

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

REPORTE DEL PROYECTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

PROYECTO: DISEÑO DEL DISPOSITIVO DE EXTRACCIÓN DE BOTELLAS DE PLÁSTICO DE 3000ML (PET) DEL CONTENIDOR DE ALMACENAMIENTO.

EMPRESA: ALPLA TRADING, S.A de C.V

CARRERA: INGENIERIA MECANICA

NOMBRE DEL ALUMNO: DANIEL GUMETA SARMIENTO.

NUM. DE CONTROL: 10270227

ASESOR INTERNO: M.C. JUAN CARLOS NIÑOS TORRES.

ASESOR EXTERNO: ING. JOSE ANGEL BAUTISTA MENESES.

REVISOR 1: DR. ROBERTO CARLOS GARCÍA GÓMEZ.

REVISOR 2: M.C. IGNACIO ARRIJOJA CÁRDENAS.

PERIODO: ENERO-JULIO 2014.

INDICE

1. ASPECTOS GENERALES.....	3
1.1 INTRODUCCIÓN	3
1.2 JUSTIFICACIÓN	5
1.3 OBJETIVOS.....	7
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	7
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	7
1.4 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE SE PARTICIPO	8
1.4.1 MISIÓN	8
1.4.2 VISIÓN.....	8
1.4.3 POLITICAS	8
1.4.4 JORNADA LABORAL	11
1.4.5 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA	12
1.4.6 UBICACIÓN GEOGRAFICA.	13
1.4.7 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DONDE SE RALIZO EL PROYECTO.....	14
1.4.8 ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA.....	18
1.5 PROBLEMAS A RESOLVER	19
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	20
2 MARCO TEORICO.....	21
2.1 EL PET	21
2.1.1 ¿Qué es el PET?.....	21
2.1.2 HISTORIA DEL PET.....	21
2.2 NEUMÁTICA.....	22
2.2.1 Ventajas y desventajas de la neumática	24
2.2.2 Tendencias actuales de la neumática.....	24
2.3 AIRE COMPRIMIDO COMO PORTADOR DE ENERGÍA, GENERACIÓN, PREPARACIÓN Y DISTRIBUCIÓN.....	25
2.3.1 Preparación del aire comprimido	26
2.3.2 Obtención de aire comprimido	26
2.3.3 Generación de aire comprimido; concepto y definiciones.....	26
2.3.4 Generación de aire comprimido: tipos de compresores	27
2.3.4.1 Compresores de émbolo alternativo de una etapa	27
2.3.4.2 Compresores de émbolo de varias etapas.....	28
2.3.4.3 Compresores de tornillo	28
2.3.4.4 Compresores de paletas múltiples.....	29
2.3.4.5 Compresores roots	29
2.3.4.6 Compresor axial	30
2.3.4.7 Compresores radiales	30
2.3.5 Instalaciones de aire comprimido.....	31
2.3.6 Tratamiento de aire comprimido.....	32
2.3.6.1 Filtro.....	32
2.3.6.2 Regulador de presión.....	32
2.3.6.3 Lubricador	33

2.4 ELECTRONEUMÁTICA	33
2.4.1 Dispositivos eléctricos.....	34
2.4.1.1 Elementos de retención	34
2.4.1.2 Relevadores o relés.....	34
2.4.1.3 Válvulas electroneumáticas	36
2.5 COMPUERTAS LÓGICAS	36
2.5.1 Compuertas AND	37
2.6 TOBERAS Y DIFUSORES	38
2.7 FLUJO COMPRESIBLE.....	39
2.6.1 Propiedades de estancamiento.	39
2.6.2 Velocidad del sonido y número de Mach.....	43
2.6.3 Flujo isentrópico unidimensional.....	46
2.6.3.1 Variación de la velocidad de fluido con el área de flujo.....	47
2.6.3.2 Relaciones de propiedades de flujo isentrópico de gas ideal	50
3 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS	53
3.1 INSPECCIÓN DEL SITIO O ZONA	53
3.2 DEFINIR LA PROBLEMÁTICA	54
3.3 DOCUMENTAR EL PROBLEMA (ESTADO DEL ARTE)	55
3.4 BOSQUEJO DEL DISPOSITIVO	55
3.4.1 Descripción del dispositivo.....	56
3.5 MEMORIA DE CÁLCULO	58
4 RESULTADOS (PLANOS, GRAFICAS, PROTOTIPOS)	60
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
5.1 CONCLUSIONES.....	61
5.2 RECOMENDACIONES	62
6 BIBLIOGRAFIA.....	63
ANEXOS.....	64

1. ASPECTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCIÓN

Desde finales del siglo XX el ser humano ha implantado en fábricas, empresas, centros de producción, etc. diversos tipos de mecanismos para llegar a la automatización, la solución de problemas y la implantación de sistemas neumáticos que aporten en el control de procesos, en la producción en serie, y en la eficiencia de trabajo.

El presente proyecto expone, el diseño y análisis de un dispositivo que tiene como finalidad resolver un problema determinado, el cual se ha tenido durante la producción de botellas de plástico PET de 3000 ml.

En este proyecto se describirán las actividades que se realizaron en la empresa para poder dar la mejor propuesta que de solución al problema de la manera más eficiente y evitando gastos excesivos a la empresa, el diseño del dispositivo que dará solución al problema con las especificaciones requeridas y el análisis requerido para obtener la mayor eficiencia del dispositivo a implementar.

Las principales características del dispositivo son, su funcionamiento automático al resolver el problema, verificando si ocurre o no las obstrucciones en la salida de los silos de almacenamiento y reaccionando si en verdad ocurrió el problema, así los trabajadores que están a cargo de la producción tendrán menos contacto con el producto, este dispositivo no deberá reducir la calidad del producto a consecuencia de su funcionamiento y al mismo tiempo se evitara la contaminación del producto.

El proyecto consiste en reducir las obstrucciones de botella en las salidas de los silos obteniendo beneficios al implementar este proyecto en la higiene y calidad del producto, 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 “Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios”.

Para el diseño del siguiente se aplicaron los conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería Mecánica, aplicando las siguientes materias: CIRCUITOS HIDRÁULICOS Y NEUMÁTICOS,

DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA, ELECTRÓNICA, TERMODINÁMICA MECANICA DE FLUIDOS, etc. solo por mencionar algunas de ellas.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El presente estudio se realiza con la finalidad de obtener un diseño más adecuado de un dispositivo que mejore y haga más eficiente el proceso de fabricación de botellas de plásticos (PET).

El proyecto se me fue asignado debido a este problema que se ha tenido desde hace mucho tiempo en la fábrica, al extraer las botellas de plástico de 3000ml de los silos de almacenamiento ocurre una obstrucción debido a que las botellas se acumulan en la salida con una frecuencia de 1 a 5 veces por cada 10 minutos y el operador de producción quien es encargado de estas zonas, tiene que descuidar el área de producción para poder trasladarse al área de almacenamiento, al llegar ahí tiene que abrir la puerta de los silos en el menor tiempo posible para poder desatorar las botellas de manera manual con un tubo de aluminio y así continuar con el envío a de botellas al cliente, de lo contrario la máquina de llenado del cliente para su producción y este empieza a contar el tiempo que dura sin que le envíen botellas, esto provoca tiempos muertos, lo cual son sanciones para la empresa y el operador deberá llenar unos formatos donde redacta el motivo del cual se provoco los tiempos muertos para llevar un registro y tratar de evitar estos problemas en la empresa. Este dispositivo evitara el atascamiento de botellas en la salida de los silos de almacenamiento al descargarlos de manera automática.

Con esta implementación el operador no tendrá que descuidar el área de producción, ni el personal de la planta tendrá que dejar sus labores por estar al pendiente de los silos, ni tendrán que trasladarse a esta zona, también se evitara los tiempos muertos ya que no se interrumpirá la extracción de botellas, ni el paro de la máquina de llenado, lo cual beneficiara a la empresa al no tener reclamaciones de parte del cliente, también se reducirá el contacto del operador con el producto para evitar contaminación ya que el fluido de trabajo esta previamente tratado y sin humedad.

El presente proyecto consiste en diseñar un dispositivo que evite el atascamiento de botellas de manera automática. Para lograr este objetivo se seleccionaran y utilizaran elementos de diseño y automatización para este trabajo. Utilizando un reductor de presión para ajustar la presión de aire requerido para mover las botellas pero sin dañar las mismas y este trabaje de la manera más óptima, también se utilizaran los sensores preinstalados en los silos para controlar el funcionamiento de una electroválvula. El sensor al detectar que las botellas se atascaron, mandara

una señal a la electroválvula la cual alimentara la bobina y esta se activara dando paso a un chorro de aire que moverá las botellas y de ese modo desatorarla.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar un dispositivo que evite el atascamiento de botellas de plástico (PET) de 3000ml en la extracción del almacén de forma automática mejorando la eficiencia del proceso de fabricación, utilizando energía neumática, fundamentándose en el uso de la ingeniería mecánica y sus aplicaciones, tales como el diseño mecánico y la automatización, así como también satisfacer y cubrir las necesidades de nuestro cliente, con un diseño de gran calidad y a un bajo costo.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Inspeccionar la zona para detectar las causas por el cual surge el atascamiento de botellas en la salida de los silos de almacenamiento.
- Analizar y verificar el efecto que produce este problema en la producción de botellas plásticas de 3000ml.
- Buscar en bibliografías físicas y virtuales existentes los cuales estén relacionados con el funcionamiento de los silos de almacenamiento e información útil y necesaria para el diseño e implementación del proyecto.
- Realizar el bosquejo del dispositivo en Solid Works que de solución a la problemática.
- Realizar una memoria de cálculo para poder lograr el óptimo funcionamiento del dispositivo en la producción.
- Analizar los beneficios que se obtienen al implementar el dispositivo a la empresa.
- Determinar el máximo de botellas a almacenar en los silos para tener una mejor eficiencia en la producción.
- Analizar el dispositivo y seleccionar el mejor diseño para evitar que el producto sufra algún daño y reduzca su calidad.
- Dar a conocer los beneficios que obtiene la empresa y el área de trabajo al ser implementado este dispositivo.

1.4 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE SE PARTICIPO

1.4.1 MISIÓN

Creamos soluciones de empaque de plástico que satisfacen en forma óptima las necesidades de nuestros clientes.

1.4.2 VISIÓN

Ser líder tanto en el mercado global como en nuestras tecnologías.

1.4.3 POLITICAS

1.4.3.1 CÓDIGO DE CONDUCTA

- Visión común: Comprendemos las bases de nuestro desempeño, mejoras y decisiones a largo plazo.
- Honestidad e integridad: Asumimos con responsabilidad nuestros actos.
- Diversidad con orientación global: Respetamos y aceptamos las diferencias entre las personas.
- Responsabilidad social: Cumplimos con las normas, usamos e implementamos los recursos y oportunidades de reciclado.
- Comunicación: Escuchamos y atendemos el mensaje de los demás. damos mensajes claros y efectivos. Aceptamos opiniones diferentes que enriquecen nuestro punto de vista.

1.4.3.2 POLITICA DE CALIDAD

- Garantizamos que nuestro sistema de gestión de calidad corresponde a la demanda de nuestros clientes.
- Cumplimos con la norma internacional ISO 9001 y las disposiciones legales.

- Formamos y entrenamos a nuestros empleados para que pongan en práctica nuestros principios de calidad.
- Comprobamos con regularidad nuestros exigentes y cuantificables objetivos de calidad
- Supervisamos nuestros procesos y productos para cumplir con las expectativas de nuestros clientes en cuanto a las soluciones de embalaje de plástico.
- Mejoramos de forma continuada nuestro sistema de gestión de calidad para lograr un éxito sostenible.

1.4.3.3 POLÍTICA DE SEGURIDAD ALIMENTARIA

- Garantizamos que nuestro sistema de gestión de la seguridad alimentaria corresponde a la demanda de nuestros clientes.
- Cumplimos con la norma internacional FSSC 22000 y las disposiciones legales.
- Formamos y entrenamos a nuestros empleados para que pongan en práctica nuestros principios de seguridad alimentaria.
- Comprobamos con regularidad nuestros exigentes y cuantificables objetivos de seguridad alimentaria.
- Hemos desarrollado e implementado un plan HACCP, con el que gestionamos los programas necesarios a fin de cumplir con los requisitos de los embalajes alimentarios en la cadena de suministros.
- Garantizamos que existe suficiente información en la cadena de suministros acerca de nuestros envases de plástico que afectan a la seguridad alimentaria.
- Mejoramos de forma continua nuestro sistema de gestión de la seguridad alimentaria para lograr un éxito sostenible.

1.4.3.4 POLÍTICA ENERGETICA

- Garantizamos que nuestro sistema de gestión energética corresponde a la demanda de nuestros clientes.
- Cumplimos con la norma internacional ISO 50001 y las disposiciones legales.

- Reducimos de forma constante el consumo de energía a través de un uso eficaz de los recursos naturales.
- Mejoramos de forma continua nuestro sistema de gestión energética para lograr un éxito sostenible.

1.4.3.5 POLÍTICA MEDIO AMBIENTAL

- Garantizamos que nuestro sistema de gestión medioambiental corresponde a la demanda de nuestros clientes.
- Cumplimos con la norma internacional ISO 14001 y las disposiciones legales.
- Nuestra intención es reducir el impacto ambiental de nuestras instalaciones y productos.
- Mejoramos de forma continua nuestro sistema de gestión medioambiental para lograr un éxito sostenible.

1.4.3.6 POLÍTICA SANITARIA Y DE SEGURIDAD LABORAL

- Garantizamos que nuestro sistema de gestión sanitaria y de seguridad laboral corresponde a la demanda de nuestros clientes.
- Cumplimos con la norma internacional OHSAS 18001 y las disposiciones legales.
- Investigamos de forma regular los aspectos OHSAS y derivamos de ellos los objetivos adecuados.

1.4.4 JORNADA LABORAL

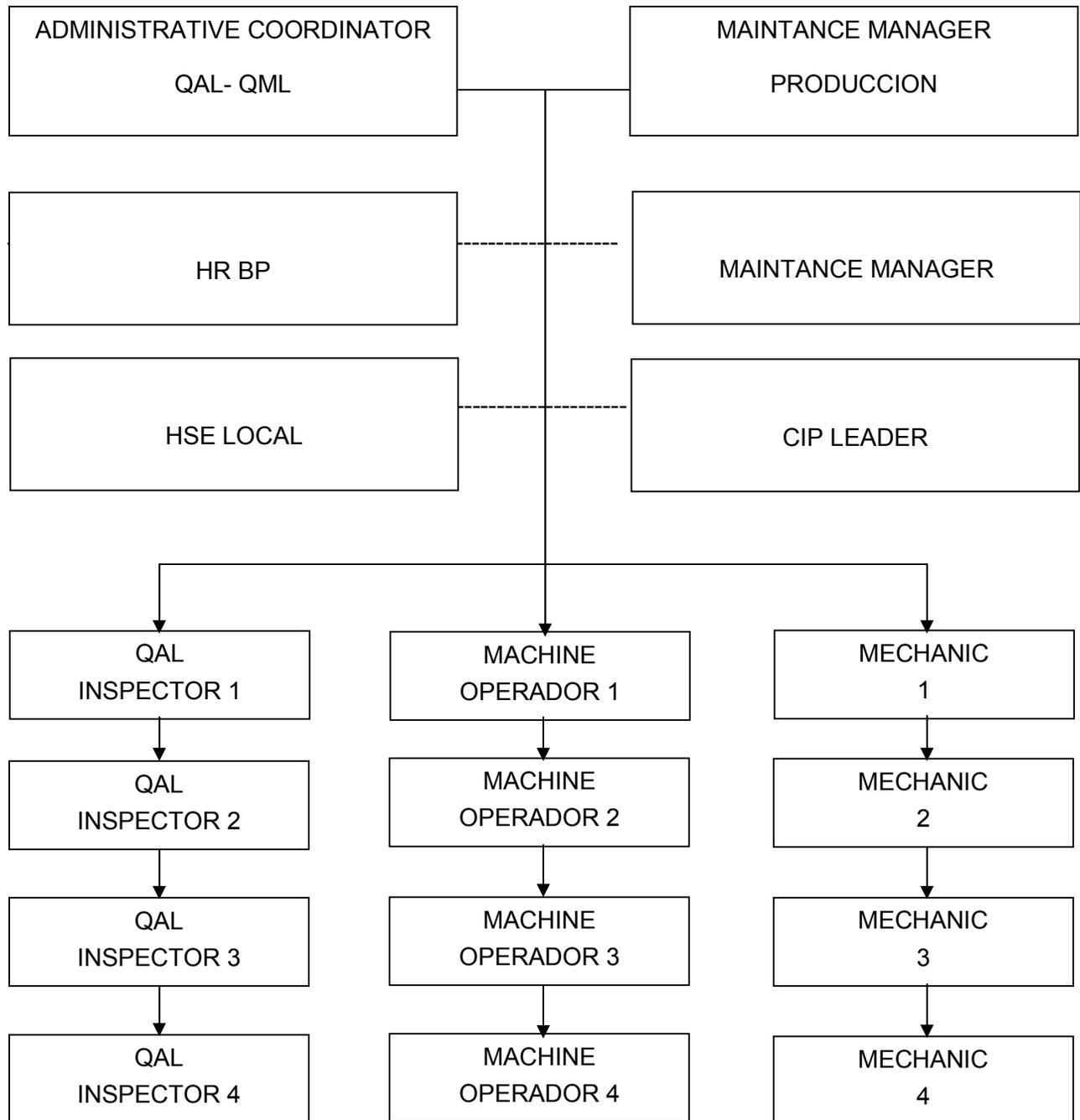
Se presenta la jornada laboral de la empresa donde se realizó el proyecto, la cual labora las 24 horas del día, los 365 días del año. Las 24 horas del día son cubiertas por dos turnos, cada turno tiene una jornada laboral de 12 horas diarias, el primer turno labora de 06:30 horas a 18:30 horas; el segundo turno labora de 18:30 horas a 06:30 horas. Cabe mencionar que la empresa se encuentra integrada por cuatro equipos de trabajo (A, B, C, D) cada grupo se integra por 3 ingenieros (un Inspector de calidad, un operador de máquina y un mecánico), estos grupos van rotando de turno en el transcurso de cada mes para así intercambiar días y turnos de trabajo.

mar-14						
DOMINGO	LUNES	MARTE	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO
						1
						A
						B
2	3	4	5	6	7	8
A	A	C	C	A	A	C
B	B	D	D	B	B	D
9	10	11	12	13	14	15
C	C	A	A	C	C	A
D	D	B	B	D	D	B
16	17	18	19	20	21	22
A	A	C	C	A	A	C
B	B	D	D	B	B	D
23	24	25	26	27	28	29
C	C	A	A	C	C	A
D	D	B	B	D	D	B
30	31					
A	A					
B	B					

TABLA 1.- Ejemplo de un mes de labores de la planta donde se ve que todos los días, la planta trabaja y al siguiente mes los del turno nocturno pasan al turno matutino y los del turno matutino pasan al nocturno.

1.4.5 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA

De acuerdo con el organigrama es como está la distribución del personal que labora dentro la empresa.



1.4.6 UBICACIÓN GEOGRAFICA.

La empresa donde se realizó este proyecto está dentro de las instalaciones de la empresa refresquera FEMSA COCA-COLA COMPANY, ubicada en el periférico nor-poniente número 89 explanada san Felipe, en la ciudad de San Cristóbal de las casas; Chiapas. La figura 1 muestra la localización de la empresa.

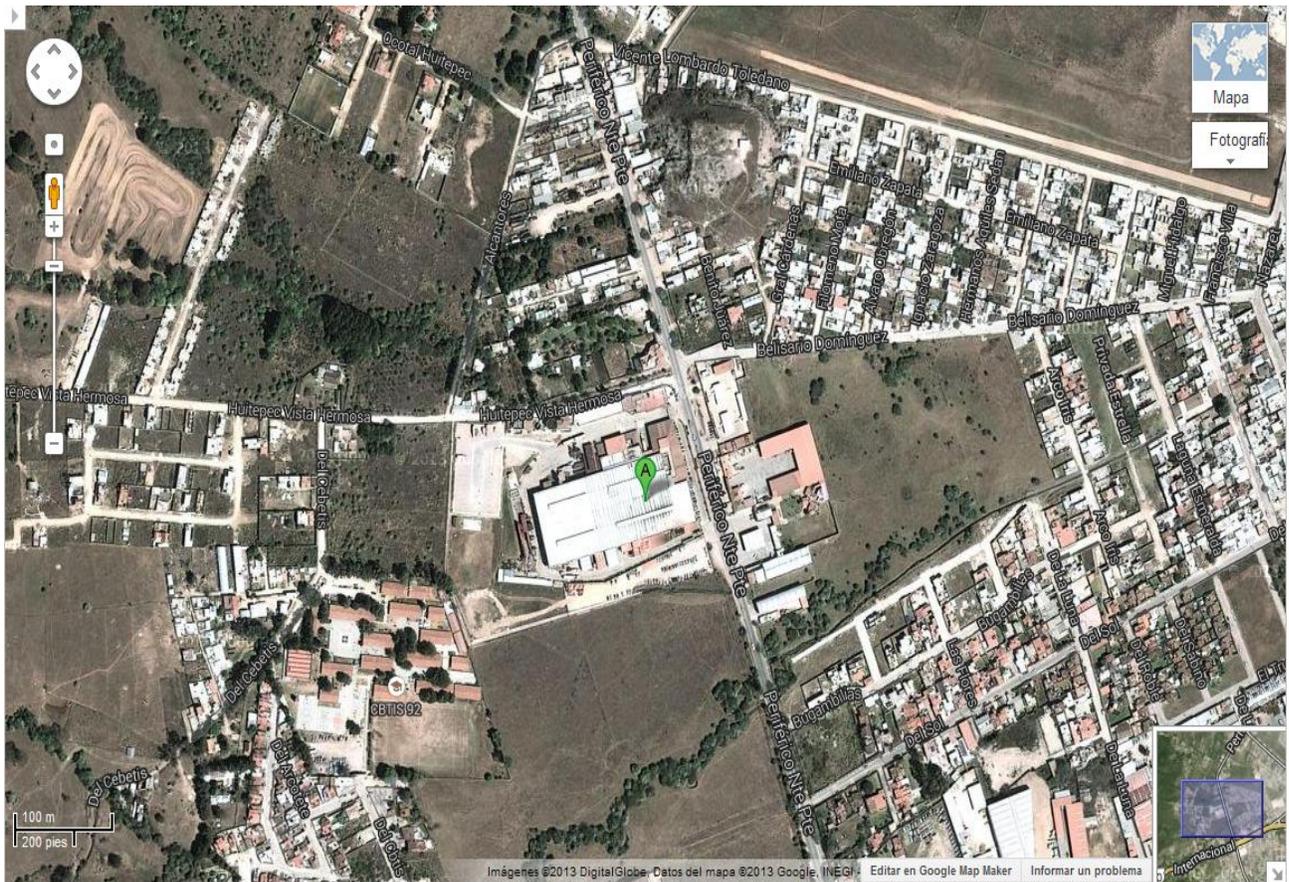


Fig. 1.- Fotografía satelital que muestra la ubicación de FEMSA.

1.4.7 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DONDE SE REALIZO EL PROYECTO

El área donde se realizó el proyecto es en la parte de almacenamiento de las botellas de plástico llamados silos de donde son extraídas para después pasar a una máquina que las posiciona de manera vertical luego ser enviadas al cliente.

A continuación daré a conocer una breve explicación sobre el proceso de producción botellas.

El proceso inicia cuando las preformas (fig. 2) son ingresadas a la tolva de alimentación (fig. 2) por medio de un sistema hidráulico la cual levanta el contenedor de preformas, al ser ingresadas estas son transportadas por medio de una banda elevadora de preforma (fig. 2) que las eleva,

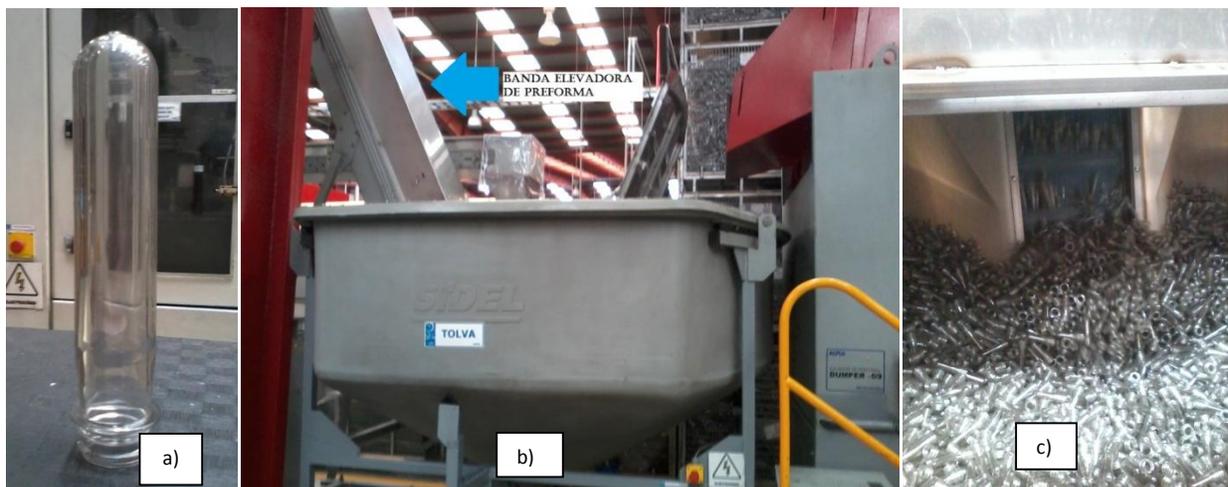


Fig. 2.- a) Imagen de una preforma para botella de 3000ml. b) Vista exterior de la tolva donde se muestra la banda elevadora de preforma. c) Vista interior de la tolva.

las lleva a unos rodillos orientadores (fig.3), estos rodillos se mantienen girando, los cuales acomodan la preforma de manera vertical para luego deslizarse utilizando la fuerza de gravedad al riel de alimentación mejor conocido en la empresa como carrillera (fig.3) hasta entrar a la máquina sopladora SIDEL SBO-18 SERIE II (fig.3).

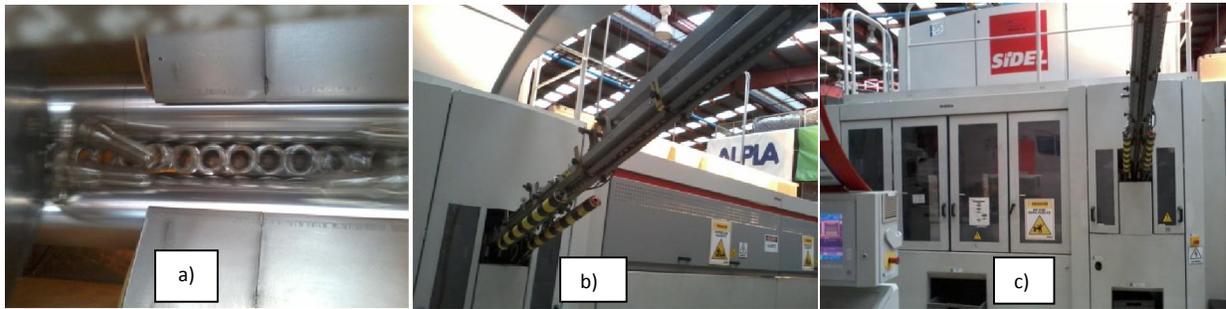


Fig. 3.- a) Se muestra los rodillos los cuales acomodan a las preformas. b) Riel de alimentación para la SIDEL el cual muestra como van colocadas las preformas. c) Vista frontal de la maquina sopladora SIDEL.

Al ingresar la preforma a la máquina de soplado SIDEL por medio de la carrillera, pasa a un plato de alimentación donde es separada y sujeta, colocándola en una banda conocida como cadena de túnelas (fig.4) la cual las hace pasar hacia los hornos donde las preformas son calentadas por medio de unas lámparas infrarrojas (fig.5) a una temperatura aproximada de 80 a 120°C dependiendo del proceso para volverlas maleables y poder darle la forma requerida,

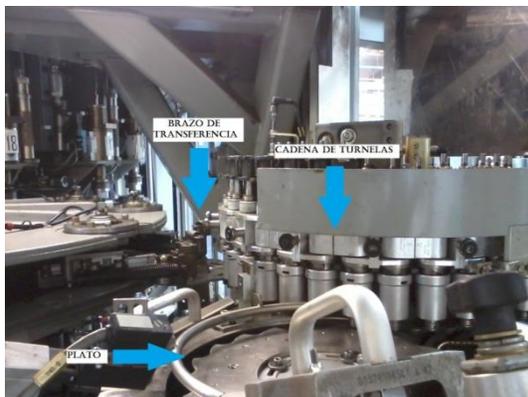


Fig. 4.- Parte inicial de la maquina SIDEL donde se muestra el plato de alimentación, la cadena de túnelas y el brazo de transferencia.



Fig. 5.- Vista superior del horno el cual calienta las preformas mediante unas lámparas infrarrojas.

al salir del horno, pasa de nuevo al plato donde esta las envía a una rueda de transferencia de preformas, toma a la preforma por medio de un brazo de transferencia (fig.4) la cual sujeta la entre la corona y el cuerpo, posicionando a la preforma en los moldes que tiene la forma de la botella deseada, al estar la preforma en los moldes, es pre-soplada, estirada mediante una varilla de

metal para que adquiriera el tamaño correcto y soplada para que adquiriera la forma de la botella (fig.6),

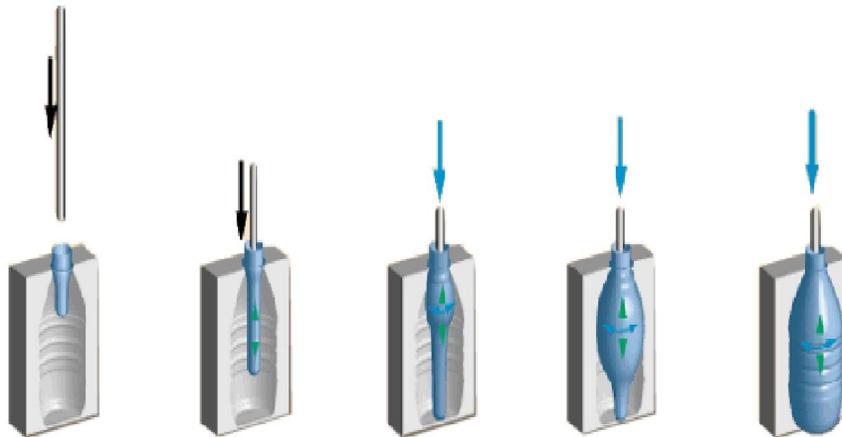


Fig. 6.- Proceso de pre-soplado, estirado y soplado de preformas.

al completarse este proceso, la botella pasa a otra rueda de transferencia donde es tomada por un brazo, de la misma manera que a la preforma y la coloca en un riel donde la botella es movida por una rueda (fig.7),

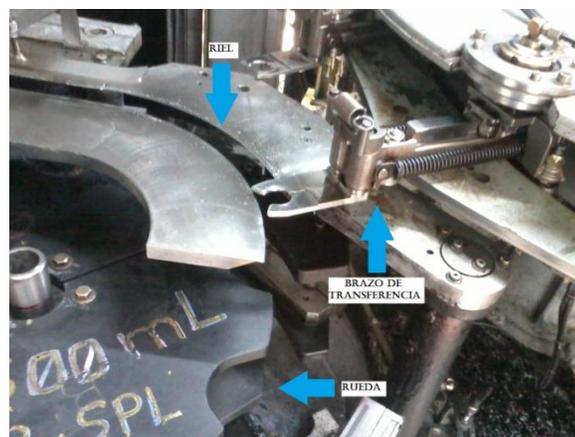


Fig. 7.- Salida de la maquina SIDEL donde se muestra el brazo de transferencia, la rueda posicionadora y el riel.

al pasar en este paso es enfriada la parte de la base de la botella mediante chorros de agua que salen de una flauta y al enfriarse son colocadas en la banda transportadora M1 (fig. 8), donde las bandas transportadoras M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8 y M9 (ANEXO 1) se encargan de llevar

las botellas a los dos silos de almacenamiento (fig. 9), dependiendo de qué silo este en la opción de cargo silo se le depositaran las botellas, se activaran dos aspersores que se encuentran en cada uno de los silos, A1 y A2 para el silo 1, A3 y A4 para el silo 2 los cuales empujaran las botellas por medio de un flujo de aire para que caigan asía el silo correspondiente, al acumularse las botellas se activa la opción de descargar silos y dependiendo de qué silo se vaya a descargar se activaran las bandas.



Fig. 8.- Banda transportadora M1 la cual está a la salida de maquina SIDEL.

Para el silo 1 las bandas son la M11, M12 y M13, para el silo dos las bandas son M14, M15 y M16, las cuales dejan caer las botellas a las banda M10 (ANEXO 2) y esta llevan las botellas a una maquina que las posiciona de manera vertical y las envía a un transportador aéreo (fig.11), que por medio de un chorros de aire deslizan la botella en un riel y esta pasa a la maquina llenadora la cual pertenece al cliente.



Fig. 9.- Vista frontal del silo de almacenamiento 1.



Fig. 10.- Salida de la maquina posicionadora de botellas.



Fig. 11.- transportador aéreo con el cual se envía botellas al cliente.

1.4.8 ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA

Estos son los acontecimientos que han surgido en el tiempo que se ha producido este tipo de botellas y durante mi estancia en la empresa, que dan origen a que se realice este proyecto para beneficio de la misma.

- Durante los últimos años se ha producido la botella de plástico de 3000ml., las cuales se ha almacenado en los silos y al requerir de esas botellas se ha tenido el problema del atoramiento en las salidas, esto lleva a utilizar a los operadores un tubo de aluminio para poder desatorar las botellas, este problema afecta a la producción y es hasta estos días que la empresa ha decidido dar solución a ese problema.
- El 2 de febrero del 2014 se tuvo un problema con la banda elevadora de preforma la cual se amarro y no enviaba preformas a la maquina SIDEL y esta al no recibir paro su producción, esto llevo a descargar los silos para no dejar de enviar producto al cliente, mientras se resolvía el problema se tenía que estar al pendiente de que las botellas no se llegaran a atorar en la salida de los silos.
- El 13 de mayo del 2014 se producía la botella de 3000 ml. y de pronto ocurre una falla en la maquina SIDEL en la cual el mecánico solicitaba la ayuda de el encargado de producción y el supervisor de calidad, pero debido a que los silos se estaban descargando, el encargado de producción no pudo ayudar ya que tenía que estar al pendiente a que las botellas no se atoraran y no dejar de mandar producto al cliente mientras resolvían la falla.
- En ocasiones cuando el encargado de producción faltaba, el mecánico ocupaba su lugar para que la producción no se viera afectada, el inconveniente de solo tener a dos personas

que se encarguen de la producción es que si surgía algún fallo o problema, uno tenía que ir a vigilar a los silos para ver que las botellas no se atoraran mientras que el otro resuelve el problema llevándose más tiempo de lo normal debido a que no cuenta con ninguna ayuda.

1.5 PROBLEMAS A RESOLVER

A continuación se presentan los problemas a resolver en forma de puntos tomando en consideración las causas por el cual se tiene la necesidad de realizar este proyecto.

- Evitar que las botellas de plástico se atoren en los silos de almacenamiento al estar en la opción de descargo silo, debido a la acumulación de botellas en las salidas.
- Evitar que las botellas de plástico se atoren en los silos de almacenamiento debido a la estática que generan, la cual hace que mantengan unidas y provoquen una obstrucción.
- Eliminar los tiempos muertos que genera la empresa con el cliente debido al atoramiento de las botellas en los silos de almacenamiento.
- Reducir el contacto de las botellas de plástico con el operador al tratar de quitar la obstrucción en la salida de los silos de almacenamiento.
- Evitar la posible contaminación del producto debido a que utilizan un tubo de aluminio para desatorar las botellas que se acumulan en la salida de los silos.
- Evitar que el operador descuide el puesto de producción al tener que ir a los silos de almacenamiento lo más pronto posible a desatorar las botellas.
- Eliminar el recorrido que hace el operador para llegar a los silos de almacenamiento para desatorar la botella.
- Realizar un diseño lo mas posiblemente economico, rapido y eficiente, ademas de que resuelva la mayoría o la totalidad de los problemas antes mencionados.
- Que dicho diseño pueda ser construido y puesto en marcha en el interior de la planta y ademas que este se realice por el personal interno que labora en la planta.

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

Para el desarrollo del siguiente proyecto se realizaron una serie de inspecciones en la zona del problema y levantamientos de medidas contando con el apoyo del personal de la planta, así como de su conocimiento para la realización de dichas actividades.

Durante la producción de la planta se analiza la parte de almacenamiento donde ocurre la extracción de botellas de los silos, se observó todo el proceso desde que se activan las bandas, las cuales extraen las botellas, hasta que las botellas pasan a la máquina posicionadora y son enviadas al cliente, pero se puso la mayor atención posible en la parte de la salida de los silos, donde ocurre el problema de la obstrucción de botellas, estas observaciones se realizaron en conjunto con el personal de la planta, principalmente con los mecánicos de mantenimiento y los operadores de máquina, como también se contó con su apoyo, conocimiento y experiencia, ya que fueron de gran ayuda para la comprensión, análisis y solución de los problemas que se presentaran.

También se observó que este proyecto no solo puede ser aplicado a la botella de 3000ml, si no también a las presentaciones de 2500ml y 2000ml, aunque no son muy frecuentes las obstrucciones también son causa de tiempos muertos que perjudican a la empresa.

Cabe destacar que toda la información solicitada para la realización del presente proyecto, como lo son manuales de funcionamiento, diagramas, gráficas, datos técnicos, etc. fue proporcionada sin ningún inconveniente por el jefe de mantenimiento y demás personal de la planta.

Con respecto al tiempo se tuvo la limitación de que las mediciones y dimensionamiento solo se podían realizar durante los días de mantenimiento, algún paro por falla o cambios de turno, motivos por el cual se dificultó en cumplir correctamente lo establecido en el cronograma de actividades.

2 MARCO TEORICO

2.1 EL PET

2.1.1 ¿Qué es el PET?

El PET es un tipo de materia prima plástica derivada del petróleo, correspondiendo su fórmula a la de un poliéster aromático. Su denominación técnica es Polietilén Tereftalato o Politereftalato de etileno. Empezó a ser utilizado como materia prima en fibras para la industria textil y la producción de films

Es el polímero para el cual los fabricantes de máquinas internacionales han dedicado el mayor esfuerzo técnico y comercial. Efectivamente, los constructores han diseñado ex profeso y con inversiones cuantiosas, equipos y líneas completas perfectamente adaptadas a los parámetros de transformación del PET, cuya disponibilidad accesible a todos los embotelladores, unida a la adecuada comercialización de la materia prima, permitió la expansión de su uso en todo el mundo.

2.1.2 HISTORIA DEL PET

El descubrimiento del tereftalato de polietileno, mejor conocido como PET, fue patentado como un polímero para fibra por J. Whinfield y J.T, Dickson que investigaron los poliésteres termoplásticos en los laboratorios de la Asociación Calicó Printers durante el periodo de 1939 a 1941.

Hasta 1939, este terreno era el gran desconocido pero a partir de ese año existía la suficiente evidencia acumulada favoreciendo la teoría que la micro-cristalinidad era esencial para la formación de fibras sintéticas fuertes.

La producción comercial de fibra de poliéster comenzó en 1955; desde entonces, el PET ha presentado un continuo desarrollo tecnológico hasta lograr un alto nivel de sofisticación basado en el espectacular crecimiento del producto a nivel mundial y la diversificación de sus posibilidades.

A partir de 1976, se le usa para la fabricación de envases ligeros, transparentes y resistentes principalmente para bebidas. Sin embargo, el PET ha tenido un desarrollo extraordinario para

empaques. En México, se comenzó a utilizar para este fin a mediados de la década de los ochenta.

Los primeros envases de PET aparecen en el mercado alrededor del año 1977 y desde su inicio hasta nuestros días el envase ha supuesto una revolución en el mercado y se ha convertido en el envase ideal para la distribución moderna.

Por esta razón el tereftalato de polietileno se ha convertido hoy en el envase más utilizado en el mercado de la bebidas refrescantes, aguas minerales, aceite comestible y detergentes; también bandejas termoformadas, envases de salsas, farmacia, cosmética, licores, etc.[1]

2.2 Neumática

La palabra neumática se refiere al estudio del movimiento del aire y así en sus comienzos el hombre utilizó el viento en la navegación y en el uso de los molinos para moler grano y bombear agua. En 1868 George Westinghouse fabricó un freno de aire que revolucionó la seguridad en el transporte ferroviario. Es a partir de 1950 que la neumática se desarrolla ampliamente en la industria con el desarrollo paralelo de los sensores.

Los sistemas de aire comprimido proporcionan un movimiento controlado con el empleo de cilindros y motores neumáticos y se aplican en herramientas, válvulas de control y posicionadores, martillos neumáticos, pistolas para pintar, motores neumáticos, sistemas de empaquetado, elevadores, herramientas de impacto, prensas neumáticas, robots industriales, vibradores, frenos neumáticos, etc.

Las ventajas que presenta el uso de la neumática son el bajo coste de sus componentes, su facilidad de diseño e implementación y el bajo par o la fuerza escasa que puede desarrollar a las bajas presiones con que trabaja (típico 6 bar) lo que constituye un factor de seguridad. Otras características favorables son el riesgo nulo de explosión, su conversión fácil al movimiento giratorio así como al lineal, la posibilidad de transmitir energía a grandes distancias, una construcción y mantenimiento fáciles y la economía en las aplicaciones.

Entre las desventajas figura la imposibilidad de obtener velocidades estables debido a la compresibilidad del aire, los altos costes de la energía neumática y las posibles fugas que reducen el rendimiento.

La neumática precisa de una estación de generación y preparación del aire comprimido formada por un compresor de aire, un depósito, un sistema de preparación del aire (filtro, lubricador y regulador de presión), una red de tuberías para llegar al utilizador y un conjunto de preparación del aire para cada dispositivo neumático individual (Fig. 12).

Los sistemas neumáticos se complementan con los eléctricos y electrónicos lo que les permite obtener un alto grado de sofisticación y flexibilidad. Utilizan válvulas solenoide, señales de realimentación de interruptores magnéticos, sensores e interruptores eléctricos de final de carrera. El PLC (programmable logic controller) les permite programar la lógica de funcionamiento de un cilindro o de un conjunto de cilindros realizando una tarea específica.

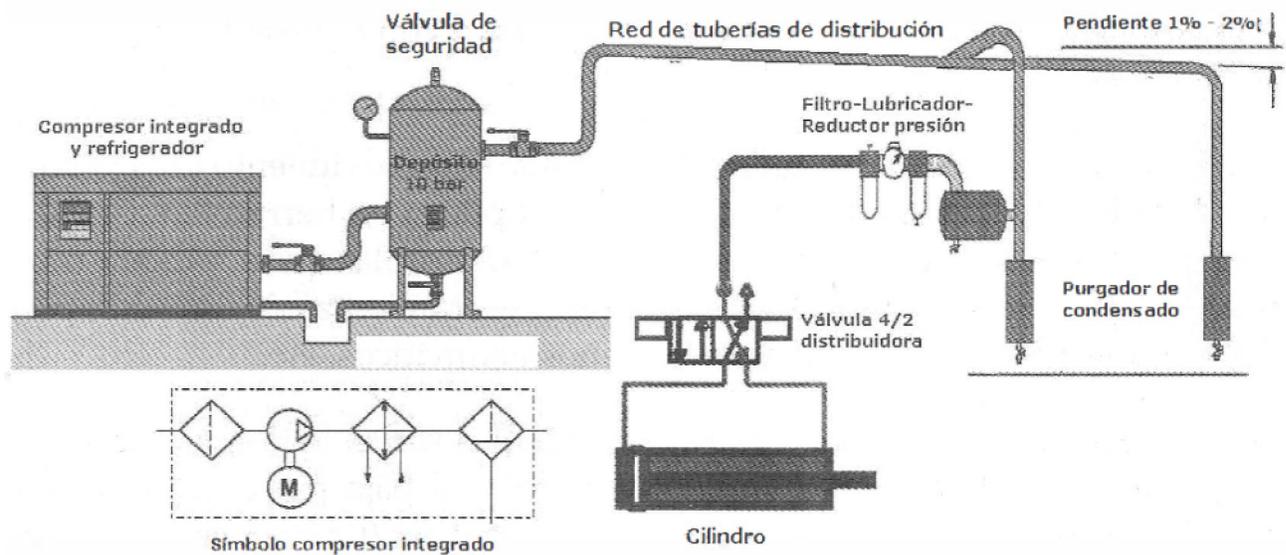


Fig. 12.- Preparación del aire.

En determinadas aplicaciones, tales como en movimientos de aproximación rápido y avance lento, típicos de las fresadoras y rectificadoras, en la sujeción de piezas utilizada en los cortes a alta velocidad sobre materiales duros y en la automatización de procesos de producción, se combinan la neumática y la hidráulica en un circuito oleoneumático, utilizando la parte neumática para el accionamiento y control parte hidráulica para el actuador. [2]

2.2.1 Ventajas y desventajas de la neumática

"La neumática es una fuente de energía de fácil obtención y tratamiento para el control de máquinas y otros elementos sometidos a movimientos" [3] lo cual ha motivado a varias de las industrias a implementar dicha tecnología en algunos de sus procesos.

La neumática ofrece en la industria ventajas de operación considerables en la elaboración de sus productos tales como: disponibilidad, compresibilidad y mantenimiento fácil del aire, facilidad de transporte, es a prueba de incendios y explosiones y es de fácil control [3]. La fuerza neumática puede realizar muchas funciones mejor y más rápidamente, de forma más regular y sobre todo durante más tiempo sin sufrir los efectos de la fatiga. Se considera que los circuitos neumáticos son sencillos, de fácil instalación y aplicación en la industria. Esta tecnología tiene su ventaja más importante en la flexibilidad y variedad de aplicaciones en casi todas las ramas de la producción industrial.

La neumática tiene como deficiencia que en circuitos muy extensos se producen pérdidas de cargas considerables, generando altos niveles de ruidos producidos por la descarga del aire hacia la atmósfera, las presiones a las que trabajan normalmente no permiten aplicar grandes fuerzas, no cuenta con mucha potencia y exactitud en sus operaciones; aún así es un excelente medio y tal vez la mejor opción, dependiendo de las características del trabajo, para suministrar energía.

2.2.2 Tendencias actuales de la neumática

En la actualidad las tendencias actuales de manejo de la neumática están dirigidas a la construcción de robots de automatización o industriales, siendo en estos utilizados conjuntamente los sistemas neumáticos con, sistemas eléctricos e informáticos en aplicaciones de automatización fija y en serie, y por otro lado en aplicaciones en mecanismos de trabajo en máquinas herramientas.

Es así que el uso principal que le da la última tecnología a la neumática aplicada en robots neumáticos es en la manipulación de elementos de reducido peso y que necesiten una velocidad de traslación alta.

En máquinas herramientas se está utilizando la fuerza de la neumática para aprovechar la misma en desplazamientos rectilíneos y giratorios de piezas a mecanizar o de herramientas de trabajo, fijación, patrones de verificación. Es necesario mencionar que la creación y construcción de estos robots y mecanismos es de un valor económico elevado por lo que su utilización no es muy difundida y aplicada en producciones típicas de bajo presupuesto.

La neumática tiene una aplicación total en el ámbito industrial que va desde grúas neumáticas hasta la aplicación de componentes de seguridad en la industria automotriz (sistemas de frenado, suspensiones, etc.).

Esta valiosa tecnología no solo está siendo aplicada en países desarrollados, sino también en aquellas industrias que están en sus inicios o en proceso de crecimiento, ya que la neumática promete a la industria y a sus procesos de fabricación un medio más barato de automatización, lo cual si se utiliza de manera inteligente, puede traer como resultado bajas en los costos de producción.

En la actualidad la neumática conlleva el uso del aire a presión o en depresión como fuente de energía, para transformarla en energía mecánica visible en movimientos.

2.3 Aire comprimido como portador de energía, generación, preparación y distribución.

El aire comprimido es la mayor fuente de potencia en la industria con múltiples ventajas. Es segura, económica, fácil de transmitir movimientos con velocidad. Su aplicación es muy amplia para un gran número de industrias. Algunas aplicaciones son prácticamente imposibles con otros medios energéticos. El costo del aire comprimido es relativamente económico frente a las ventajas de la productividad que representa. [6]

Para garantizar la fiabilidad de un mando neumático es necesario que el aire alimentado al sistema tenga un nivel de calidad suficiente. Ello implica considerar los siguientes factores: presión correcta, aire seco, aire limpio.

Si no se acatan estas condiciones, es posible que se originen tiempos más prolongados de inactivación de las máquinas y además, aumentarán los costos de servicio. [3]

2.3.1 Preparación del aire comprimido

En la práctica se presentan muy a menudo los casos en que la calidad del aire comprimido desempeña un papel primordial. Las impurezas en forma de partículas de suciedad u óxido, residuos de aceite, lubricante y humedad dan origen muchas veces a averías en las instalaciones neumáticas y la destrucción de los elementos neumáticos. [3]

2.3.2 Obtención de aire comprimido

Para producir aire comprimido se utilizan compresores que elevan la presión del aire al valor de trabajo deseado. Los mecanismos y mandos neumáticos se alimentan desde una estación central [9]. En un sistema de obtención de aire comprimido se pueden distinguir las siguientes estaciones de tratamiento del aire:

- Filtrado
- Enfriado
- Secado
- Separación de impurezas sólidas, líquidas o de vapor de agua.

El equipamiento necesario para la generación y preparación del aire depende de los requisitos y exigencias de calidad del aire comprimido de acuerdo a la estaciones de obtención del mismo relacionando el tipo de contaminación que pueda tener y elemento de preparación.

2.3.3 Generación de aire comprimido; concepto y definiciones

Aire comprimido es aire atmosférico que ha sufrido un proceso de compresión, tiene energía de presión acumulada entregada en la compresión, que se transforma en trabajo mecánico al realizar un avance o bien usada para controlar procesos de regulación, mando o medición [3].

Para ser utilizada industrialmente tiene que ser comprimida a 6 bares. Para facilitar su estudio estipularemos que es un gas perfecto, es decir, que cumple:

- Sus moléculas no ofrecen ninguna resistencia para desplazarse entre sí.
- Cuando se encierra en un recipiente a presión, esa presión es transmitida a toda la pared con la que está en contacto, con un mismo valor.

2.3.4 Generación de aire comprimido: tipos de compresores

Tomando en cuenta que para la generación de aire comprimido tenemos que disponer de un compresor podemos decir que:

Un compresor es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como lo son los gases y los vapores. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por él convirtiéndose en energía de flujo aumentando su presión y energía cinética e impulsándola a fluir.

Desglosando la clasificación de compresores según sus características y construcción podemos mencionar los siguientes tipos:

2.3.4.1 Compresores de émbolo alterno de una etapa

En este compresor el aire es aspirado por una válvula en la carrera de absorción y en la carrera de compresión, luego de alcanzada la presión, se evacúa a través de la válvula de compresión.

Los compresores de pistón son muy conocidos, son de alta confiabilidad y seguros y se construyen en distintos tipos y rangos de presión y caudales. Estos compresores son rentables solo para presiones de 8 a 10 bares con pequeños caudales, debido a que a presiones mayores las pérdidas de calor son muy importantes.

2.3.4.2 Compresores de émbolo de varias etapas

En compresores de varias etapas se elige una relación de compresión menor por etapas: además se enfría el aire antes de la próxima compresión. De esta forma el rendimiento a presiones mayores es más rentable. En la Figura 13 se aprecia el esquema del compresor de émbolo.

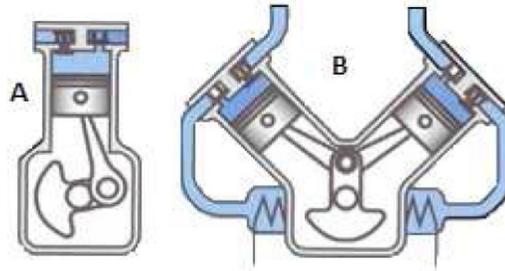


Fig. 13.- esquema compresor de émbolo.

2.3.4.3 Compresores de tornillo

Este tipo de compresor consiste básicamente en dos rotores helicoidales situados dentro de la carcasa del compresor. Por su movimiento absorben gas que posteriormente se comprime dentro de la cámara formada entre los rotores y la carcasa. Como se observa en la Figura 14, los rotores difieren en su forma de manera que ajusten entre sí formando un cierre hermético por el cual no pueda escapar el gas al ser comprimido.

La principal característica de este tipo de compresor es que pueden trabajar con corrientes gaseosas que contengan una cierta cantidad de líquido. Este tipo de compresor requiere el uso de aceite de lubricación, sirviendo adicionalmente como líquido de sello.

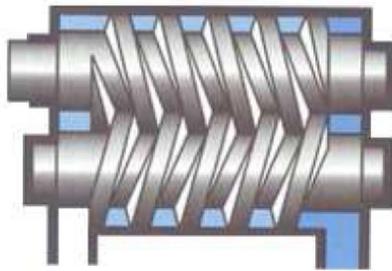


Fig. 14.- Esquema compresor de tornillo.

2.3.4.4 Compresores de paletas múltiples

Un rotor excéntrico, dotado de paletas gira en un alojamiento cilíndrico. La estanqueidad en rotación se asegura por la fuerza centrífuga que comprime las paletas sobre la pared (Fig. 15).

La aspiración se realiza cuando el volumen de la cámara es grande y resulta la compresión al disminuir el volumen progresivamente hacia la salida.

Pueden obtenerse presiones desde 200 a 1000 KPa (2 a 10 bares), con caudales entre 4 y 15 m³/min.

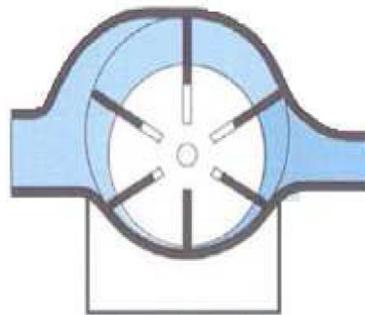


Fig. 15.- Esquema compresor de paletas múltiples.

2.3.4.5 Compresores roots

Los compresores roots trabajan sin sellos internos, la presión se logra por generación contra resistencia este principio solo permite lograr presiones pequeñas el sistema no tiene rozamiento debido a su movimiento mecánico sincronizado de émbolos y por lo tanto no requiere de lubricación. Los compresores roots se utilizan principalmente para el transporte neumático. En la Figura 16 se observa un esquema de estructura del compresor roots.

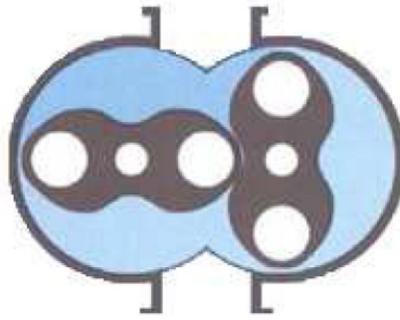


Fig. 16.- Esquema compresor roots.

2.3.4.6 Compresor axial

Son equipos dinámicos, en los cuales el aire pasa a través de los alabes y se transforma en alta velocidad pasando luego en su última etapa por un difusor, y transformando a esta energía de movimiento de aire en presión. Los compresores axiales tienen uso frecuente allí donde se necesitan grandes caudales dado que su presión por cada etapa es muy baja es necesario hacer conexiones en serie de varias etapas (Fig. 17).

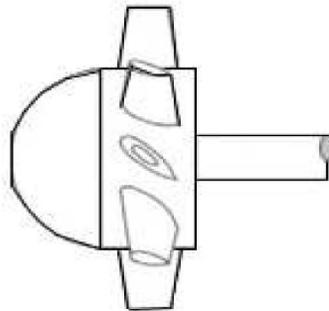


Fig. 17.- Esquema compresor axial.

2.3.4.7 Compresores radiales

Los compresores radiales son, al igual que los compresores axiales equipos dinámicos, en los cuales se convierte a la energía de movimiento en presión. En este caso la aspiración es axial, luego el aire cambia de dirección y se entrega en forma radial, los compresores radiales se utilizan para lograr grandes caudales (Fig. 18).

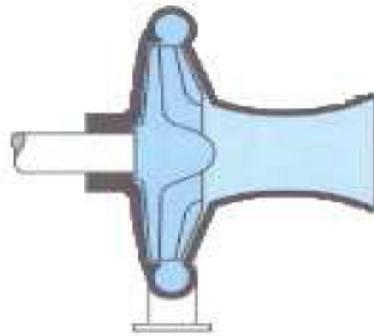


Fig. 18.- Esquema compresor radial.

2.3.5 Instalaciones de aire comprimido

La finalidad de un sistema de canalización de aire comprimido es distribuir aire comprimido a los puntos en los que se utiliza. El aire comprimido tiene que distribuirse con un volumen suficiente, la calidad y la presión adecuadas para propulsar correctamente los componentes que utilizan el aire comprimido [3].

La fabricación de aire comprimido es costosa. Un sistema de aire comprimido mal diseñado puede aumentar los gastos de energía, provocar fallos en los equipos, reducir el rendimiento de la producción y aumentar los requisitos de mantenimiento. En general suele considerarse que los costes adicionales realizados en la mejora del sistema de canalización de aire comprimido resultarán rentables muchas veces durante la vida del sistema. A continuación según la Figura 19 se muestra las estaciones de paso para la obtención de aire comprimido (símbolo y significado):

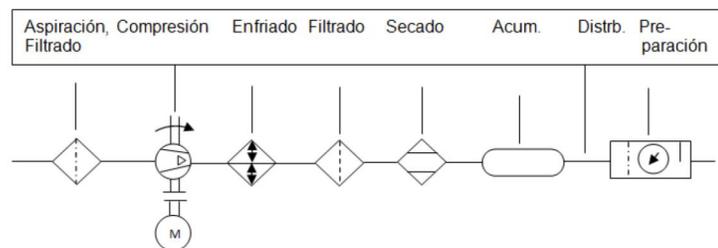


Fig. 19.- Etapas de obtención de aire comprimido.

2.3.6 Tratamiento de aire comprimido

El aire comprimido necesita eliminar impurezas y humedad ambiental por lo que es necesario utilizar unidades de mantenimiento ya que de ello dependerá la vida útil de los elementos del sistema. Y es así que la gran diversidad de aplicaciones del aire comprimido crea necesidades de limpieza diferentes para cada una de ellas. Si hay que filtrar el aire a fondo, deberán preverse más etapas de filtrado. Si se decide utilizar solamente un filtro fino, deberá asumirse una vida útil corta del elemento filtrante y por tanto, mayores costes de mantenimiento. Más adelante se cita elementos con los cuales está compuesta una unidad de mantenimiento para el tratamiento de aire comprimido. [3]

2.3.6.1 Filtro

El filtrado ocurre en dos etapas. La separación preliminar es provocada por una rotación a la que está expuesto el aire, generada por un deflector de chapa a la entrada en definitiva una fuerza centrífuga (Fig. 20). La separación fina se produce a través de una cápsula filtrante.

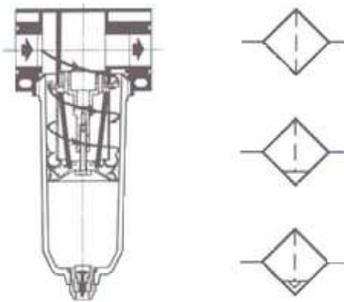


Fig. 20.- Filtro.

2.3.6.2 Regulador de presión

El regulador de presión tiene la misión de mantener la presión constante en el sistema (Fig. 21). Esto no puede lograrse si la presión regulada (presión secundaria) es menor al punto de presión más bajo del sistema de alimentación (presión primaria). Un regulador puede disminuir la presión pero no puede elevarla.

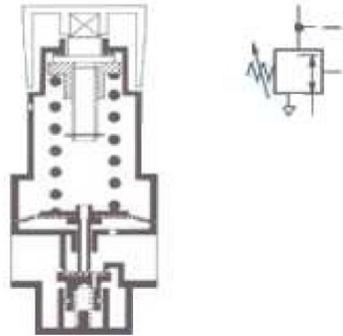


Fig. 21.- Regulador de presión.

2.3.6.3 Lubricador

El lubricador tiene por función lubricar a todos los componentes de trabajo y de control, el aporte de aceite se logra a través de un tubo de ascenso, del cual cae el flujo de aire en forma de gotas y debido a la alta velocidad traída por el aire se pulveriza (Fig. 22).

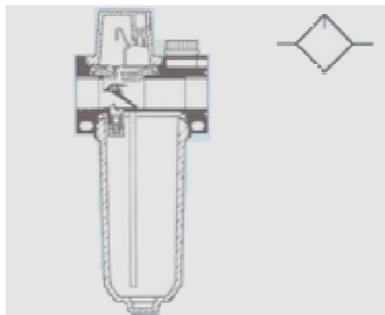


Fig. 22.- Lubricador.

2.4 Electroneumática

En electroneumática la energía eléctrica sustituye a la energía neumática como el elemento natural para la generación y transmisión de las señales de control que se ubican en los sistemas de mando [3].

Los elementos nuevos y/o diferentes que entran en juego están constituidos básicamente para la manipulación y acondicionamiento de las señales de voltaje y corriente que deberán de ser

transmitidas a dispositivos de conversión de energía eléctrica a energía neumática para lograr la activación de los actuadores neumáticos.

2.4.1 Dispositivos eléctricos

El conjunto de elementos que debemos de introducir para lograr el accionamiento de los actuadores neumáticos son básicamente:

2.4.1.1 Elementos de retención

Son empleados, generalmente, para generar la señal de inicio del sistema, o en su defecto, para realizar paros, ya sea de emergencia o sólo momentáneos. El dispositivo más común es el botón pulsador. (Fig. 23)

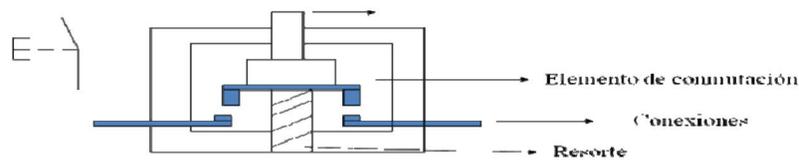


Fig. 23.- Pulsador.

2.4.1.2 Relevadores o relés

Es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

El principio del funcionamiento es el de hacer pasar corriente por una bobina generando un campo magnético que atrae a un inducido, y éste a su vez, hace conmutar los contactos de salida.

Son ampliamente utilizados para regular secuencias lógicas en donde intervienen cargas de alta impedancia y para energizar sistemas de alta potencia.

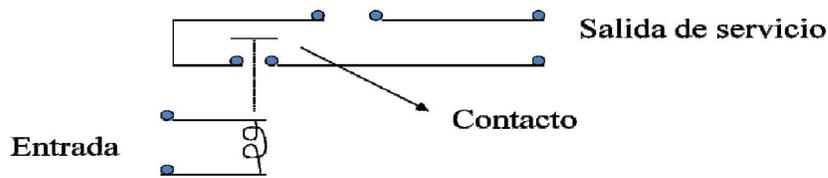


Fig. 24.- Principio del funcionamiento del relevador.

En la Figura 24 se observa el principio del funcionamiento del relevador como un simple contacto. Cuando se recibe una señal de entrada, la bobina genera un campo magnético provocando el cierre del contacto. A la salida del servicio se conecta la carga a ser activada. En la Figura 25 se observa un relevador comercial que ofrece más de una salida, todas a la vez siendo algunas de ellas normalmente cerradas.

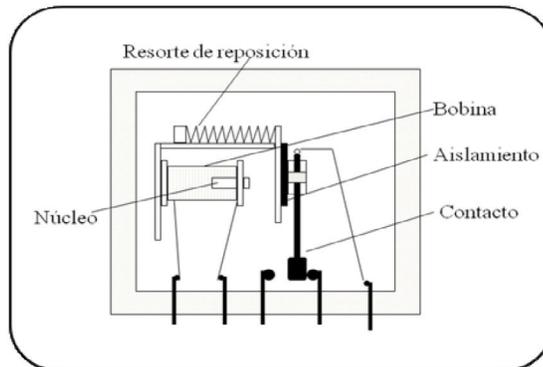


Fig. 25.- Esquema interno de un relevador.

La representación simbólica de un relevador es la que se presenta en la siguiente Figura 26.

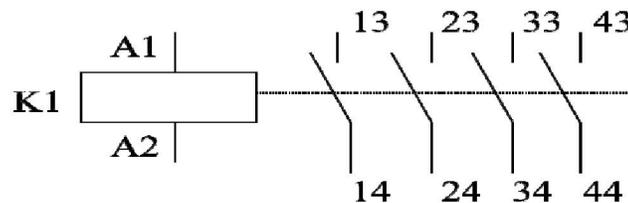


Fig. 26.- Representación simbólica de un relevador de contactos NA.

K1 identifica al relevador número uno. A1 y A2 identifican a las terminales del relevador. La numeración identifica a la primera cifra con la cantidad de contactos, mientras que la segunda cifra (3 y 4) indican que se trata de contactos normalmente abiertos. Para contactos normalmente

cerrados se emplean en las segundas cifras los números 1 y 2 respectivamente. Para el caso de relevadores que emplean contactos tanto normalmente abiertos como cerrados, tenemos la siguiente representación. (Fig. 27)[3]

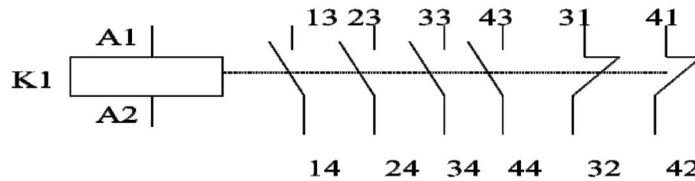


Fig. 27.- Representación simbólica de un relevador de contactos NA y NC.

2.4.1.3 Válvulas electroneumáticas

El dispositivo medular en un circuito electroneumático, es la válvula electroneumática. Esta válvula realiza la conversión de energía eléctrica, proveniente de los relevadores a energía neumática, transmitida a los actuadores o a alguna otra válvula neumática. Esencialmente, consisten de una válvula neumática a la cual se le adhiere una bobina sobre la cual se hace pasar una corriente para generar un campo magnético que, finalmente, generará la conmutación en la corredera interna de la válvula, generando así el cambio de estado de trabajo de la misma, modificando las líneas de servicio. La representación de una válvula electroneumática 3/2 de regreso por resorte, es como lo muestra la Figura 28.[3]

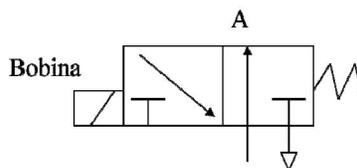


Fig. 28.- Válvula electroneumática 3/2 vías.

2.5 Compuertas Lógicas

Los aparatos electrónicos digitales funcionan de manera extraordinariamente lógica. Circuitos digitales electrónicos. Se llaman circuitos lógicos, ya que con las entradas adecuadas establecen caminos de manipuleo lógico. La pieza fundamental con la cual se construyen todos los circuitos digitales es la compuerta lógica y estas funcionan con números binarios; de aquí la expresión

compuertas lógicas binarias. Todos los que trabajan en electrónica digital emplean a diario compuertas lógicas binarias.

Tabla de verdad. Es una representación en forma tabular de todas las combinaciones posibles de las variables de entrada.

Las compuertas lógicas pueden construirse a base de simples interruptores, relés, tubos de vacío, transistores y diodos, o circuitos integrados (CI).

2.5.1 Compuertas AND

La operación AND es la segunda operación básica booleana. La tabla de verdad 1.2.3-1 muestra qué sucede cuando dos entradas lógicas, A y B, se combinan usando la operación AND para producir la salida x. Así se muestra que x es un 1 lógico sólo cuando A y B están en el nivel lógico 1. Para cualquier caso en que una de las entradas es 0, la salida es 0.

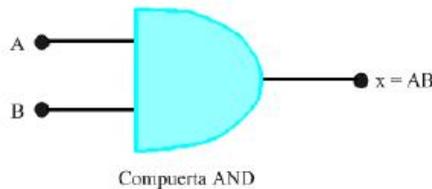


Fig. 29.- Símbolo de la compuerta AND

A	B	x=A•B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabla 2.- Tabla de verdad para la operación AND.

La expresión booleana para la operación AND es:

$$x = A \cdot B \quad (1)$$

En esta expresión el signo \cdot representa la operación booleana AND y no la multiplicación. Sin embargo, la operación AND en variables booleanas opera igual que la multiplicación común, como lo muestra un análisis de la tabla de verdad, y por lo tanto se les puede considerar como si fueran iguales. Esta característica resulta útil cuando se evalúan expresiones lógicas que contienen operaciones AND.

La expresión $x = A \cdot B$ se lee "x es igual a A y B lo que significa que x será 1 sólo cuando A y B sean 1. El signo \cdot normalmente se omite, de manera que la expresión simplemente se transforma en $x = AB$. Para el caso en que hay tres entradas AND, tenemos $x = A \cdot B \cdot C = ABC$. Esto se lee "x es igual a A y B y C" lo que significa que x será 1 sólo cuando A y B y C sean 1.

El símbolo lógico para una compuerta AND de dos entradas se muestra en la figura 29. La salida de la compuerta AND es igual al producto AND de las entradas lógicas; es decir, $x = AB$. En otras palabras, la compuerta AND es un circuito que opera de tal forma que su salida es ALTA sólo cuando todas sus entradas son ALTAS. Para los otros casos la salida de la compuerta AND es BAJA. [4]

2.6 Toberas y difusores

Las toberas y los difusores se utilizan generalmente en motores de propulsión por reacción, cohetes, vehículos espaciales e incluso en mangueras de jardín. Una tobera es un dispositivo que incrementa la velocidad de un fluido a expensas de la presión. Un difusor es un dispositivo que incrementa la presión de un fluido al desacelerarlo. Es decir, las toberas y los difusores llevan a cabo tareas opuestas. El área de la sección transversal de una tobera disminuye en la dirección de flujo para flujos subsónicos y aumenta para los supersónicos. Lo contrario es cierto para los difusores.

La tasa de transferencia de calor entre el fluido que fluye por una tobera o un difusor y los alrededores es comúnmente muy pequeña ($Q \approx 0$) ya que el fluido tiene velocidades altas y por lo tanto no se mantiene suficiente tiempo en el dispositivo como para que ocurra alguna transferencia de calor importante. Las toberas y difusores por lo común no implican trabajo ($\dot{W} = 0$) y cualquier

cambio de energía potencial es insignificante ($\Delta e_p \cong 0$). Pero las toberas y los difusores normalmente están relacionados con velocidades muy altas, entonces cuando un fluido pasa por alguno de estos dispositivos experimenta grandes cambios en su velocidad (Fig. 5-25). Por lo tanto, se deben tomar en cuenta los cambios de energía cinética al analizar el flujo por estos dispositivos ($\Delta e_c \neq 0$). [5]

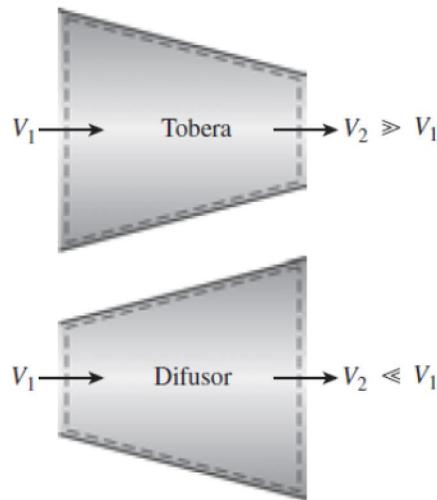


Fig. 30.- La forma de toberas y difusores es tal que causan grandes cambios en la velocidad del fluido y, por lo tanto, en la energía cinética.

2.7 Flujo compresible.

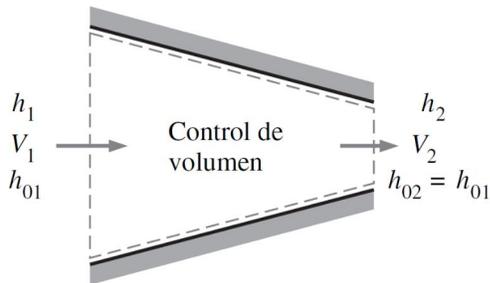
2.6.1 Propiedades de estancamiento.

Cuando se analizan volúmenes de control es muy conveniente combinar la energía interna y la energía de flujo de un fluido en un solo término: entalpía, definida por unidad de masa como $h = u + P/\rho$. Cada vez que la energía cinética y la energía potencial de un fluido son insignificantes, como sucede con frecuencia, la entalpía representa la energía total de un fluido. Para flujos a altas velocidades, como los que fluyen en motores de propulsión, la energía potencial del fluido es insignificante, pero la energía cinética no lo es. En tal caso, es conveniente combinar la entalpía y la energía cinética del fluido en un solo término llamado entalpía de estancamiento (o entalpía total) h_0 , definido por unidad de masa como:

$$h_0 = h + \frac{v^2}{2} \quad (kJ/kg) \quad (2)$$

Cuando la energía potencial de un fluido es insignificante, la entalpía de estancamiento representa la energía total de un flujo de fluido por unidad de masa. De esta manera se simplifica el análisis termodinámico de flujos a altas velocidades.

Considere el flujo estacionario de un fluido a través de un ducto, tal como una tobera, un difusor, o cualquier otro conducto de flujo en el cual el flujo es adiabático y donde no se realiza el trabajo de flecha o trabajo eléctrico, como se muestra en la figura 31. Al suponer que el fluido experimenta pequeños cambios o ninguno en su elevación y en su energía potencial, el balance de energía ($\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sal}$) para este dispositivo de flujo estacionario de una entrada y una salida se reduce a:



$$h_1 + \frac{V_1^2}{2} = h_2 + \frac{V_2^2}{2} \quad (3)$$

ó

$$h_{01} = h_{02} \quad (4)$$

Fig. 31.- Flujo estacionario de un fluido a través de un ducto adiabático.

Entonces, en ausencia de cualquier interacción de calor y de trabajo, así como de cualquier cambio en la energía potencial, la entalpía de estancamiento de un fluido permanece constante durante un proceso de flujo estacionario. Los flujos a través de toberas y difusores por lo general satisfacen estas condiciones, y cualquier aumento en la velocidad del fluido en estos dispositivos origina un decremento equivalente en la entalpía estática del fluido.

Si el fluido se lleva al reposo, entonces la velocidad del estado 2 es 0 y la ecuación 3 es:

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2} = h_2 = h_{02} \quad (5)$$

Así, la entalpía de estancamiento representa la entalpía de un fluido cuando se lleva al reposo adiabáticamente.

Durante el proceso de estancamiento, la energía cinética de un fluido se convierte en entalpía (energía interna + energía de flujo), la cual da como resultado un aumento en la temperatura y la presión del fluido. Las propiedades de un fluido en estado de estancamiento se llaman propiedades de estancamiento (temperatura de estancamiento, presión de estancamiento, densidad de estancamiento, etc.). El estado de estancamiento y las propiedades de estancamiento se indicarán con el subíndice 0.

El estado de estancamiento se llama estado de estancamiento isentrópico cuando el proceso de estancamiento es reversible y adiabático (es decir, isentrópico). La entropía de un fluido permanece constante durante el proceso isentrópico de llevar el fluido al estado de estancamiento. El proceso real (irreversible) y el proceso isentrópico de llevar al reposo un flujo de fluido se ilustra en el diagrama h - s de la figura 32. Observe que la entalpía de estancamiento del fluido (y la temperatura de estancamiento si el fluido es un gas ideal) es la misma para ambos casos. Sin embargo, la presión de estancamiento real es menor que la presión de estancamiento isentrópica porque la entropía aumenta durante el proceso real de estancamiento como resultado de la fricción del fluido. Con frecuencia, los procesos de estancamiento se aproximan a isentrópicos y a las propiedades de estancamiento isentrópico se les llama simplemente propiedades de estancamiento.

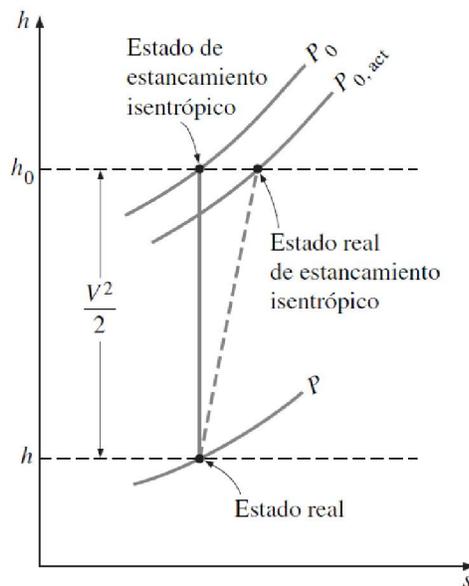


Fig. 32.- El estado real, el estado de estancamiento real y el estado de estancamiento isentrópico de un fluido en un diagrama h - s .

Cuando el fluido se aproxima como un *gas ideal* con calores específicos constantes, su entalpía puede reemplazarse por $c_p T$ y la ecuación 2 puede expresarse como:

$$c_p T_0 = c_p T + \frac{V^2}{2}$$

o

$$T_0 = T + \frac{V^2}{2c_p} \quad (6)$$

En ésta, T_0 se llama temperatura de estancamiento (o temperatura total), y representa la temperatura que alcanza un gas ideal cuando se lleva al reposo adiabáticamente. El término $V^2/2c_p$ corresponde al incremento de la temperatura alcanzado durante tal proceso y se llama temperatura dinámica.

La presión que alcanza un fluido cuando se lleva al reposo isentrópicamente se llama presión de estancamiento P_0 . Para un gas ideal con calores específicos constantes, P_0 está relacionado con la presión estática del fluido mediante:

$$\frac{P_0}{P} = \left(\frac{T_0}{T}\right)^{k/(k-1)} \quad (7)$$

Se observa que $\rho = 1/V$ y al utilizar la relación isentrópica $P v^k = P_0 v_0^k$, el cociente entre la densidad de estancamiento y la densidad estática pueden expresarse como:

$$\frac{\rho_0}{\rho} = \left(\frac{T_0}{T}\right)^{k/(k-1)} \quad (8)$$

Cuando se usan entalpías de estancamiento no es necesario referirse a la energía cinética de manera explícita. Entonces el balance de energía $\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sal}$ para el dispositivo de flujo estacionario con una entrada y una salida puede expresarse como:

$$q_{ent} + w_{ent} + (h_{01} + gz_1) = q_{sal} + w_{sal} + (h_{02} + gz_2) \quad (9)$$

donde h_{01} y h_{02} son las entalpías de estancamiento en los estados 1 y 2, respectivamente. Cuando el fluido es un gas ideal con calores específicos constantes, la ecuación 9 se convierte en:

$$(q_{ent} - q_{sal}) + (w_{ent} - w_{sal}) = c_p (T_{02} - T_{01}) + g(z_2 - z_1) \quad (10)$$

donde T_{01} y T_{02} son las temperaturas de estancamiento.

2.6.2 Velocidad del sonido y número de Mach

Un parámetro importante en el estudio de flujo compresible es la velocidad de sonido (o velocidad sónica), que es la velocidad a la cual una onda de presión infinitesimalmente pequeña viaja a través de un medio. La onda de presión puede ser originada por un pequeño disturbio, el cual crea un ligero aumento en la presión local.

Para simplificar el análisis, considere un volumen de control que encierra al frente de onda y que se mueve con él, como se muestra en la figura 33. Para un observador que viaja con el frente de onda, el fluido a la derecha parecería moverse hacia el frente de onda con una velocidad c y el fluido a la izquierda parecería alejarse del frente de onda con una velocidad $c - dV$. Por supuesto, el observador pensará que el volumen de control que encierra el frente de onda (y a él mismo o ella misma) está en reposo, y el observador es testigo de un proceso estacionario. El balance de masa para este proceso de flujo estacionario de una entrada y una salida puede expresarse como:

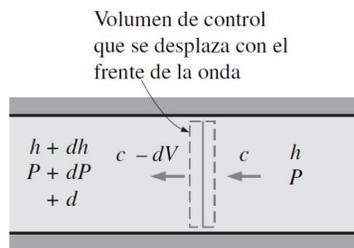


Fig. 33.- Volumen de control que se mueve con la pequeña onda de presión en un ducto.

$$\dot{m}_{der} = \dot{m}_{izq}$$

o

$$\rho A c = (\rho + d\rho) A (c - dV)$$

Al cancelar el área de la sección transversal A y despreciar los términos de orden superior; esta ecuación se reduce a:

$$c d\rho - \rho dV = 0 \quad (a)$$

Si no hay transferencia de energía en forma de calor o trabajo a través de las fronteras del volumen de control durante este proceso estacionario, y el cambio en la energía potencial puede despreciarse, entonces el balance de energía para el proceso estacionario $e_{ent} = e_{sal}$ se convierte en:

$$h + \frac{c^2}{2} = h + dh + \frac{(c - dV)^2}{2}$$

que da como resultado:

$$dh - c dV = 0 \quad (b)$$

donde se ha despreciado el término de segundo orden dV^2 . La amplitud de la onda sónica que se presenta normalmente es muy pequeña y no causa ningún cambio apreciable en la presión y la temperatura del fluido. Por eso, la propagación de una onda sónica no es solamente adiabática, también es casi isentrópica. Entonces, la relación termodinámica $T ds = dh - dP/\rho$ se reduce a:

$$dh = \frac{dP}{\rho} \quad (c)$$

Con la combinación de las ecuaciones a , b y c se obtiene la expresión deseada para la velocidad del sonido como:

$$c^2 = \frac{dP}{d\rho} \quad a \quad s = \text{constante}$$

o

$$c^2 = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_s \quad (11)$$

también puede escribirse como:

$$c^2 = k \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_T \quad (12)$$

donde k es la razón de calores específicos del fluido. Observe que la velocidad del sonido en un fluido es una función de las propiedades termodinámicas de éste.

Cuando el fluido es un gas ideal ($P = \rho RT$), la diferenciación en la ecuación 12 puede hacerse con facilidad para obtener:

$$c^2 = k \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_T = k \left[\frac{\partial(\rho RT)}{\partial \rho} \right]_T = kRT$$

o

$$c = \sqrt{kRT} \quad (13)$$

Observe que la constante del gas R tiene valor fijo para un gas ideal en particular y que la razón de calores específicos k de un gas ideal es, a lo mucho, una función de la temperatura, se observa que la velocidad del sonido en un gas ideal dado es función de la temperatura solamente.

Un segundo parámetro importante en el análisis de flujo compresible es el número de Mach Ma , llamado así en honor al físico austriaco Ernst Mach (1838-1916). Es el cociente de la velocidad real del fluido (o de un objeto que se mueve en el fluido en reposo) entre la velocidad del sonido en el mismo fluido, en el mismo estado:

$$Ma = \frac{V}{c} \quad (14)$$

Observe que el número de Mach depende de la velocidad del sonido, la cual depende del estado del fluido. Por lo tanto, el número de Mach de un avión que vuela a velocidad constante a través de aire quieto puede ser diferente en regiones distintas (Fig. 34).

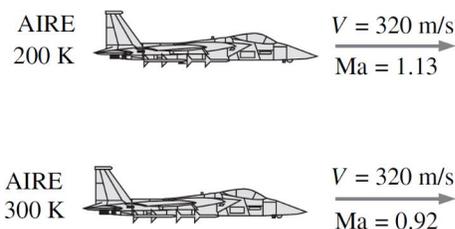


Fig. 34.- El número de Mach puede ser diferente a temperaturas distintas, inclusive si la velocidad de vuelo es la misma.

Con frecuencia, el régimen de flujos se describe en términos del número de Mach. El flujo se llama sónico cuando $Ma = 1$, subsónico cuando $Ma < 1$, supersónico cuando $Ma > 1$, hipersónico cuando $Ma \gg 1$ y transónico cuando $Ma \cong 1$.

2.6.3 Flujo isentrópico unidimensional

Durante la circulación de un fluido a través de dispositivos tales como toberas, difusores y los pasajes entre los álabes de las turbinas, las características numéricas de flujo varían principalmente en la dirección del flujo y solamente éste puede aproximarse con buena exactitud como un flujo isentrópico unidimensional. Por lo tanto, esto merece consideración especial.

El número de Mach es igual a la unidad en la región de menor área de flujo, llamada garganta (Fig. 35). Se observa que la velocidad del fluido continúa en aumento después de pasar por la garganta, aunque el área de flujo aumenta rápidamente en esta región. Este incremento en la velocidad a través de la garganta se debe a la rápida disminución en la densidad del fluido. Estos ductos se llaman toberas convergente-divergentes. Se usan para acelerar gases a velocidades supersónicas y no deben confundirse con las *toberas de Venturi* (también llamadas *tubos de Venturi* o *medidores de Venturi*.) usadas estrictamente para flujos incompresibles. La primera vez que se empleó la tobera convergente-divergente fue en 1893, en una turbina de vapor diseñada por el ingeniero sueco, Carl G. B. de Laval (1845-1913); por esta razón, con frecuencia a las toberas convergentes-divergentes se les llama *toberas de Laval*.

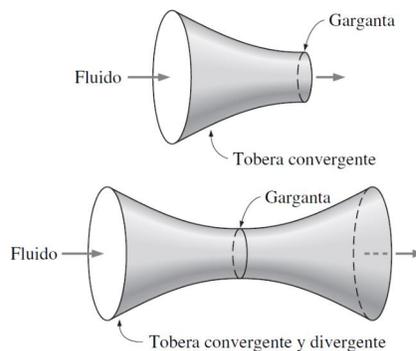


Fig. 35.- En una tobera la sección transversal de área más pequeña se llama *garganta*.

2.6.3.1 Variación de la velocidad de fluido con el área de flujo

En esta sección se investigan las relaciones entre velocidad, densidad y área de flujo en caso de flujos isentrópicos en un ducto con mayor profundidad, y se establecen relaciones para la variación de las razones de las propiedades estáticas y de estancamiento en función del número de Mach para tales propiedades como presión, temperatura y densidad.

Se comienza esta investigación con la búsqueda de relaciones entre presión, temperatura, densidad, la velocidad, área de flujo y número de Mach para flujos isentrópicos unidimensionales. Se considera el balance de masa para un proceso de flujo estacionario:

$$\dot{m} = \rho AV = \text{constante}$$

Se busca el diferencial y se divide la ecuación resultante entre la razón de flujo de masa y se obtiene:

$$\frac{d\rho}{\rho} + \frac{dA}{A} + \frac{dV}{V} = 0 \quad (15)$$

Al despreciar la energía potencial, el balance de energía para un flujo isentrópico sin interacciones de trabajo puede expresarse de forma diferencial como:

$$\frac{dP}{\rho} + VdV = 0 \quad (16)$$

Esta relación es también la forma diferencial de la ecuación de Bernoulli cuando se desprecian los cambios en la energía potencial, la cual es una forma de conservación de la cantidad de movimiento para volúmenes de control de flujo estacionario. Cuando se combinan las ecuaciones 15 y 16 se tiene:

$$\frac{dA}{A} = \frac{dP}{\rho} \left(\frac{1}{V^2} - \frac{d\rho}{dP} \right) \quad (17)$$

Se reordena la ecuación 11 como $(\partial\rho/\partial P)_s = 1/c^2$ y se sustituye en la ecuación 17, que da:

$$\frac{dA}{A} = \frac{dP}{\rho V^2} (1 - Ma^2) \quad (18)$$

Ésta es una relación importante para flujo isentrópico en ductos porque describe la variación de la presión en función de la variación del área de flujo. Note que A , ρ y V son cantidades positivas. Para flujos *subsónicos* ($Ma < 1$), el término $1 - Ma^2$ es positivo; por eso dA y dP deben tener el

mismo signo. Esto es, la presión del fluido debe aumentar si el área de flujo del ducto aumenta, y debe disminuir si el área de flujo del ducto disminuye. Por lo tanto, a velocidades subsónicas la presión disminuye en ductos convergentes (toberas aceleradoras subsónicas) y aumenta en ductos divergentes (difusores subsónicos o toberas desaceleradoras subsónicas).

En un *flujo supersónico* ($Ma > 1$) el término $1 - Ma^2$ es negativo y, por lo tanto, dA y dP deben tener signos opuestos. Esto es, la presión del fluido debe aumentar si el área de flujo del ducto disminuye, y debe disminuir si el área del flujo del ducto aumenta. Por lo tanto, a velocidades supersónicas la presión disminuye en ductos divergentes (toberas aceleradoras supersónicas) y disminuye en ductos convergentes (difusores supersónicos o toberas desaceleradoras supersónicas).

Otra relación importante para el flujo isentrópico de un fluido se obtiene cuando se sustituye $\rho V = -dP/dV$ de la ecuación 16 en la ecuación 18:

$$\frac{dA}{A} = -\frac{dV}{V}(1 - Ma^2) \quad (19)$$

Esta ecuación determina la forma de una tobera aceleradora o de un difusor de flujos isentrópicos subsónicos o supersónicos. Al notar que A y V son cantidades positivas, se llega a la siguiente conclusión:

$$\text{Para flujo subsonico } (Ma < 1), \quad \frac{dA}{dV} < 0$$

$$\text{Para flujo supersonico } (Ma > 1), \quad \frac{dA}{dV} > 0$$

$$\text{Para flujo sonico } (Ma = 1), \quad \frac{dA}{dV} = 0$$

Por lo tanto, la forma apropiada de una tobera depende de la velocidad más alta deseada relativa a la velocidad de sonido. Para acelerar un fluido debe usarse una tobera convergente a velocidades subsónicas y una tobera divergente a velocidades supersónicas. Las velocidades encontradas en la práctica en aplicaciones más comunes están muy por abajo de la velocidad sónica, y así es natural imaginar una tobera aceleradora como un ducto convergente. Sin embargo, la velocidad más alta que puede alcanzarse mediante una tobera convergente es la velocidad sónica, la cual ocurre a la salida de la tobera convergente. Si se extiende aún más una tobera convergente disminuyendo el área de flujo con la esperanza de acelerar el fluido a

velocidades supersónicas, como se muestra en la figura 36, se tendrá una gran decepción. Ahora, la velocidad sónica ocurrirá a la salida de la extensión convergente, en vez de la sección transversal correspondiente a la salida de la tobera convergente original, y la razón de flujo de masa a través de la tobera convergente extendida disminuirá debido a la reducción del área.

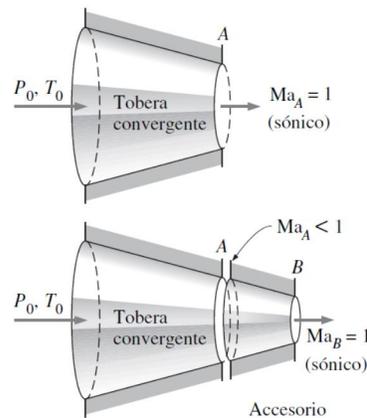


Fig.36.- No pueden alcanzarse velocidades supersónicas al añadir una sección convergente adicional a una tobera convergente. Cuando se hace esto solamente se traslada la sección trasversal sónica corriente abajo y se disminuye la razón del flujo de masa.

Con base en la ecuación 18, la cual es una expresión de los principios de conservación de masa y energía, debe añadirse una sección divergente a una tobera convergente para acelerar el fluido a velocidades supersónicas. El resultado es una tobera convergente-divergente. El fluido pasa primero por una sección subsónica (convergente), donde el número de Mach aumenta mientras que el área de flujo de la tobera disminuye, y entonces alcanza el valor de la unidad en la garganta de la tobera. El fluido continúa acelerándose mientras pasa por una sección supersónica (divergente). Al notar que $m = \rho AV$ para un flujo estacionario, se observa que la gran disminución en la densidad hace posible la aceleración en la sección divergente. Un ejemplo de este tipo de flujo es el de gases de combustión calientes a través de una tobera aceleradora en una turbina de gas.

El proceso opuesto ocurre a la entrada de un motor de un avión supersónico. El fluido se desacelera al pasar primero por un difusor supersónico, el cual tiene

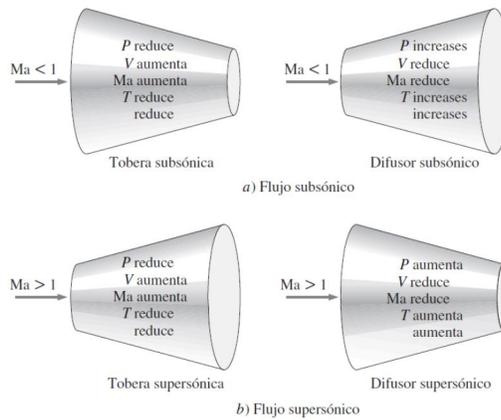


Fig. 37.- Variación de las propiedades de flujo en las toberas aceleradoras y toberas desaceleradoras (difusores) subsónicas y supersónicas.

el área que disminuye en la dirección de flujo. En teoría, el flujo alcanza un número de Mach igual a la unidad en la garganta del difusor. Después el fluido se desacelera en un difusor subsónico, el cual tiene un área de flujo que se incrementa en la dirección de flujo como se muestra en la figura 37.[5]

2.6.3.2 Relaciones de propiedades de flujo isentrópico de gas ideal

A continuación se desarrollarán las relaciones entre las propiedades estáticas y las propiedades de estancamiento de un gas ideal en función de la razón de calores específicos k y el número de Mach Ma . Se considera que el flujo es isentrópico y que el gas tiene calores específicos constantes.

La temperatura T de un gas ideal en cualquier lugar en el flujo está relacionada con la temperatura de estancamiento T_0 por medio de la ecuación 6:

$$T_0 = T + \frac{V^2}{2c_p}$$

o

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{V^2}{2c_p T}$$

Al notar que $c_p = kR/(k - 1)$, $c^2 = kRT$, y $Ma = V/c$, se observa que:

$$\frac{V^2}{2c_p T} = \frac{V^2}{2[kR/(k-1)]T} = \left(\frac{k-1}{2}\right) \frac{V^2}{c^2} = \left(\frac{k-1}{2}\right) Ma^2$$

Se sustituye y se tiene:

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \left(\frac{k-1}{2}\right) Ma^2 \quad (20)$$

la cual es la relación deseada entre T_0 y T .

La razón de la presión de estancamiento a la presión estática se obtiene al sustituir la ecuación 20 en la ecuación 7:

$$\frac{P_0}{P} = \left[1 + \left(\frac{k-1}{2}\right) Ma^2\right]^{k/(k-1)} \quad (21)$$

La razón de la densidad de estancamiento a la densidad estática se obtiene al sustituir la ecuación 10 en la ecuación 8:

$$\frac{\rho_0}{\rho} = \left[1 + \left(\frac{k-1}{2}\right) Ma^2\right]^{1/(k-1)} \quad (22)$$

Los valores numéricos de T/T_0 , P/P_0 y ρ/ρ_0 en función del número de Mach para $k = 1.4$ se dan en la tabla A-13 y son muy útiles para cálculos prácticos de flujo compresible de aire.

Las propiedades del fluido en una región donde el número de Mach es unitario son llamadas propiedades críticas, y las razones expresadas por las ecuaciones 20 a la 22 se llaman razones críticas (Fig. 38). Es práctica común en el análisis de flujo compresible representar los valores críticos con un asterisco (*) como superíndice. Se toma $Ma = 1$ en las ecuaciones 20 a la 22 y resulta:

$$\frac{T^*}{T_0} = \frac{2}{k+1} \quad (23)$$

$$\frac{P^*}{P_0} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{k/(k-1)} \quad (24)$$

$$\frac{\rho^*}{\rho_0} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{1/(k-1)} \quad (25)$$

Estas razones se evalúan para varios valores de k y se indican en la tabla 3. Las propiedades críticas de flujo compresible no deben confundirse con las propiedades termodinámicas de las sustancias en el *punto crítico* (tales como la temperatura crítica T_c y la presión crítica P_c). [7]

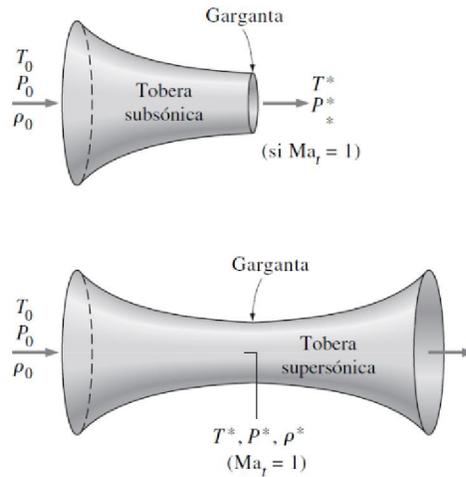


Fig. 38.- Cuando $Ma_f = 1$, las propiedades en la garganta de una tobera se convierten en propiedades críticas.

	Vapor sobrecalentado $k = 1.3$	Productos calientes de combustión $k = 1.33$	Aire $k = 1.4$	Gases, monoatómicos $k = 1.667$
$\frac{P^*}{P_0}$	0.5457	0.5404	0.5283	0.4871
$\frac{T^*}{T_0}$	0.8696	0.8584	0.8333	0.7499
$\frac{\rho^*}{\rho_0}$	0.6276	0.6295	0.6340	0.6495

Tabla 3.- Razones de presión, temperatura y densidad crítica para el flujo isentrópico de algunos gases ideales.

3 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas

3.1 Inspección del sitio o zona

Durante el transcurso de las primeras semanas se realizó las inspecciones observando el problema al cual va dirigido este proyecto. Solo se podía observar el problema cuando se producía la botella de 3000 ml. ya que a demás de esta se producen diferentes tamaños de botellas.

En este tiempo que se produjo la botella se tuvo una gran cantidad de obstrucciones y eso nos permitió detectar cual podría ser las causas del problema.

Se observo que en las esquinas de la salida de los silos es donde se producía este problema, ya que al acumularse una gran cantidad de botellas se producía el efecto muy conocido como cuello de botella. En la figura 39 se muestra la obstrucción en la salida de los silos en un día de producción a pesar de que la banda transportadora este funcionando las botellas no se movían.

También se observo que debido al roce entre las botellas se generaba estática, el cual hacia que las botellas se pegaran entre si y eso provocaba la obstrucción.



Fig. 39.- Imagen de la salida de los silos la cual nos muestra la obstrucción de las botellas.

3.2 Definir la problemática

Durante el tiempo de inspección se observó los detalles que producían la problemática, las cuales fueron:

- El diseño de los silos, el cual hacían que se produjera el famoso cuello de botella, ya que las botellas al querer salir se acumulaba una gran cantidad de botellas y eso mismo producía la obstrucción.
- La estática generada por el roce de las botellas que hacía que las botellas se pegaran y se acumularan en la salida de los silos.
- El llenado excesivo de botellas en los silos los cuales el mismo peso de las botellas no permitía que la banda pudiera desplazar las botellas.

Estas obstrucciones provocaban que los encargados de producción estén al pendiente de los silos y dejar descuidada la máquina de producción, y si no se enviaban botellas al cliente este tenía tiempos muertos los cuales son sanciones para la empresa.

Durante este tiempo se analizaron las posibles soluciones al problema tomando en cuenta las variables del proceso. Los cuales fueron:

- Diseño de un mecanismo que por medio de una serie de barras movieran las botellas a modo de que se liberaran y con eso la banda transportadora desplazara las botellas. Este diseño se descartó debido al poco espacio que se tiene en la salida de los silos y si se le llegara quitar más espacio, las botellas tendrían más dificultad de desplazarse, otra variable que se tuvo fue que este diseño podría dañar al producto ya que al querer desplazar las botellas este lo hará con una fuerza determinada y si hay demasiada botella en los silos no podrá desplazarlas y las aplastará provocando el daño a las botellas, la cual produciría pérdidas.
- Dispositivo neumático que contaba con diversas salidas de de aire la cual distribuiría el aire comprimido y evitar el daño al producto si se trabajaba con altas presiones. Se realizaron tres distintos diseños de este dispositivo los cuales se realizaron con el programa SolidWorks dándole una forma compacta y permitiría el desplazamiento de las botellas, pero también se descartaron debido a que se realizaron pruebas con una toma de aire de 7 bar la cual se llevó a los silos y al ver que con esa presión no movía las botellas al trabajar con este dispositivo lo que pasaría era que debido al diseño se tendría que trabajar con una

mayor presión ya que al querer distribuir el aire se generaba demasiadas pérdidas y no movería las botellas por que el golpe de aire sería muy débil (ANEXO 3, 4, 5).

- Dispositivo neumático que cuenta con solo una salida de aire el cual está elaborado con materiales que cuenta la empresa en su almacén. Este dispositivo será de una toma directa de aire el cual se le realizaran pruebas para determinar la presión de trabajo requería, mediante un chorro de aire que impactara en las botellas haciendo que se muevan y evitando que se produzca la obstrucción y evitando que la misma presión dañe las botellas debido al golpe de aire. Este dispositivo se elaborara en el programa de SolidWorks diseñando el soporte de el cual será sujetado. Este dispositivo fue aceptado ya que no ocupara espacio en la salida de los silos debido a que estará en la parte externa del mismo y debido a que se buscara la presión necesaria no dañara el producto (ANEXO 15).

3.3 Documentar el problema (estado del arte)

En este tiempo se buscaron algunas soluciones implementadas en otras industrias que tengan las mismas características que las que se imprimen en la empresa para tener un registro o saber cuáles son las ventajas de este dispositivo. También se buscaran los registros de la empresa para saber el efecto que ha tenido el problema de la obstrucción de botellas de 3000 ml en las salidas de los silos.

3.4 Bosquejo del dispositivo

Se realiza el diseño de los dispositivos que daría solución al problema los cuales llevan tendrían que ser compactos para que no genere alguna obstrucción y las botellas tengan el mejor desplazamiento de la banda. Después de que se realizan las pruebas con la toma de aire de 7 bar se descartan estos dispositivos.

Por lo tanto se toma la decisión de hacer otro diseño de el cual sea solo directa de la toma de aire comprimido.

Se realiza el diseño en el programa SolidWorks de cada pieza que se utilizara en el dispositivo de las cuales la mayor parte de ellas la empresa las tiene en su almacén de refacciones.

Las únicas piezas que se diseñan y que no cuenta la empresa, es el soporte del dispositivo que son una serie de placas, las cuales le dará movimiento al dispositivo para ajustarlo con lo que podrá ser colocado y así dirigir el chorro de aire a la parte donde se atorán las botellas, de esta manera se podrá obtener la mejor eficiencia de este dispositivo.

En el diseño de las placas se quiso que sean lo más factible para evitar gastos innecesarios pero al mismo tiempo de soporte al dispositivo. Se diseñaron 4 placas de distintas formas y dimensiones. (ANEXO 6, 7, 8 y 9)

3.4.1 Descripción del dispositivo

Después de conocer el objetivo de nuestro proyecto y de los problemas a resolver, tuvimos que analizarlo para tomar la mejor opción para el funcionamiento óptimo del dispositivo. Por lo que optamos por el último diseño, la cual por medio de una boquilla hará que el aire comprimido tomada de una línea de alimentación salga a una velocidad elevada y pueda mover las botellas de forma automática para evitar las obstrucciones en la salida de los silos.

El diseño consta de diversas partes tales como:

- Neumática
- Eléctrica
- Mecánica

En la parte de neumática tuvimos que sacar una línea de alimentación de la maquina SIDEL debido a que el aire que se requiere tiene que estar limpio y seco. La presión de la línea de alimentación de SIDEL se encuentra a 40 bars, pero esta presión es demasiada para nuestro dispositivo, esto nos obligo a instalar un regulador de presión el cual se ajusto a 7 bars para poder realizar pruebas.

Después de instalar el regulador de presión se coloco la manguera de 6mm de diámetro que empieza desde la salida del regulador hasta llegar en el lugar donde quedara instalado el dispositivo que será hasta los silos de almacenamiento, se utilizaron 22 metros de manguera para esta instalación.

Para la parte de control se colocó una electroválvula de 2/2 vías con la que se controlará el paso de aire, esta electroválvula se pondrá al final de la manguera que será la parte donde se instalará el dispositivo.

En la salida de la electroválvula se conecta un tramo de 50 cm de manguera de 6 mm de diámetro y en esta se colocaron los accesorios neumáticos con la boquilla que tiene un orificio de 3 mm de diámetro lo cual hará que el aire comprimido adquiera más velocidad para mover las botellas (el diseño de los accesorios y la boquilla ensamblados estarán en el ANEXO 15).

De la parte eléctrica se harán las conexiones para controlar la electroválvula. Se instalarán dos contactores donde uno estará detectando la señal de la banda M12 la cual mueve las botellas dentro del silo 1 y la M15 para el silo 2, el otro contactor será para el sensor que detectará si hay botellas en el silo, un relevador para la parte que controlará la bobina de la electroválvula. Se colocará un interruptor en el panel de mando que controla el funcionamiento de los silos para poder apagar el dispositivo cuando sea necesario. El diseño del sistema electrónico se elaboró en un programa llamado Automation Studio Demo 3.0.5 donde se muestra las conexiones. (ANEXO 10-14)

En la parte mecánica consiste en la instalación del soporte y el dispositivo. Se comienza con la perforación de dos orificios en un costado del silo procurando una distancia de 15cm como máximo de donde se colocará la boquilla, los orificios estarán separados a la distancia que están los orificios en la placa de soporte número 1 (ANEXO 6), en cima de este se colocará el soporte número 2 (ANEXO 7), el cual estará sujeto por medio de un tornillo y una tuerca, manteniendo los dos soportes unidos. El soporte número 3 (ANEXO 8) va en la parte inferior del soporte 2 y de la misma manera se sujetará mediante un tornillo y una tuerca. El soporte 4 (ANEXO 9) se colocará en la ranura del soporte 3 sujetado por un tornillo y una tuerca, este soporte sujetará al dispositivo en forma de abrazadera de modo que este quedará seguro.

Al término de colocar los soportes y el dispositivo se ajustarán y se apretarán los tornillos en la posición adecuada para su mejor funcionamiento.

3.5 Memoria de cálculo

En este tiempo se elabora la parte de la memoria de cálculo y realización de la investigación, el cual se analizara la salida de aire de la boquilla, debido a que se requiere conocer la velocidad en la que sale, determinando la presión necesaria para mover a las botellas y evitar afectaciones en las mismas. En este análisis se tomaran en cuenta las condiciones de un fluido gaseoso de trabajo, el cual tiene distintos tipos de variables.

Debido a que el fluido de trabajo es un gas, el cual es compresible, el cálculo para determinar la velocidad del aire requerida se hará de la siguiente manera:

La presión con la que se trabajara es de 20 Bars lo cual al pasarlo a Pascales nos da

$$20 \text{ Bars} = 2000 \text{ kPa}$$

A una presión atmosférica de 101.325 kPa

Sacamos la presión absoluta

$$P_{abs} = P_{mano} + P_{atm}$$

$$P_{abs} = 2000 \text{ kPa} + 101.325 \text{ kPa}$$

$$P_{abs} = 2101.325 \text{ kPa}$$

Tenemos la constante específica del gas del aire es $R = 0.287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K}$

La relación de calores específicos para el aire a temperatura ambiente interior es $k = 1.4$

De la tabla 3 la presión crítica es

$$P^* = 0.5283 \cdot P_0$$

$$P^* = (0.5283)(2101.325 \text{ kPa})$$

$$P^* = 1110.12997 \text{ kPa}$$

La presión crítica es mayor que a la presión atmosférica

Por lo tanto, el flujo se estrangula y la velocidad a la salida del orificio es la velocidad sónica. Entonces, las propiedades del flujo a la salida se convierte en:

$$\rho_0 = \frac{P_0}{RT_0} = \frac{2101.325 \text{ kPa}}{\left(0.287 \text{ kPa} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right) (298 \text{ K})}$$

$$\rho_0 = 24.5694 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho^* = \rho \left(\frac{2}{k+1}\right)^{1/(k+1)} = 24.5694 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \left(\frac{2}{1.4+1}\right)^{1/(1.4-1)}$$

$$\rho^* = 15.5755 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$T^* = \frac{2}{k+1} T_0 = \frac{2}{1.4+1} (298)$$

$$T^* = 248.3 \text{ K}$$

$$V = c = \sqrt{KRT^*} = \sqrt{(1.4)(0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \left(\frac{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2}{1 \text{ kJ/kg}}\right) (248.3)}$$

$$V = 315.85905 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Entonces, el caudal másico es

$$\dot{m} = \rho AV = (15.5755 \text{ kg/m}^3) \left[\frac{\pi(0.003\text{m})^2}{4}\right] (315.85905 \text{ m/s})$$

$$\dot{m} = 0.034775 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad \therefore \quad \dot{m} = 2.086502 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$

Tomando en cuenta el peso de las botellas a una cantidad de 2000 botellas tendría un peso total de

$$\text{peso total} = 2000 \text{ botellas} * 54.5\text{gr} = 109000 \text{ gr} = 109 \text{ kg}.$$

La cual ejerce una fuerza de:

$$F_{ejercida} = 109 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 = 1069.29 \text{ N.}$$

Y esta distribuida a un área de 24.99 m^2

Dando como resultado una presión de

$$P_{ejercida}: \frac{1069.29 \text{ N}}{24.99 \text{ m}^2} = 42.7887 \text{ Pa.}$$

Para saber la eficiencia del proceso sacamos los siguientes datos:

Durante mi estancia observe que las botellas se atoran 4 a 5 veces cada 10 minutos y cada vez que se atoran se tarda un aproximado de 2 minutos para que el operador llegue a desatorarlas, esta demora reduce la eficiencia del proceso.

El 100% de eficiencia es cuando no ocurren ninguna obstrucción durante una hora entonces, si en una hora se atoran un total de 24 veces la eficiencia es de 20%

Con el dispositivo instalado se redujo las obstrucciones en un 90 % dando con un aumento de la eficiencia en un 92 %

4 Resultados (planos, graficas, prototipos)

Con la instalación de este dispositivo la eficiencia aumento considerablemente reduciendo las obstrucciones dando como resultado el aumento de la eficiencia en la fabricación de botellas ya que el operador no tiene que ir a los silos y no se pierde tiempo en esta acción.

Con el dispositivo instalado se redujo las obstrucciones en un 90 % dando con un aumento de la eficiencia en un 92 % dando la mejoría esperada en la empresa reduciendo gastos y pérdidas de tiempo.

La acción que realiza el dispositivo es detectar la obstrucción y realizar la corrección necesaria al no detectar la botellas en la salida de los silos se activa y con un chorro de aire mueve las botellas que producen la obstrucción y así consiguiendo la mejor eficiencia.

5 Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Los objetivos para este proyecto fueron cumplidos satisfactoriamente cumpliendo con los requerimientos de la empresa y las normas del diseño para que este funcione con la mayor eficiencia y evitando reducir la calidad del producto. Dicho proyecto fue presentado en tiempo y forma ante la empresa para su evaluación y posterior puesta en marcha.

Este proyecto me sirvió para saber cómo es el ámbito laboral y la aplicación de mis conocimientos de cómo ingeniero mecánico que adquirí en mi institución, también me sirvió para tener experiencia en lo que me pueda enfrentar en el futuro.

Los problemas que se presentan en la actualidad sin la implementación del presente diseño serán eliminados en su mayoría al instalar dicho proyecto, favoreciendo así para una mejor producción de botellas de PET, ya que se evitara estar al pendiente de los silos y si se lleguen a atorar las botellas, se evitara pérdidas de tiempo en el traslado del área de producción hacia los silos, se reduce el contacto del operador con el producto, con esto ayuda a mejorar el proceso de dicha empresa.

El proyecto fue aprobado por la empresa dándome el visto bueno, sabiendo que contribuí con la mejora de la misma, me siento conforme con mis acciones y me motiva a seguir preparándome para que mis conocimientos sean de buen provecho para la sociedad, y como el mundo del ingeniero sigue avanzando aún tenemos mucho por aprender, tantos conocimientos por aprender y experiencias por tener.

Mis más sinceros agradecimientos a mi asesor interno: Ing. Juan Carlos Niños Torres, así también el agradecimiento para mi asesor externo: Ing. Ángel Bautista Meneses, y a todo el personal de la planta, ya que con la colaboración de todos fue posible realizar dicho proyecto ya que cuando solicitamos su ayuda y/o asesoramiento contribuyeron de la manera más atenta.

5.2 Recomendaciones

- Para evitar problemas con el dispositivo, los silos solo se deberán de llenar con un máximo de 2000 botellas, ya que si se llegan a llenar de mas, el exceso de peso puede reducir el movimiento de las botellas, el cual el chorro de aire que envía el dispositivo no será suficiente para moverlas.
- Su ajuste del dispositivo deberá ser realizada cuando los silos estén llenos para verificar que la salida de chorro de aire este en la dirección correcta y con ello obtener la mejor eficiencia del mismo.
- Instalar en la computadora del taller de mantenimiento el programa SOLIDWORKS esto con la finalidad de que ellos mismos puedan diseñar sus piezas mecánicas o algún diseño que tengan en mente antes de construirla y ver si es factible o no antes de su construcción, esto con un previo curso del manejo de dicho programa.
- Capacitar a todo el personal de la planta para que sepan como es el accionamiento y funcionamiento de dicho proyecto para así evitar accidentes o averías en el sistema.
- Una vez implementado el proyecto darle el mantenimiento adecuado para mantenerlo en óptimas condiciones o lo mejormente posible.

6 BIBLIOGRAFIA

[1] <http://www.textoscientificos.com/polimeros/pet>

[2] Creus Solé, Creus. Neumática e Hidráulica (1°. Edición), Alfaomega Grupo Editor. México: 2007

[3] Jairo David Centeno Valencia, MANUAL CONSULTIVO DE CONTROL NEUMÁTICO Y ELECTRONEUMÁTICO UTILIZANDO EL SOFTWARE FESTO fluidSIM, <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/604/1/T-UTC-1070.pdf>

[4] Enrique Mandado. Sistemas electrónicos digitales (7a edición). Alfaomega-Marcombo, 1995.

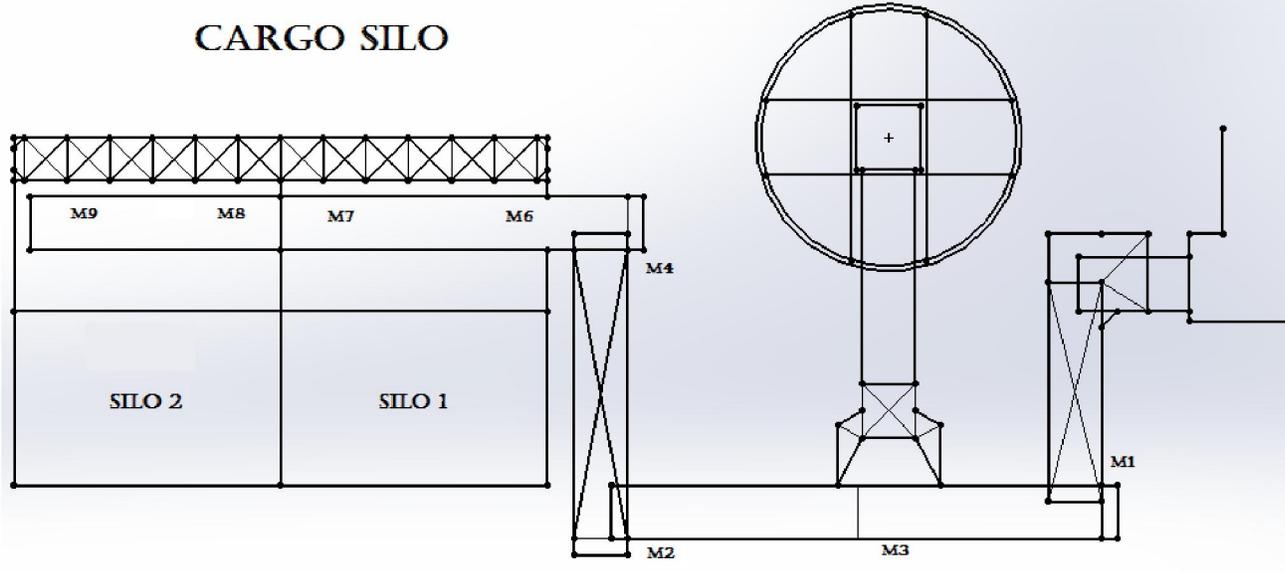
[5] Yunus A. Cengel, Michael A. Boles. Termodinámica (7ª edición). McGraw-Hill. México. 2012.

[6] Sergio Gómez González. SolidWorks. (Primera edición). Marcombo, ediciones técnicas en coedición con Alfa-omega.

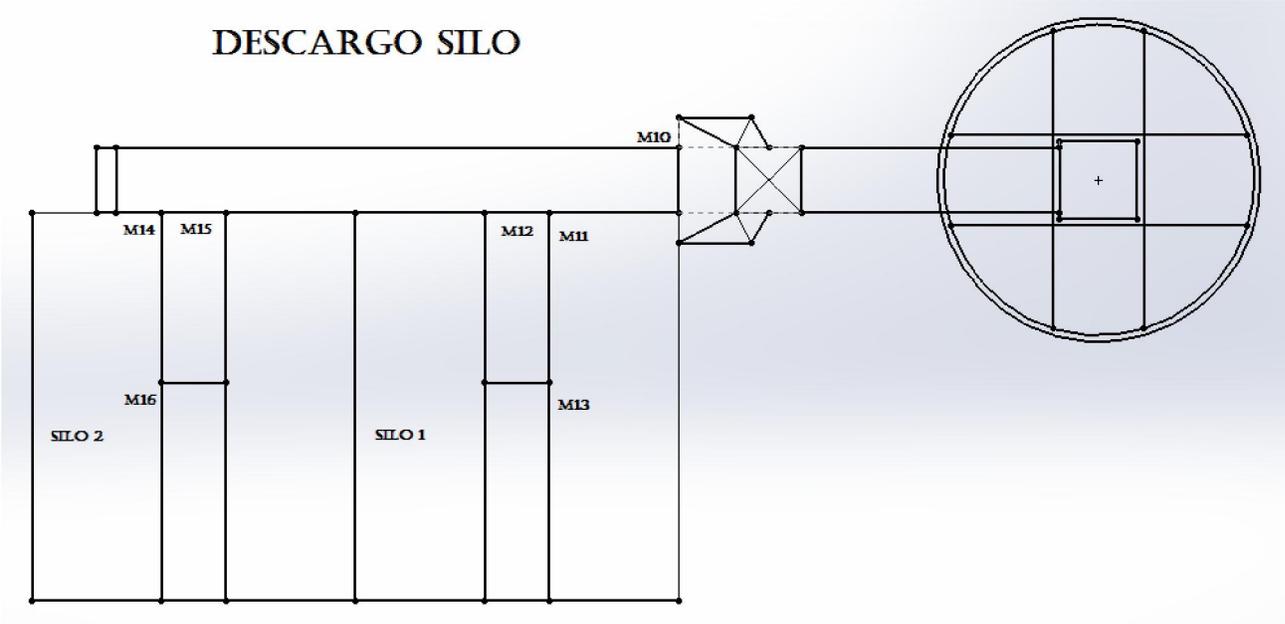
[7] Yunus A. Cengel, John M. Cimbala. Mecánica de fluidos (fundamentos y aplicaciones). (2ª edición).). McGraw-Hill. México. 2012.

ANEXOS

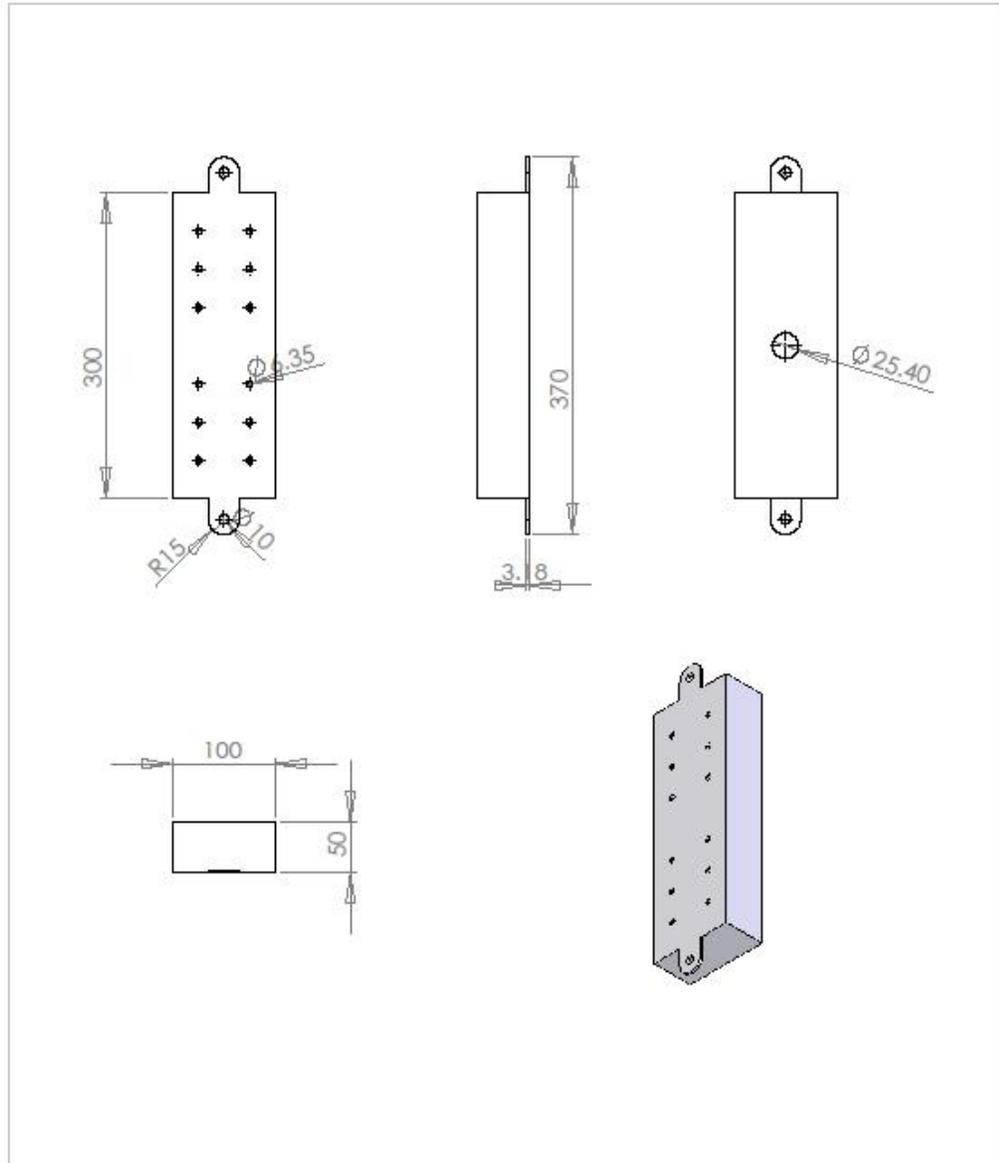
ANEXO 1.- Esquema donde se muestran las bandas transportadoras en la opción de cargo silos.



ANEXO 2.- Esquema donde se muestran las bandas transportadoras en la opción de descargo silos.

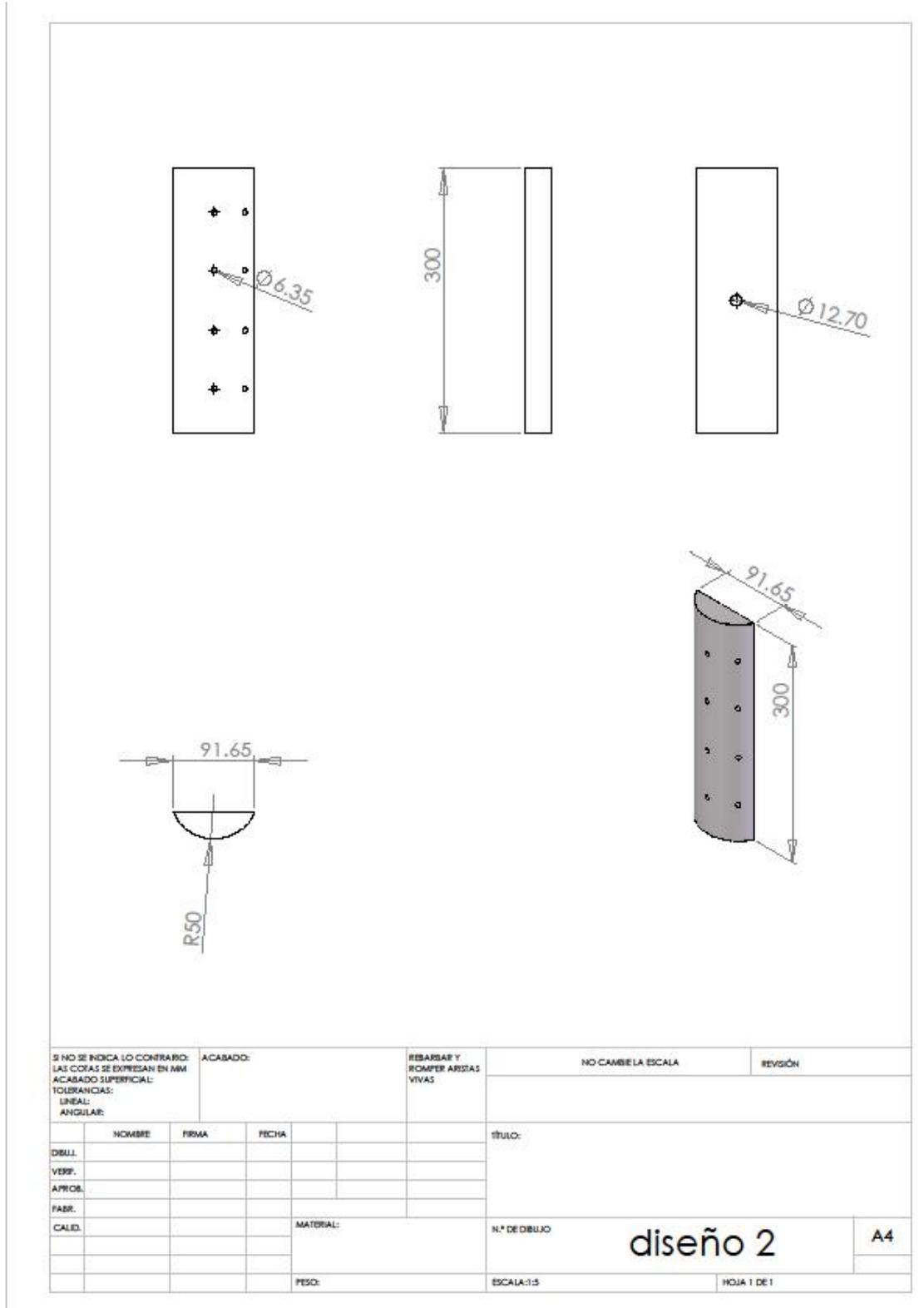


ANEXO 3.- Diseño del primer dispositivo.

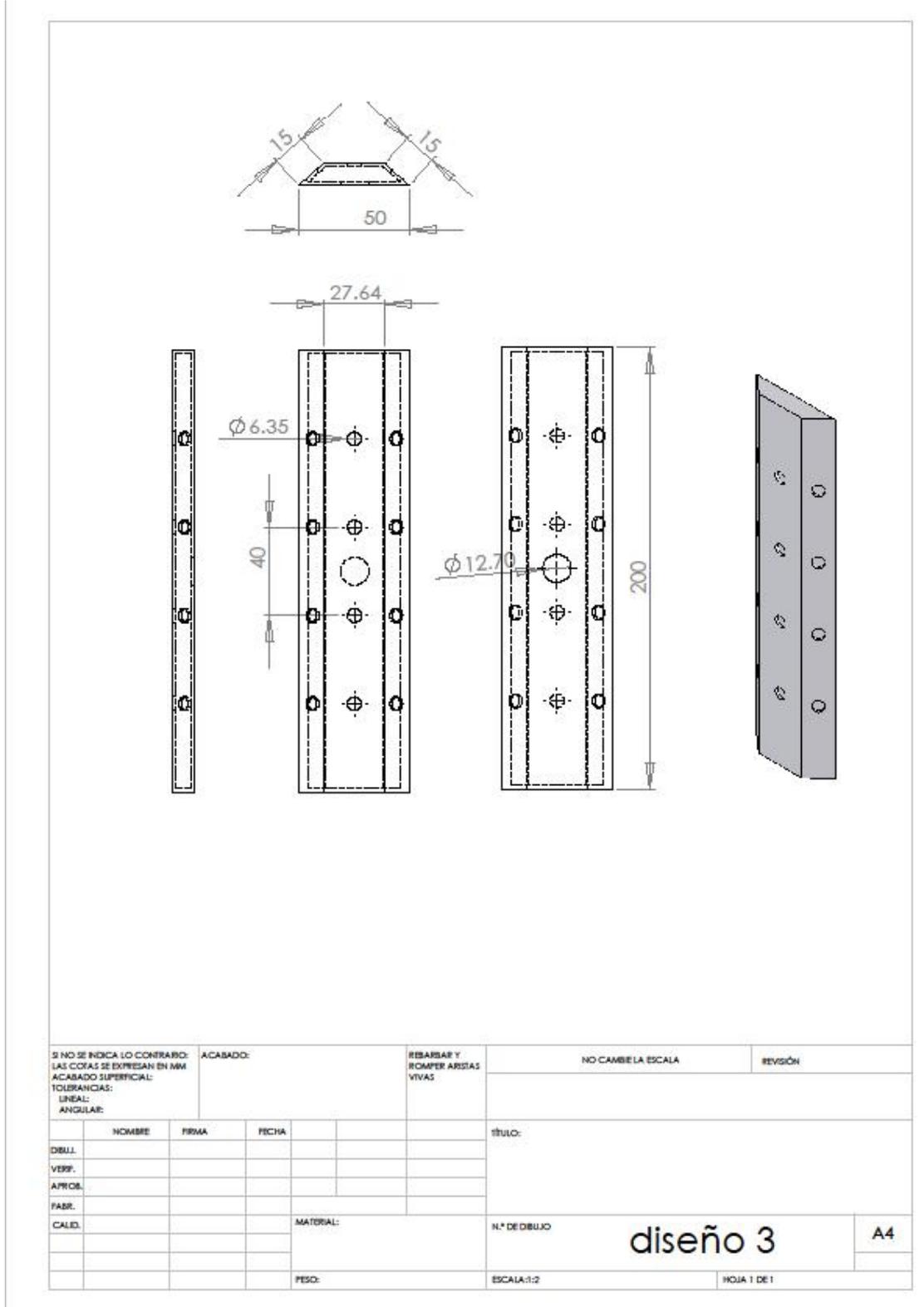


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:	
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CALED.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	A4
				PESO:		ESCALA: 1:5	HOJA 1 DE 1
						DISEÑO 1	

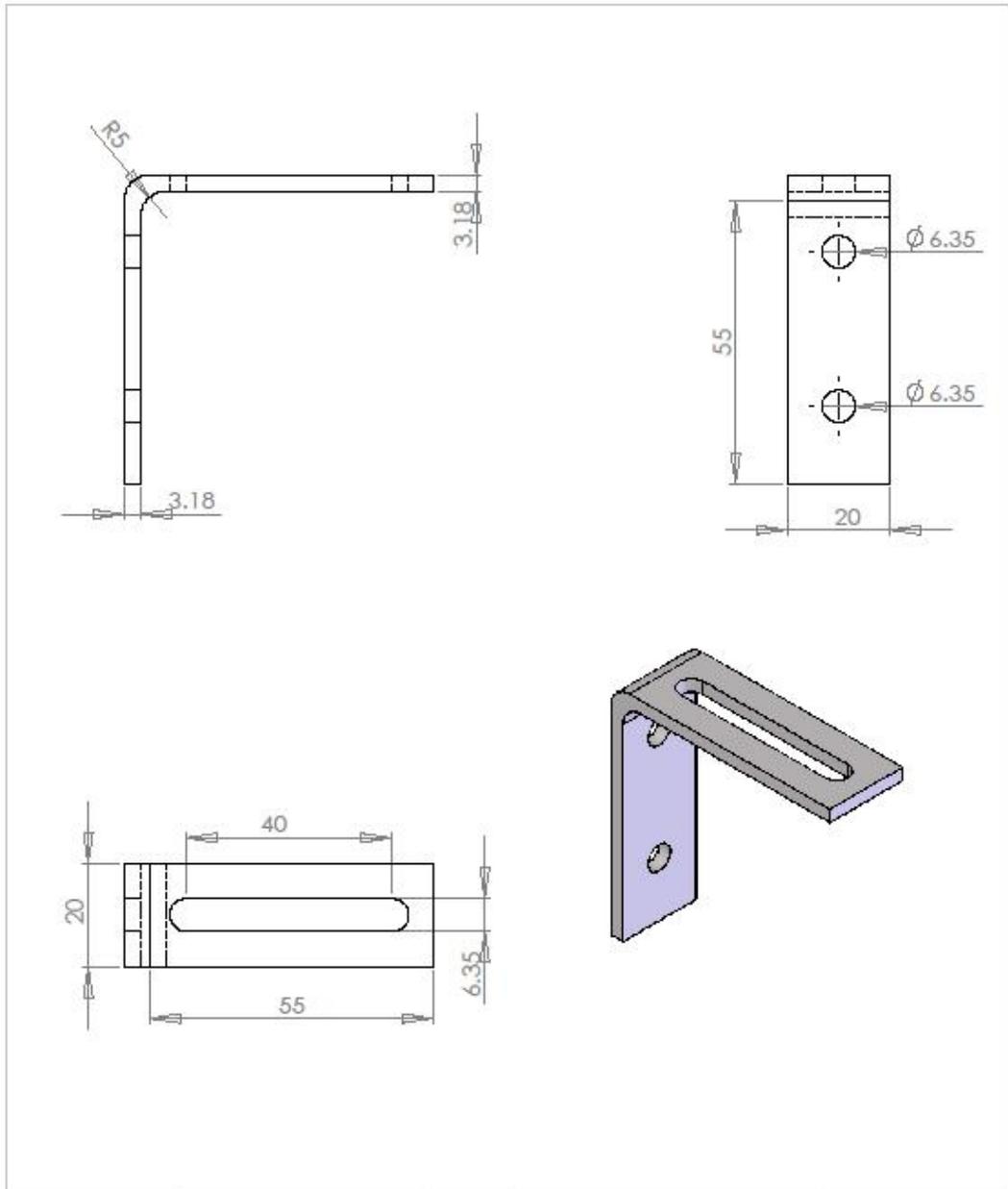
ANEXO 4.- Diseño del segundo dispositivo.



ANEXO 5.- Diseño del tercer dispositivo.

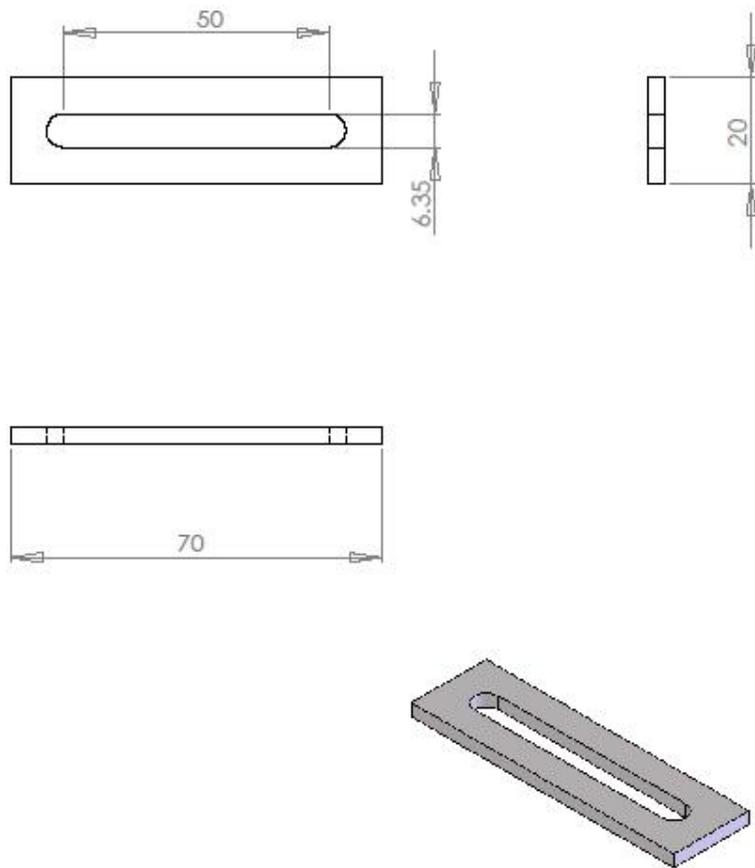


ANEXO 6.- Soporte número 1 del dispositivo.



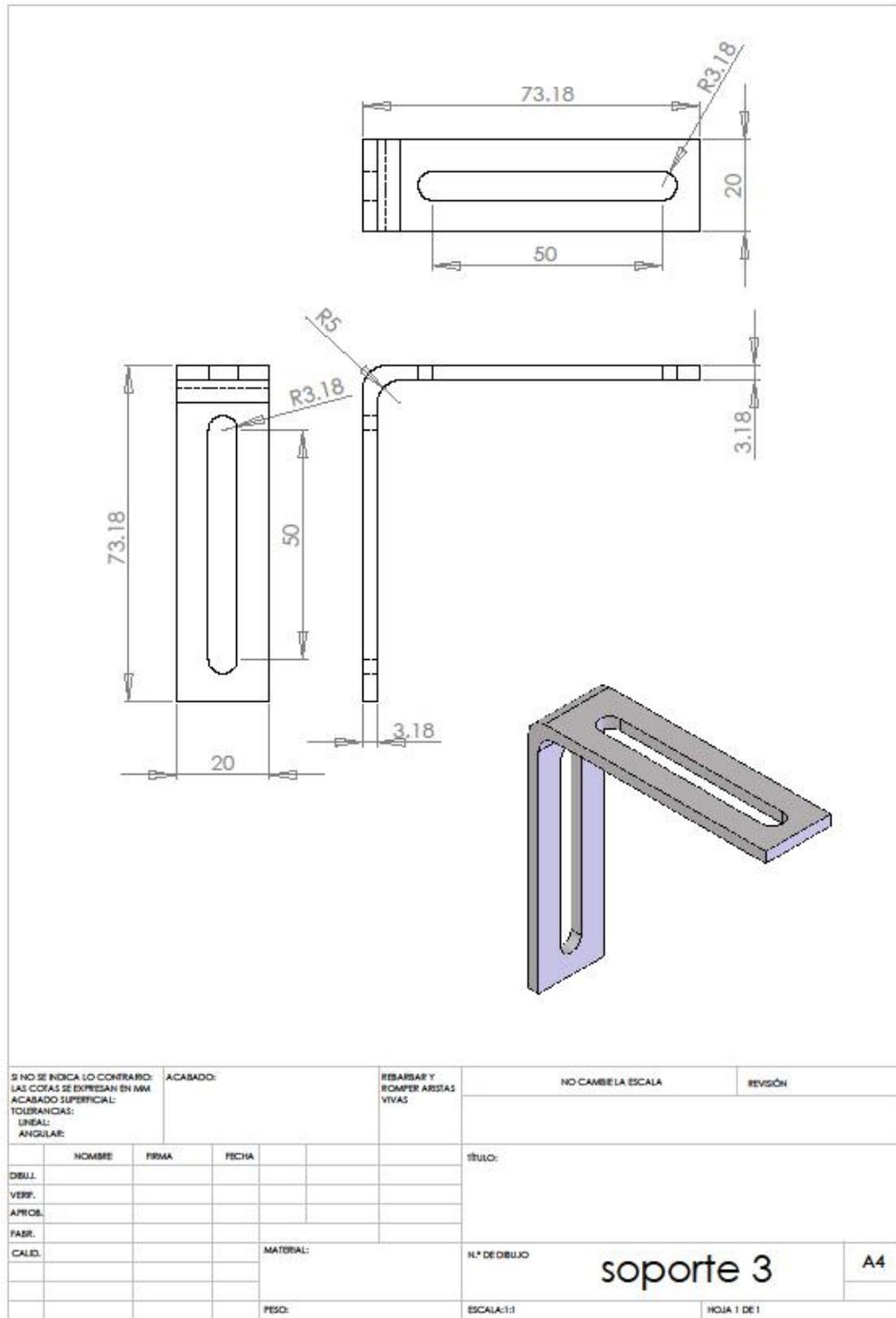
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE: _____ FIRMA: _____ FECHA: _____				TÍTULO:	
DIBUJ. VERIF. APROB. FABR. CALD.			MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	soporte 1 A4
		PESO:	ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1	

ANEXO 7.- Soporte número 2 del dispositivo.

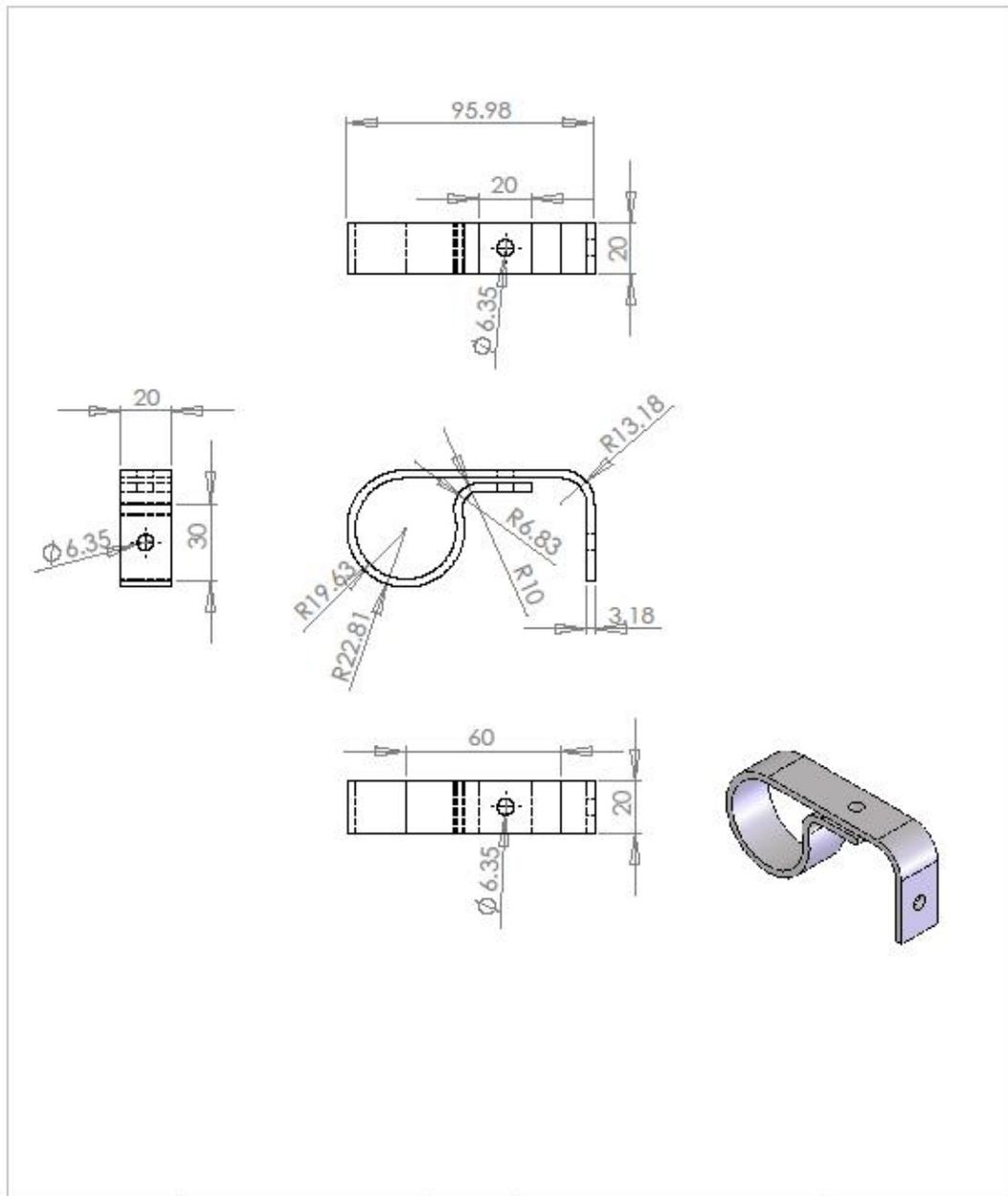


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE: _____ FIRMA: _____ FECHA: _____						TÍTULO: _____	
DIBUJ.						N.º DE DIBUJO soporte 2	
VERIF.						A4	
APROB.						ESCALA: 1:1	
FABR.						HOJA 1 DE 1	
CALID.					MATERIAL:		
					PESO:		

ANEXO 8.- Soporte número 3 del dispositivo.

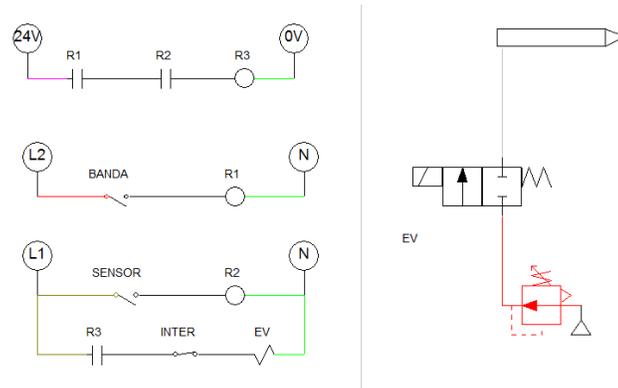


ANEXO 9.- Soporte número 4 del dispositivo.

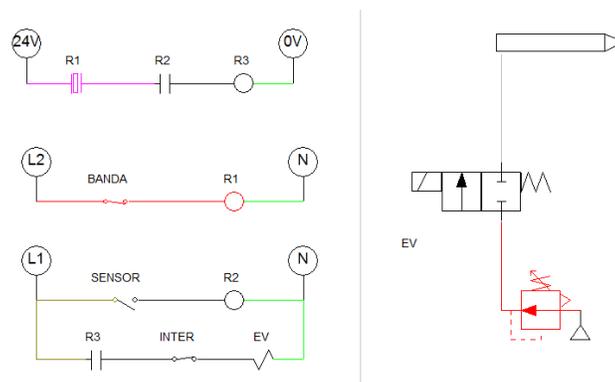


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE: _____ FIRMA: _____ FECHA: _____						TÍTULO:	
DIBUJ.						N.º DE DIBUJO	
VERIF.						SOPORTE 4	
APROB.							
FABR.						A4	
CALIF.					MATERIAL:	ESCALA: 1:2	
					PESO:	HOJA 1 DE 1	

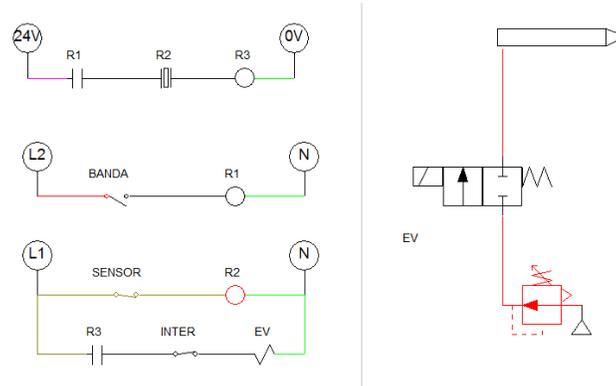
ANEXO 10.- Esquema eléctrico y neumático del dispositivo cuando la banda y el sensor se encuentran desactivados.



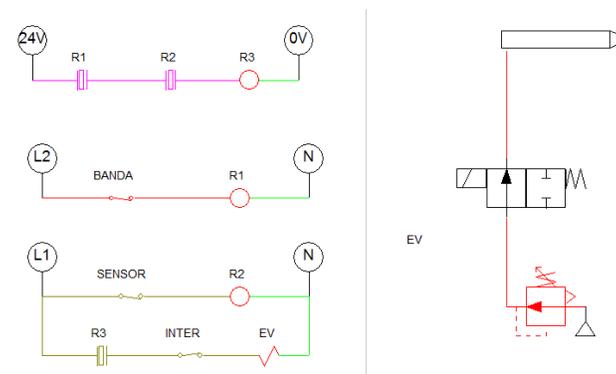
ANEXO 11.- Esquema eléctrico y neumático del dispositivo cuando la banda se encuentra activa pero el sensor no.



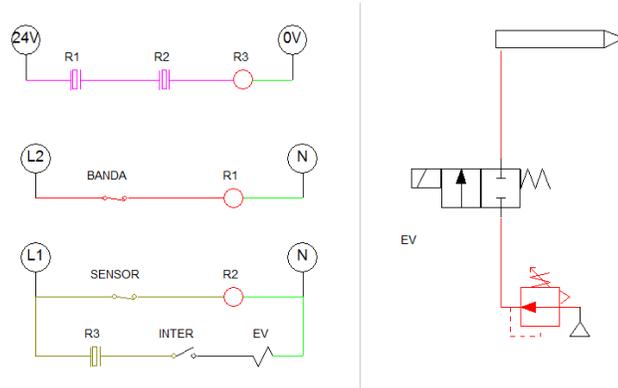
ANEXO 12.- Esquema eléctrico y neumático del dispositivo cuando la banda se encuentra desactivada y el sensor se encuentra activo.



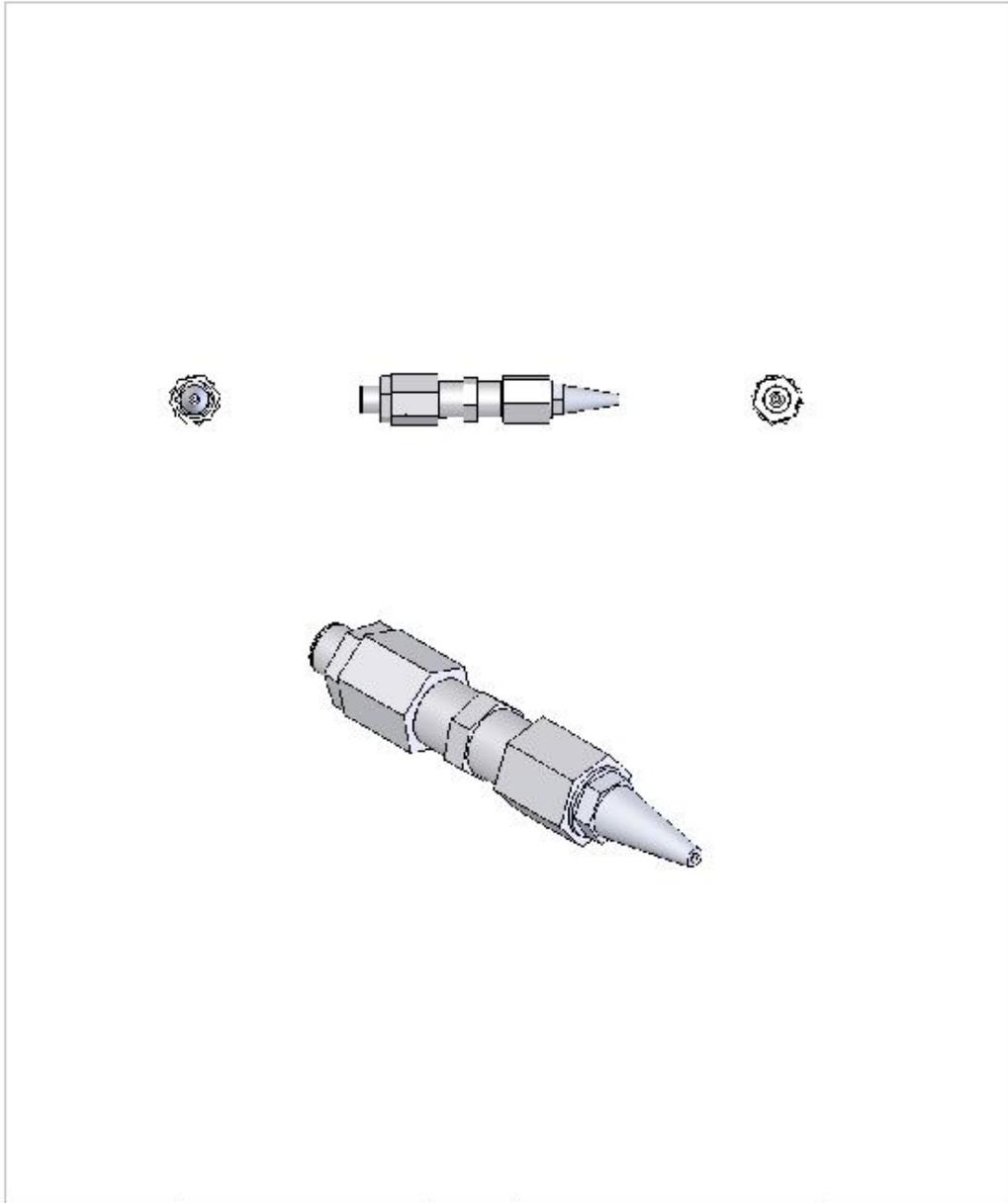
ANEXO 13.- Esquema eléctrico y neumático del dispositivo cuando la banda, el sensor y el interruptor se encuentran activos energizando la válvula.



ANEXO 14.- Esquema eléctrico y neumático del dispositivo cuando la banda y el sensor se encuentran activos pero el interruptor no.



ANEXO 15.- Ensamble del dispositivo.



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:	RESARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN								
<table border="1"> <tr> <th>NOMBRE</th> <th>FIRMA</th> <th>FECHA</th> <th></th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				NOMBRE	FIRMA	FECHA						TÍTULO: 			
NOMBRE	FIRMA	FECHA													
DIBUJ. VERIF. APROB. PAER. CALIF.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">dispositivo</p>									
				PESO:		ESCALA: 1:2 HOJA 1 DE 1									