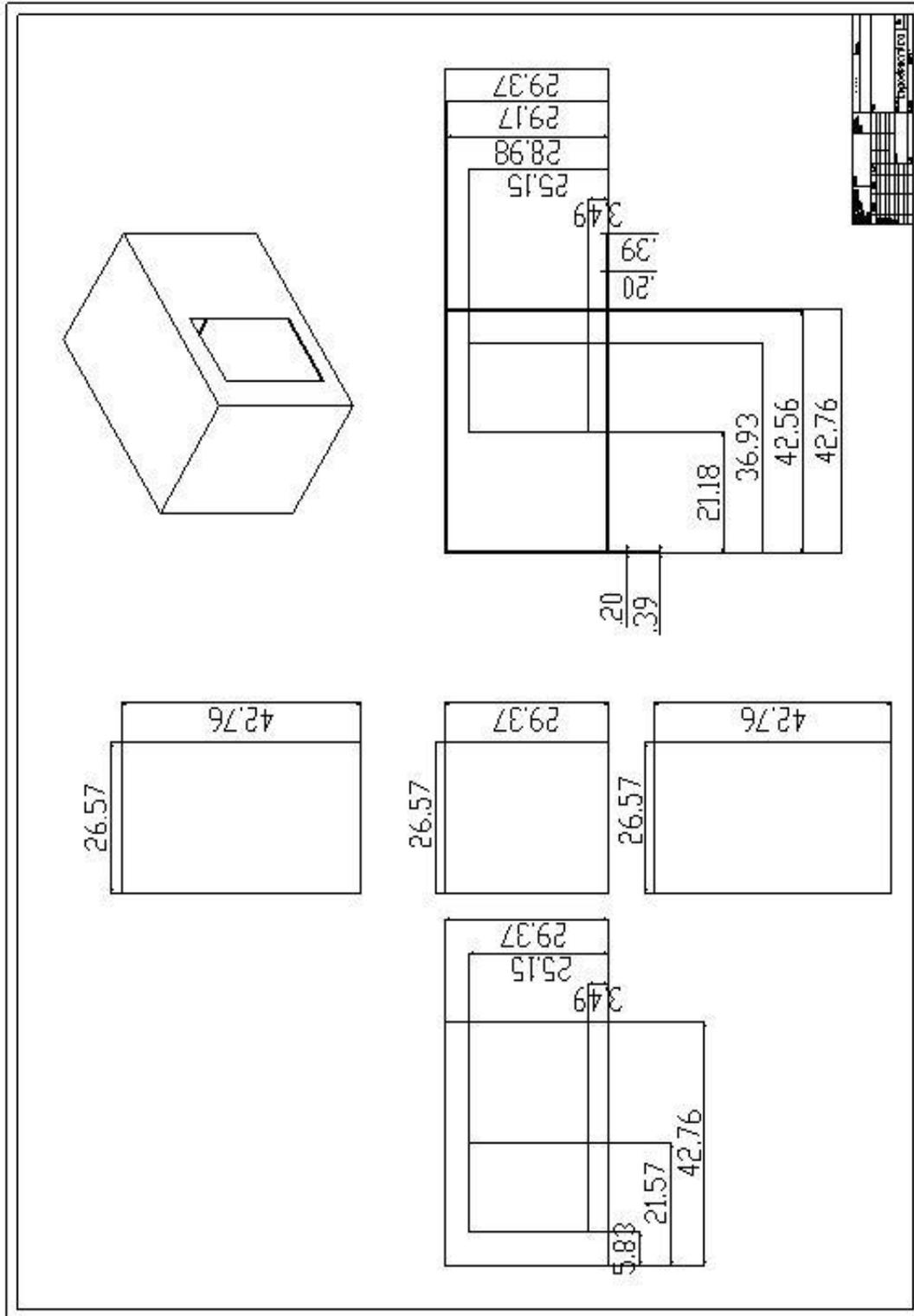
Plano 2:
Forro de acero inoxidable para mesa de estructura tubular cuadrada



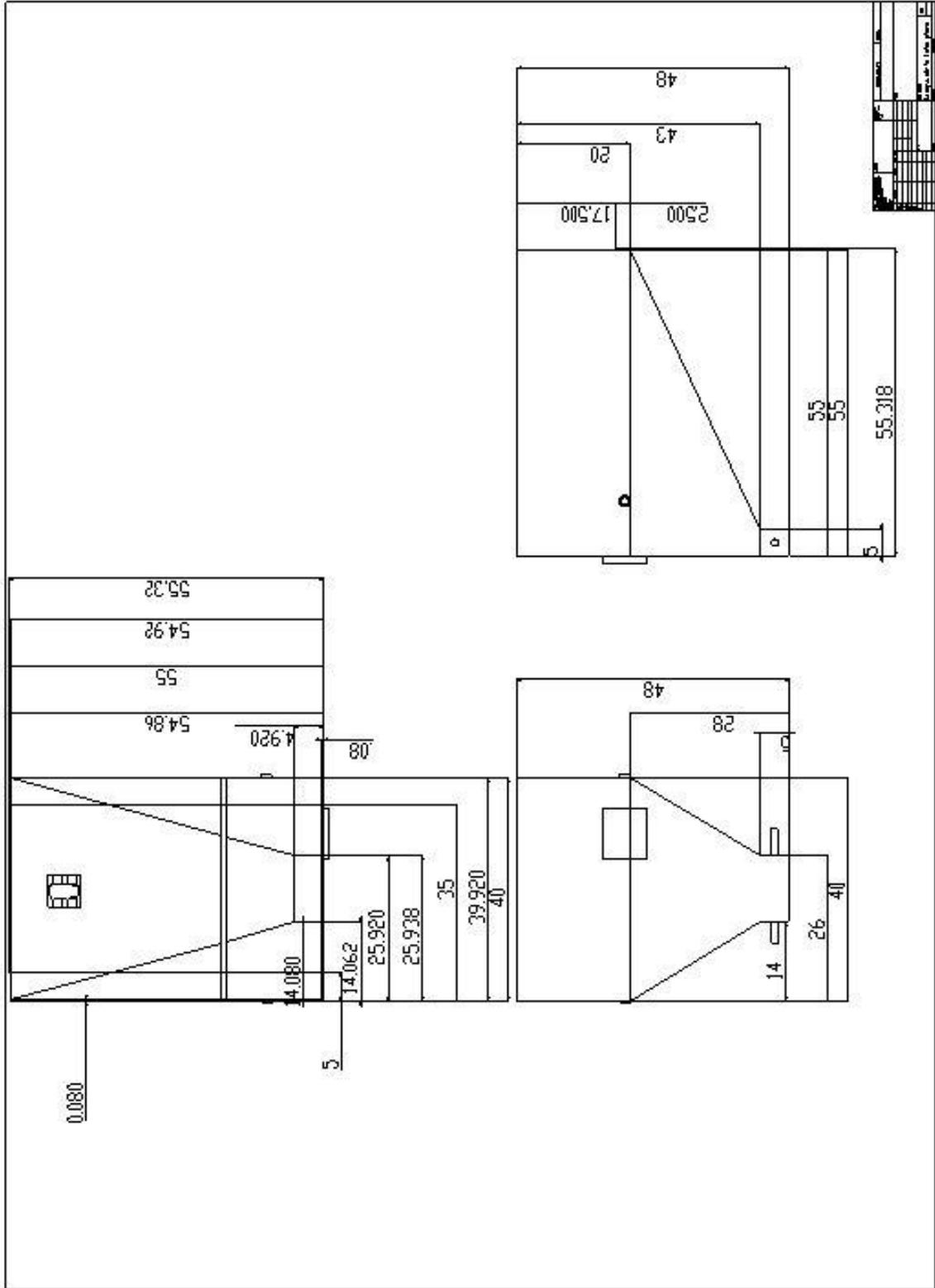
**Plano 3:
Soporte estructural tubular cuadrada de la tolva**



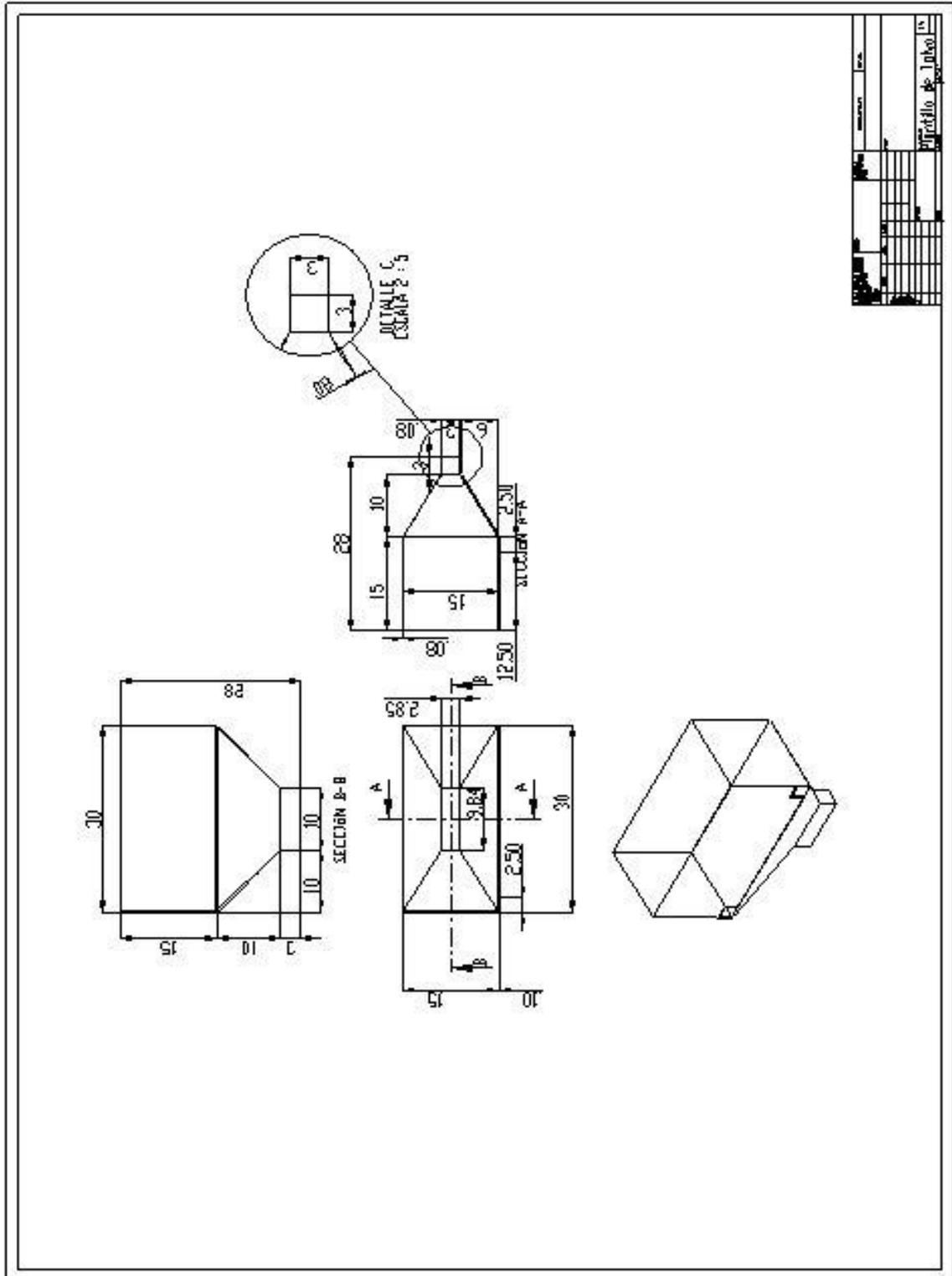
**Plano 4:
Estructura laminar protectora de acrílico**



**Plano 5:
Tolva con cara plana**



Plano 7: Tolva superior



LINKS

Links de anexos
Etapa 1: Diseño mecánico

- 1.- **Norma Oficial Mexicana NOM-251-SSA1-2009**
Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios
http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5133449&fecha=01/03/2010

- 2.- **Norma Oficial Mexicana NOM-020-STPS-2011**
Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas
Funcionamiento - Condiciones de Seguridad.
<http://asinom.stps.gob.mx:8145/upload/nom/38.pdf>

- 3.- **Tabla de propiedades para el acero inoxidable AISI 304 (Grado alimenticio)**
GOODFELLOW
<http://www.goodfellow.com/S/Acero-Inoxidable-AISI-304.html>

- 4.- **Tabla de calibres para el acero inoxidable AISI 304 (Grado alimenticio)**
GOODFELLOW
http://www.goodfellow.com/catalogue/GFCat4.php?ewd_token=yjAQge3ycZiMfYqp3mN2ziDsGLcDsm&n=tApUljIT8Z2DmRifQ8AG3IWWeHTIn7

- 5.- **Especificaciones para el ángulo de reposo de la parte baja de la tolva superior.**
ASTM INTERNATIONAL
Designación: C 1444-00
<http://www.prabhaproducts.com/certification/C1444-WITHDRAWNnbs05361.pdf>

- 6.- **Especificaciones para la estructura laminar protectora de acrílico**
PLEXIGLAS
<http://www.plexiglas.com/literature/pdf/262.pdf>

Links de anexos
Etapa 2: Automatización

- 7.- Especificaciones de motor eléctrico para tornillo sin fin marca “Wenzhou Sanlian Group Company Ltd”
<http://spanish.alibaba.com/products/electric-motor-worm-gear.html>
<http://spanish.alibaba.com/product-gs/sls-helical-worm-electric-motors-gear-drive-551104207.html>
- 8.- Especificaciones de bolsas de polietileno laminado metalizado de color plata “CAFÉ LUNAVÍA INSUMOS”
<http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-412452516-bolsas-metalizadas-polietireno-triple-cafe-alimentos-bfn- JM>
- 9.- Catálogo de motor paso a paso MTRE-ST para el panel giratorio contenedor de bolsas de café de polietileno laminado metalizado marca “FESTO”
https://xdki.festo.com/xdki/data/doc_ES/PDF/ES/MTRE-ST_ES.PDF
- 10.- Catálogo para la selección de actuadores lineales neumáticos marca “SMC”
- Catálogo para la selección de actuadores lineales neumáticos
<http://www.smc.com.mx/digital-catalog/>
 - Actuador lineal neumático
Marca SMC
Series CJ2RK
Montaje directo
Tipo de varilla anti-giro
Doble efecto con vástago simple
Diámetros de 10 mm a 16mm
(Página 63 de 84 a la 66 de 84)
<http://www.smc.com.mx/digital-catalog/docs/actuator/standard/CJ2.pdf#page=63>
 - Actuador lineal neumático
Marca SMC
Series CM2RK
Montaje directo
Tipo de varilla anti-giro
Doble efecto con vástago simple
Diámetros de 20 mm, 25mm, 32mm y 40mm
(Página 68 de 93 a la 72 de 93)
<http://www.smc.com.mx/digital-catalog/docs/actuator/standard/CM2.pdf#page=68>

- 11.- Catálogo de actuador rotativo neumático para la base del par de actuadores lineales neumáticos Serie 6410 Marca “PNEUMAX”
http://www.hellopro.es/PNEUMAX_S_A_-5690-noprofil-2003446-9117-0-1-1-fr-societe.html
http://www.pneumax.it/change_language.asp?COD_LINGUA=ESP&URL=/module.asp&QUERY=COD_SEZ=SEZHME&COD_MOD=EDTLTE
<http://www.pneumax.it/ENG/Default.aspx>
<http://www.pneumax.it/ENG/Default.aspx?MOD=CTG&SEZ=2&PAG=3&CAT=515&PRD=358>
- 12.- Especificaciones del compresor neumático OF302-4B Marca “JUN – AIR”
http://www.jun-air.com/catalogs/compressors_spanish.pdf
http://www.jun-air.com/product_detail.aspx?ProductID=567&ProductTypeID=49
http://www.equipnet.com/junair-model-of302-4b-portable-oil-less-lab-compressor_listid_326026/
http://www.jun-air.com/support_documents/OF302-4B.pdf
- 13.- Catálogos para el PLC Marca “DELTA”
<http://www.mecmod.com/fitxa.asp?id=335>
<http://www.mecmod.com/fotos/335/DeltaDVP-S.pdf>
<http://www.mecmod.com/fitxa.asp?id=337>
http://www.mecmod.com/fotos/337/ES_EX%20Instruction%20Sheet-20060704.pdf