

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **TÍTULO DEL PROYECTO**

**“REDISEÑO DE LA MÁQUINA DE ENSAMBLAJE PB-31-10 PARA EL ENSAMBLAJE DE LA CÁPSULA DE LA MUNICIÓN DE CAZA CALIBRE 16 Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE ENSAMBLAJE”**

**REALIZADO POR:**

**CAPT. BELTRÁN SALAZAR MILBERT DAMIÁN**

**TNTE. PATIÑO ORTIZ EDMUNDO XAVIER**

**DIRECTOR: ING. FERNANDO OLMEDO**

**CODIRECTOR: ING. PABLO FIGUEROA**

**Sangolquí, 2006-01-16**

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

**El proyecto “REDISEÑO DE LA MÁQUINA DE ENSAMBLAJE PB-31-10 PARA EL ENSAMBLAJE DE LA CÁPSULA DE LA MUNICIÓN DE CAZA CALIBRE 16 Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE ENSAMBLAJE ” fue realizado en su totalidad por el señor Capt. de M.G. Milbert Damián Beltrán Salazar y el señor Tnte. de E. Edmundo Xavier Patiño Ortiz, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.**

---

**Ing. Fernando Olmedo**  
**DIRECTOR**

---

**Ing. Pablo Figueroa**  
**CODIRECTOR**

**Sangolquí, 2006-01-16**

## **LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**

**“REDISEÑO DE LA MÁQUINA DE ENSAMBLAJE PB-31-10  
PARA EL ENSAMBLAJE DE LA CÁPSULA DE LA MUNICIÓN DE  
CAZA CALIBRE 16 Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE  
ENSAMBLAJE”**

**ELABORADO POR:**

---

**Capt. Milbert D. Beltrán S.**

---

**Tnte. Edmundo X. Patiño O.**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

---

**EL DECANO**

**Sangolquí, 2006-01-16**

## DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a las personas que más quiero en este mundo y que siempre estuvieron pendientes de una u otra forma a lo largo de mi carrera profesional, en especial a mi esposa Araceli, y a mis hijos: Andrés, Valeria y Ariel, a los cuales les arranqué muchas veces el valioso tiempo de compartir miles de experiencias, pero que luego de este triunfo verán que el sacrificio valió la pena en bien de una estabilidad familiar y días mejores.

A mis padres: Wilson Beltrán y Bertha Salazar por su valioso ejemplo de trabajo y sacrificio y por sus valiosas bendiciones que me alentaron desde muy pequeño a ser constante y a no defraudar a las personas que me quieren y me rodean.

A mis hermanos: Irene, Sylvana y Luis Ignacio por su confianza y amor incondicional, que han alimentado mi sentido de responsabilidad.

A mis abuelos por su amor y ejemplo de unión que siempre estarán latentes en cada experiencia de mi vida.

A la familia Jaramillo Carrera por su ejemplo de solidaridad y apoyo incondicional en los momentos difíciles.

Por último dedico a todas y cada una de las personas que confiaron e hicieron posible que estudie en la Escuela Politécnica del Ejército y a quienes espero no haberles defraudado con el cumplimiento de esta misión.

Milbert Damián

## **AGRADECIMIENTO**

Mi más sincero agradecimiento a Dios por darme la sabiduría y por haberme ayudado a crecer como persona y a desarrollarme tanto profesional como espiritualmente.

Un agradecimiento a mi esposa e hijos por su valioso apoyo y comprensión durante el desarrollo de mi carrera profesional y en especial en la consecución del presente proyecto.

Quiero agradecer a la Fábrica de Municiones “Santa Bárbara”, tanto al personal administrativo como técnico, por el apoyo brindado y por su incansable trabajo en la consecución de este proyecto.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE por la formación profesional impartida a lo largo de mi carrera, y en especial al Señor Ingeniero Fernando Olmedo, Director de Tesis, y al Señor Ingeniero Pablo Figueroa, Codirector de la misma, por su valioso apoyo y paciencia en el desarrollo de este Proyecto.

Milbert Damián.

## DEDICATORIA

Alrededor de una carrera basada en la dedicación, sacrificio y esfuerzo me he dado cuenta que no es la labor de una sola persona sino que involucra el apoyo tanto de familiares como de amigos.

Esta es la razón por la cual me permito dedicar este trabajo a mi familia y amigos, pero especialmente a mi esposa, Alexandra, quien ha sido y es uno de los pilares fundamentales sobre el cual me he apoyado a fin de conseguir las metas que me he propuesto.

A mi madre, quien con su firmeza y amor supo inculcar en mí la responsabilidad, el trabajo y la honestidad. A mi padre, a quien admiro y respeto, porque pese a las dificultades de la vida supo junto a mi madre mantener la frente bien en alto sin que nada ni nadie lo logre doblegar, y este ejemplo es el que me ha permitido avanzar, a no retroceder, a caer y levantarme, a continuar en la lucha de los objetivos impuestos. A mi hermano, quién fue la persona que siempre creyó en mí y me apoyó incondicionalmente en todos los aspectos.

Edmundo Xavier.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer primero a Dios ya que su luz ha iluminado mi camino y ha sido la guía por el sendero de la justicia, la equidad, la humildad y el respeto por el ser humano.

A mi esposa por toda la comprensión, valioso apoyo y abnegada dedicación a lo largo de esta carrera y en especial en el desarrollo del presente proyecto.

A mis padres por su apoyo moral y económico durante toda la carrera

A la Fábrica de Municiones “Santa Bárbara” y a todas personas que trabajan en ella, tanto de la división de armas y municiones, división industrial como personal administrativo, por el apoyo brindado en la elaboración de este proyecto.

De igual manera, mi más sincero agradecimiento a la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE por el esfuerzo empleado en la entrega de profesionales comprometidos con el progreso del Ecuador. Específicamente, quiero manifestar mi gratitud y respeto al Señor Ingeniero Fernando Olmedo, Director de Tesis y docente de la facultad y al Señor Ingeniero Figueroa Pablo, Codirector de la misma, por todos los conocimientos impartidos y su valioso aporte en el desarrollo de este proyecto de grado.

Para finalizar, deseo agradecer de la manera más sincera a mi Crnl. Guillermo Aguirre Marín y esposa quienes han contribuido a lo largo de toda mi carrera en aspectos tanto éticos como profesionales, de ellos mi crecimiento como ser humano.

Edmundo Xavier

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I .....	18
1. GENERALIDADES.....	18
1.1. ANTECEDENTES .....	18
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	19
1.3. OBJETIVOS.....	20
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	20
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
1.4. ALCANCE DEL PROYECTO .....	20
CAPÍTULO II .....	21
2. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS.....	21
2.1. PARÁMETROS FUNCIONALES .....	21
2.2. PARÁMETROS OPERACIONALES .....	23
2.2.1. DESCRIPCIÓN.....	23
2.2.2. CICLO DE TRABAJO .....	25
2.2.3. SINCRONIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS .....	26
2.3. PARÁMETROS DIMENSIONALES.....	43
2.3.1. DESCRIPCIÓN.....	43
2.3.2. CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES Y GEOMÉTRICAS.....	44
2.4. PARÁMETROS DEL ENSAMBLAJE .....	46
2.4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MUNICIÓN .....	46
2.4.2. PROCESO Y PARÁMETROS DEL ENSAMBLAJE.....	48
2.5. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS ÓPTIMA.....	49
2.5.1. MECANISMO CORREDERA PORTA PUNZONES .....	49
2.5.2. MECANISMO SUJETADOR Y TRANSPORTE DE LA CÁPSULA .....	49
2.5.3. MECANISMO DE ENSAMBLAJE DE LA CÁPSULA DE LA MUNICIÓN .....	50
2.5.4. MECANISMO DE EXTRACTORES.....	50
2.6. CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA Y ELEMENTOS .....	53
2.7. FUNCIONAMIENTO .....	54
2.8. UTILIZACIÓN DE EQUIPOS QUE DISPONE LA EMPRESA.....	54

2.9. SEGURIDAD.....	54
CAPÍTULO III .....	55
3. DISEÑO Y SIMULACIÓN .....	55
3.1. DISEÑO DE ELEMENTOS MECÁNICOS.....	55
3.1.1. DISEÑO DE ELEMENTOS PARA LA DEFORMACIÓN DE LA BOCA DEL TUBO PLÁSTICO.....	55
3.1.1.1. Diseño del punzón N.- 1 .....	61
3.1.1.2. Diseño del punzón N.- 2 .....	62
3.1.1.3. Diseño del punzón N.- 3 .....	63
3.1.1.4. Diseño del punzón N.- 4 .....	64
3.1.2. DISEÑO DE ELEMENTOS PARA LA TRANSPORTACIÓN DEL TUBO PLÁSTICO.....	65
3.1.2.1. Diseño de Pinzas.....	65
3.1.2.2. Diseño de Resortes Helicoidales .....	66
3.2. DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRONEUMÁTICO PARA LA ALIMENTACIÓN, ENSAMBLAJE Y TRANSPORTE DE LOS ELEMENTOS .....	72
3.2.1. SISTEMA ELECTRONEUMÁTICO .....	73
3.2.1.1. Captadores de Información.....	74
3.2.1.2. Tratamiento de Información .....	77
3.2.1.3. Desarrollo del Circuito Electroneumático .....	78
3.2.2. DISEÑO DE ELEMENTOS PARA LA FIJACIÓN DE LOS TUBOS PLÁSTICOS. ....	89
3.2.2.1 Diseño de accesorios verticales y base para accesorios verticales.....	90
3.2.3. DISEÑO DE LA BASE PARA LA FIJACIÓN CILINDROS HORIZONTALES Y ACCESORIOS QUE PERMITEN EL TRANSPORTE DE LA BOBINA PLÁSTICA Y CULOTE METÁLICO .....	90
3.3 ELABORACIÓN DE LAS HOJAS DE PROCESOS .....	91
3.4. SIMULACIÓN DEL PROCESO DE ENSAMBLAJE .....	92
3.4.1. TIPOS DE RESTRICCIONES .....	93
3.4.2. ARTICULACIONES .....	93
3.4.2.1 Tipos de Articulaciones.....	94

3.4.3. MOVIMIENTOS .....	95
3.4.4 GRADOS DE LIBERTAD .....	95
3.4.5. TIPOS DEL FUNCIONES QUE DEFINEN EL MOVIMIENTO ....	96
3.4.6 CREAR UNA ARTICULACIÓN.....	96
3.4.6.1. Métodos para crear Articulaciones:.....	96
3.4.7. SIMULACIÓN .....	100
CAPÍTULO IV.....	104
4. ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO.....	104
4.1. ANÁLISIS ECONÓMICO .....	104
4.1.1. ESTUDIO DE MERCADO .....	104
4.1.1.1. Estudio de la Oferta y la Demanda .....	104
4.1.2. ESTUDIO TÉCNICO .....	105
4.1.3. ANÁLISIS DE COSTOS .....	106
4.2. ANÁLISIS FINANCIERO .....	110
CAPÍTULO V.....	112
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	112
5.1. CONCLUSIONES .....	112
5.2. RECOMENDACIONES .....	113
BIBLIOGRAFÍA.....	115
ANEXOS.....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 2.1 Máquina Pb 31-10.....	21
Figura. 2.2 Bala (Producto final).....	22
Figura. 2.3 Esquema del proceso de fabricación de la bala.....	22
Figura. 2.4 Motor principal y cigüeñal .....	23
Figura. 2.5 Corredera.....	24
Figura. 2.6 Mandos de transportador y extractores.....	24
Figura. 2.7 Transportador .....	25
Figura. 2.8 Extractores.....	25
Figura. 2.9 Mecanismo biela-manivela y corredera portapunzones .....	26
Figura. 2.10 Circuito vectorial.....	27
Figura. 2.11 Desplazamiento $r_1$ vs ángulo $\Theta_2$ .....	28
Figura. 2.12 Velocidad vs Angulo $\Theta_2$ .....	29
Figura. 2.13 Velocidad vs ángulo $\Theta_2$ .....	29
Figura. 2.14 Relación entre el eje del cigüeñal y el eje del árbol de levas vertical.....	31
Figura. 2.15 Levas (PB 31-10) que permiten el movimiento del transportador	31
Figura. 2.16 Leva que permite el movimiento del transportador .....	32
Figura. 2.17 Leva PB 31-10 .....	34
Figura. 2.18 Desplazamiento vs ángulo $\Theta$ .....	36
Figura. 2.19 Velocidad vs ángulo $\Theta$ .....	36
Figura. 2.20 Aceleración vs ángulo $\Theta$ .....	37
Figura. 2.21 Leva polinomial .....	37
Figura. 2.22 Leva PB 31-10 .....	38
Figura. 2.23 Leva dibujada a partir de la leva PB 31-10 .....	38
Figura. 2.24 Leva polinomial obtenida .....	39
Figura. 2.25 Leva PB 31-10 en WM2D .....	40
Figura. 2.26 Mecanismo leva - transportador.....	40
Figura. 2.27 Punto de partida de los mecanismos .....	41
Figura. 2.28 Simulación en WM2D.....	43
Figura. 2.29 Esquema corredera transportador .....	44
Figura. 2.30 Bobina plástica.....	44

Figura. 2.31 Tubo plástico.....	45
Figura. 2.32 Culote metálico .....	45
Figura. 2.33 Cápsula no fulminada .....	46
Figura. 2.34 Cápsula fulminada .....	47
Figura. 2.35 Elementos constitutivos de la cápsula fulminada.....	47
Figura. 2.36 Esquema en corte del proceso de ensamblaje .....	48
Figura. 2.37 Mecanismo de ensamble copa bala – núcleo de plomo.....	50
Figura. 2.38 Puntos de intersección, indicadores para la salida de cilindros. ..	51
Figura. 2.39 Sincronización de los mecanismos .....	52
Figura. 2.40 Sincronización de los mecanismos y el sistema neumático.....	52
Figura. 3.1 Esquema de la disposición de los punzones .....	55
Figura. 3.2 Esquema punzón – elementos de sujeción.....	56
Figura. 3.3 Probetas para ensayo de tracción.....	57
Figura. 3.4 Máquina para el ensayo de materiales plásticos. ....	57
Figura. 3.5 Probetas realizadas los ensayos de tracción .....	58
Figura. 3.6 Diagrama esfuerzo-deformación de la probeta longitudinal .....	59
Figura. 3.7 Diagrama esfuerzo-deformación de la probeta transversal.....	60
Figura. 3.8 Punzón 1 .....	62
Figura. 3.9 Punzón 2.....	63
Figura. 3.10 Punzón 3.....	64
Figura. 3.11 Punzón 4.....	64
Figura. 3.12 Elementos que permiten la transportación del tubo plástico .....	65
Figura. 3.13 Determinación de la deflexión dinámica.....	67
Figura. 3.14 Esquema de diferentes distancias que sufre el resorte.....	70
Figura. 3.15 Disposición de los cilindros .....	72
Figura. 3.16 Esquema para el ensamblaje, alimentación y transporte de los elementos .....	73
Figura. 3.17 Captadores por Contacto Físico.....	74
Figura. 3.18 Temporizador.....	75
Figura. 3.19 Sensor óptico de proximidad.....	75
Figura. 3.20 Diagrama básico de un sensor óptico. ....	76
Figura. 3.21 Circuito electroneumático.....	80
Figura. 3.22 Funcionamiento inicial del circuito.....	81

Figura. 3.23 Accionamiento de los cilindros.....	82
Figura. 3.24 Funcionamiento final del circuito.....	83
Figura 3.25 Selección del cilindro ingresando los datos al Software de Neumática.....	86
Figura 3.26 Características mecánicas del cilindro seleccionado. ....	86
Figura. 3.27 Sistema de mantenimiento.....	87
Figura. 3.28 Clasificación de la unidad de mantenimiento de aire .....	88
Figura. 3.29 Unidad de mantenimiento recomendada .....	88
Figura. 3.30 Accesorios para la fijación de tubos plásticos.....	89
Figura. 3.31 Bases y accesorios para cilindros laterales .....	91
Figura. 3.32 Grados de libertad de los diferentes tipos de juntas .....	94
Figura. 3.33 Definición de la articulación .....	95
Figura. 3.34 Menú principal.....	96
Figura. 3.35 Creación de articulaciones.....	97
Figura. 3.36 Creación de articulaciones.....	97
Figura. 3.37 Creación de articulaciones.....	97
Figura. 3.38 Definición de la articulación .....	98
Figura. 3.39 Definición de propiedades.....	99
Figura. 3.40 Definición del movimiento .....	100
Figura. 3.41 Posición inicial del proceso .....	101
Figura. 3.42 Avance de los sistemas corredera – transportador.....	101
Figura. 3.43 Desplazamiento de cilindros verticales y horizontales .....	102
Figura. 3.44 Corredera en el PMS .....	102
Figura. 3.45 Retorno del transportador y corredera .....	103
Figura. 3.46 Retorno al estado inicial del proceso .....	103
Figura. 4.1 Diagrama de procesos para el ensamble de la munición.....	109

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Valores de desplazamiento, velocidad y aceleración del mecanismo biela-manivela.....	30
Tabla 3.1 Ensayo de tracción probeta longitudinal.....	58
Tabla 3.2 Ensayo de tracción probeta longitudinal.....	59
Tabla 3.3 Requerimientos para el sistema electroneumático.....	89
Tabla 4.1 Oferta a nivel nacional.....	104
Tabla 4.2 Elementos de la munición de caza y su procedencia.....	105
Tabla 4.3 Maquinaria requerida para ensamblar la munición de caza .....	106
Tabla 4.4 Número de operarios para el proceso de ensamblaje.....	106
Tabla 4.5 Costo del rediseño de la maquinaria.....	107
Tabla 4.6 Costo de producción de la munición de caza.....	108
Tabla 4.7 Inversión para el proceso de ensamblaje.....	108

## RESUMEN

La Fábrica de Municiones “Santa Bárbara” y específicamente DINECOMS luego de realizar un profundo estudio de mercado, determinó que existe una gran demanda de munición de caza aproximadamente de 12 millones de cartuchos al año a nivel nacional y teniendo en cuenta que la fábrica produce 7,5 millones con cápsulas fulminadas importadas y que existe una demanda insatisfecha de munición de 1,6 millones, se ha visto la necesidad de aprovechar la maquinaria que se encargaba de la producción de la bala calibre 7,62 mm., que actualmente está fuera de uso, a fin de rediseñarla para que realice el ensamblaje de la cápsula de munición de caza y de esta manera producir los 9,1 millones de cartuchos lo que representaría ganancias para la fábrica de municiones.

Para el desarrollo de este proyecto se contempla inicialmente una definición de parámetros de la máquina PB 31-10 donde se describe las estaciones para el proceso de formación de la bala calibre 7,62 mm, así como el ciclo de operación y la sincronización del movimiento entre la corredera portapunzones que es un mecanismo biela-manivela y el movimiento del transportador mediante un análisis cinemático de la leva.

El parámetro dimensional establece la geometría de la munición de caza calibre 16 y los espacios que la máquina nos brinda para su transformación, determinándose el proceso y parámetros de ensamblaje de nuestro producto mediante la selección de la alternativa más óptima, identificando los mecanismos que sirven para el nuevo proceso tales como el mecanismo corredera portapunzones, el mecanismo sujetador y transporte de la cápsula, que requieren cambios geométricos y determinando los elementos que requieren un rediseño tales como el mecanismo de ensamblaje de la cápsula de la munición y mecanismo de extractores que por ser este último accionado por un sistema de levas necesariamente requieren ser reemplazados por un sistema como es el electroneumático que puede actuar en los intervalos determinados en la sincronización de los elementos.

Una vez analizados los mecanismos que se rediseñarán se procedió a diseñar los punzones para la deformación del tubo plástico, para lo cual se determinó las características del tubo mediante ensayos de tracción para así diseñar la geometría de los nuevos punzones.

El siguiente elemento que se rediseñó es el conjunto de pinzas y los resortes helicoidales donde se aloja la munición.

En lo que respecta al sistema electroneumático, que reemplaza al sistema de extractores una vez identificado el tiempo en el cual debe actuar para la fijación del tubo plástico, se diseñó partiendo que se maneja velocidades de 100 rpm y se necesita tiempos de reacción inmediatos luego de que la corredera portapunzones se encuentre a la mitad de su carrera, de ahí que se seleccionó sensores ópticos para que manden al sistema electroneumático.

Como parte del sistema electroneumático tenemos que los minicilindros a utilizar son los ISO 6432 que trabajan a altas velocidades y que por su geometría se acoplan en los espacios que disponemos en la máquina PB 31-10 y sobre elementos donde se apoyarán, esto es bases y accesorios, para que realicen el trabajo de alimentar la bobina y culote metálico.

El siguiente paso luego del diseño es la simulación del ensamblaje de la munición de caza calibre 16, para lo cual se utilizó dos programas el Solid Works donde se realizaron todos los elementos que forman parte de la máquina PB31-10 por separado y que permitirán realizar el ensamblaje de la munición de caza y el programa Cosmos Motion donde se debe tener muy en cuenta las distancias y relaciones de posición reales que se tiene entre cada una de las pieza.

Ya en la simulación las restricciones se especifican cómo los cuerpos rígidos se unen unos a otros, cómo se mueven entre ellos, y cómo se aplican las fuerzas.

Para finalizar se realizó el análisis económico financiero para ver su viabilidad, para lo cual se calculó el costo del rediseño de la máquina PB 31-10 por un valor aproximado de 22 mil dólares y el costo de producir 8 millones de cartuchos al año, y luego se procedió a elaborar el flujo de caja presupuestado a 10 años obteniéndose un VAN de 1,7 millones de dólares, un TIR de 78% en un tiempo de recuperación de la inversión de dos años, con lo cual se justifica la ejecución del proyecto.

# **CAPÍTULO I**

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1. ANTECEDENTES**

La Fábrica de Municiones Santa Bárbara, ubicada en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui, parroquia San Pedro, Av. El Progreso junto a la ESPE es una de las grandes empresas pertenecientes al ejército ecuatoriano cuyos principios están basados en el mejoramiento continuo que le permita ser competitiva en el mercado nacional e internacional.

La fábrica tiene algunos campos de trabajo, tanto en la división industrial como en la división de armas y municiones, éste último responsable de proveer de municiones para las Fuerzas Armadas y la comunidad.

La Fábrica de Municiones “Santa Bárbara” en la década del 80 fabricaba y producía cartuchos calibre 7,62 mm., más los avances tecnológicos en las guerras actuales hicieron que en el Ecuador las Fuerzas Armadas cambien su armamento en dotación por el fusil HK-33 calibre 5,56mm haciendo que el mercado de la munición 7,62 mm. baje completamente dando como resultado que la Fábrica de Municiones Santa Bárbara cierre la elaboración de este producto en el año 1993.

La Fábrica de Municiones “Santa Bárbara” y específicamente DINECOMS luego de realizar un profundo estudio de mercado, determinó que existe una gran demanda de munición de caza orientada hacia las camaroneras, seguridad industrial y privada, cacería (mínima cantidad) y compañías que dan servicio de seguridad; con una demanda aproximada de 12'000.000 de cartuchos al año a nivel nacional.

Teniendo en cuenta que la Fábrica de Municiones produce munición de caza, con la utilización de cápsulas fulminadas importadas desde Europa, componente cuyo costo se eleva debido a los diferenciales cambiarios altos, se ha visto la necesidad de aprovechar la maquinaria que existía para la producción de la bala calibre 7,62 mm. A fin de rediseñarla para que realice el ensamblaje de la cápsula de munición de caza.

En el desarrollo de este proyecto se contempla un análisis profundo con descripción y evaluación del sistema de producción para determinar parámetros críticos que permitan el rediseño y construcción de las partes, piezas y mecanismos necesarios para adaptar la maquinaria al nuevo proceso de ensamblaje.

## **1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

La Fábrica de Municiones al haber paralizado la producción de la munición calibre 7,62 mm., puso también fuera de uso la respectiva maquinaria, la misma que en la actualidad se encuentra en buenas condiciones de operabilidad, lo que permite que se realicen varias readecuaciones para adaptarla a una nueva producción.

En vista de que en la actualidad la cápsula fulminada, que es uno de los componentes para la elaboración de la munición de caza, se importa desde Europa, lo cual incrementa el costo del producto y se está sujeto a diferenciales cambiarios altos, se ha desarrollado el presente proyecto que permitirá rehabilitar la valiosa maquinaria que al momento se encuentra fuera de uso, la misma que al adecuarla y ponerla en funcionamiento, permitirá a la fábrica en un corto plazo, tener la línea de ensamblaje de la cápsula de munición de caza y además permitirá a la Fábrica de Municiones tener un ahorro considerable en la fabricación de este tipo de producto.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Rediseñar la máquina de ensamblaje PB 31-10 para el ensamblaje de la cápsula de la munición de caza calibre 16.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- \* Evaluar las condiciones de funcionamiento de la Máquina PB 31-10.
  
- \* Determinar, estudiar y rediseñar los elementos, partes, piezas mecánicas que van a ser implementados en la Máquina PB 31-10 y que permitan desarrollar el correcto ensamblaje de la cápsula de la munición de caza calibre 16.
  
- \* Diseñar un sistema neumático que remplace el sistema de levas que permite soportar al tubo plástico, componente de la cápsula de la munición de caza.
  
- \* Realizar la simulación del proceso de ensamblaje de la cápsula de la munición de caza calibre 16.
  
- \* Realizar el estudio económico que permita establecer la viabilidad de la posterior construcción de los elementos y mecanismos rediseñados.

## **1.4. ALCANCE DEL PROYECTO**

El presente proyecto tiene por alcance realizar el rediseño y planos de construcción de todas las partes, piezas mecánicas y mecanismos que permitan realizar el correcto ensamblaje de la cápsula no fulminada de munición de caza y la simulación del proceso de ensamblaje.

## CAPÍTULO II

### 2. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS

#### 2.1. PARÁMETROS FUNCIONALES

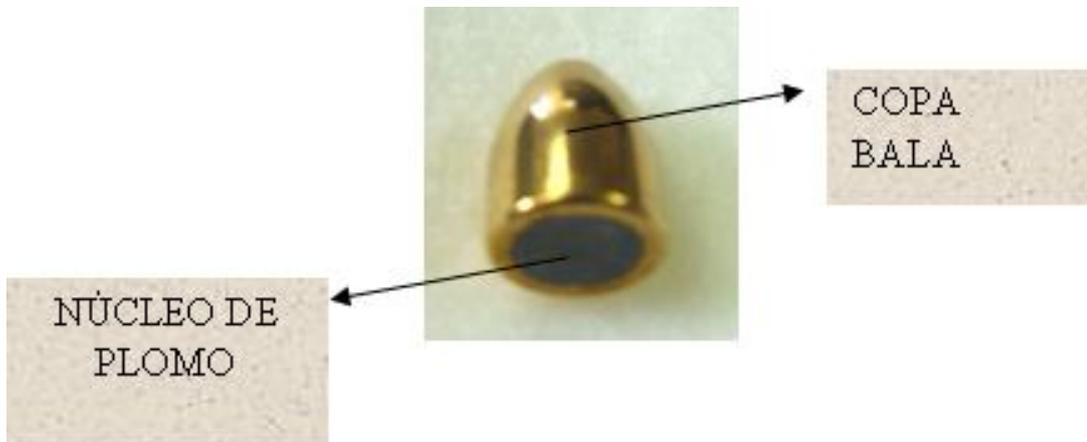
La máquina a ser evaluada, es la PB 31-10, la cual formaba parte de sistema de producción de la bala calibre 7,62 mm.



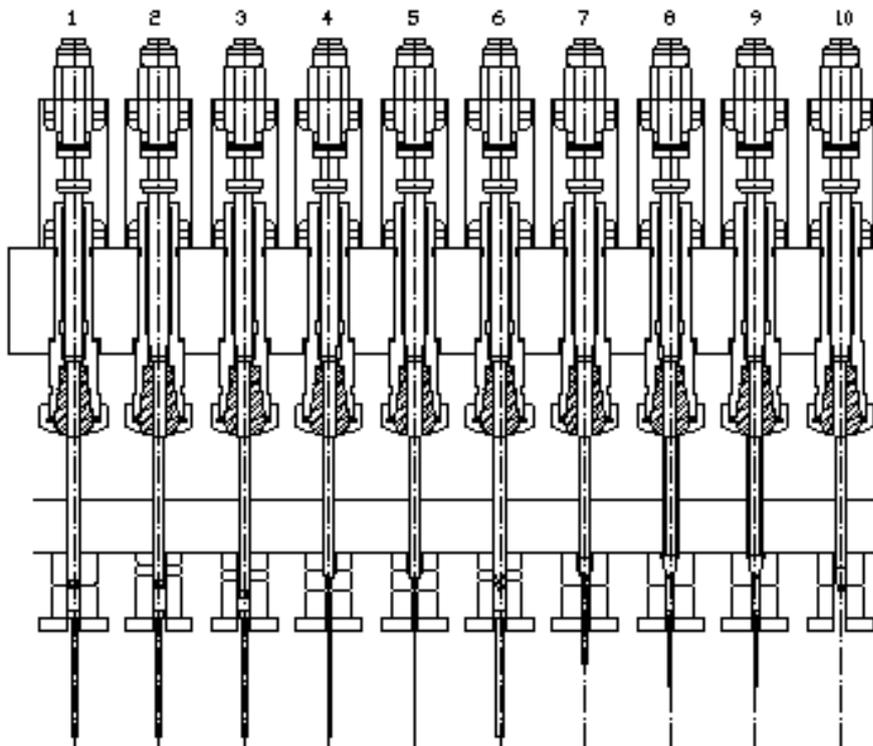
**Figura. 2.1 Máquina Pb 31-10**

La máquina PB 31-10 realizaba la embutición de la bala a través de un núcleo ya formado, que es transportado en forma manual a unos tambores de alimentación de la máquina, en esta a la vez se alimenta la copa bala, la cual sigue un proceso de 2 embuticiones, 3 ojivados, un corte, inserción del núcleo,

cono y rebatido, acabado de la parte trasera y uno de calibración, completando 10 estaciones comprendidos en el proceso de formación de la bala.



**Figura. 2.2 Bala (Producto final)**



**Figura. 2.3 Esquema del proceso de fabricación de la bala**

## 2.2. PARÁMETROS OPERACIONALES

### 2.2.1. DESCRIPCIÓN

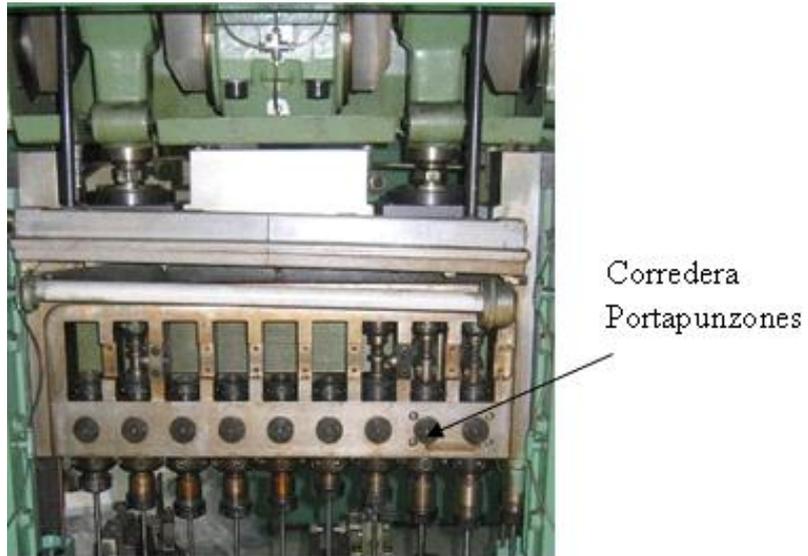
El motor principal de la máquina acciona sucesivamente:

- \* El volante, mediante correas trapezoidales, sobre cuyo eje se encuentra montado un embrague – freno de mando electroneumático.
- \* El cigüeñal por medio de un tren de engranajes de dientes helicoidales, encerrado en un cárter estanco.

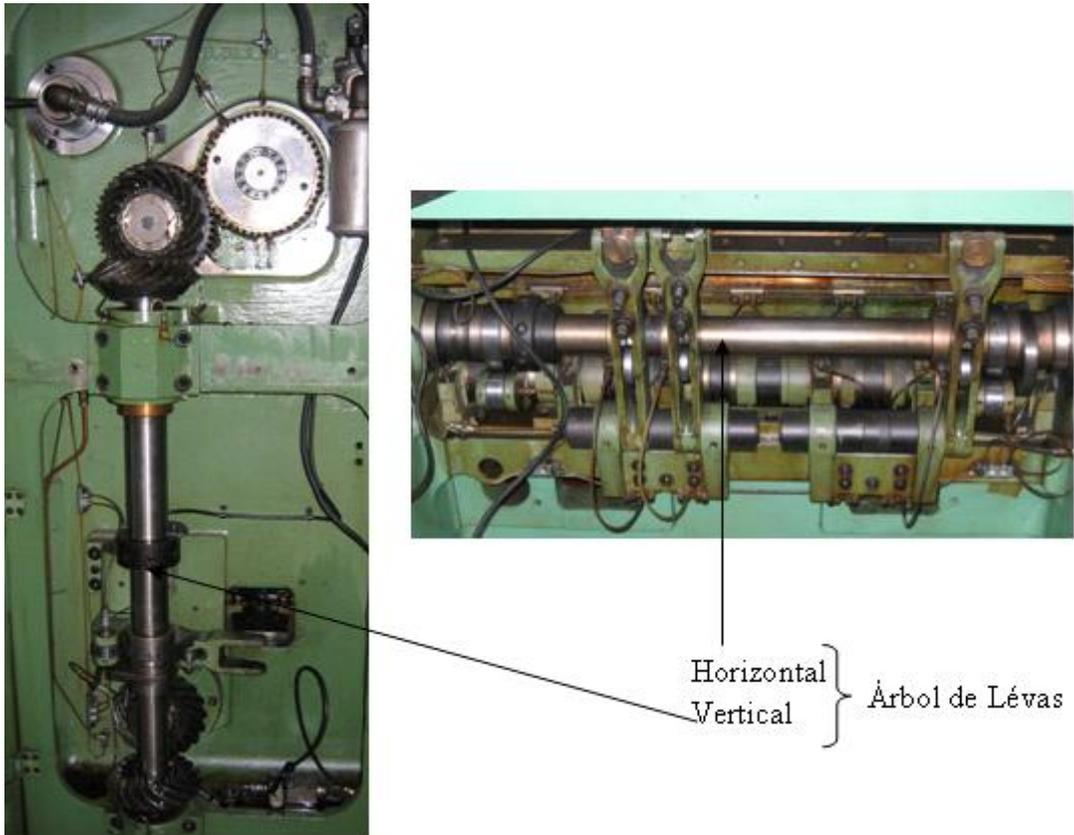


**Figura. 2.4 Motor principal y cigüeñal**

Mediante dos bielas, el cigüeñal actúa sobre la corredera portapunzones y mediante piñones helicoidales sobre los dos árboles de levas que mandan el uno (vertical) el transportador y los relés de seguridad, el otro (horizontal) los distribuidores, los extractores.



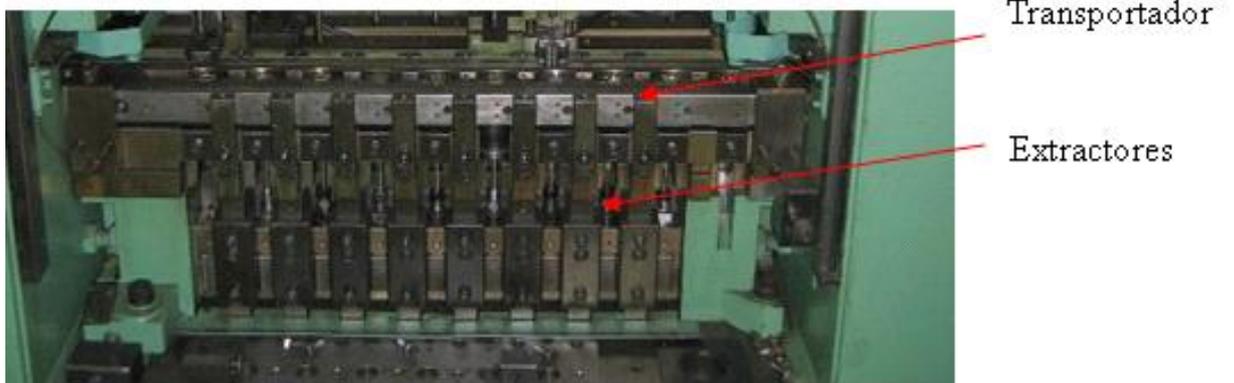
**Figura. 2.5 Corredera**



**Figura. 2.6 Mandos de transportador y extractores**



**Figura. 2.7 Transportador**



**Figura. 2.8 Extractores**

### **2.2.2. CICLO DE TRABAJO**

El ciclo operatorio es el siguiente:

- \* Avance del transportador.
  
- \* Avance de la corredera portapunzones y retroceso del transportador.

\* Retroceso de la corredera, avance de los extractores que colocan los productos en las pinzas del transportador con el fin de asegurar el traspaso hacia la estación siguiente, y retroceso de los extractores.

### 2.2.3. SINCRONIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS

Para la sincronización del movimiento entre la corredera portapunzones y el movimiento del transportador se analizó inicialmente el mecanismo biela-manivela que mueve a la corredera portapunzones indicada en la figura 2.9.

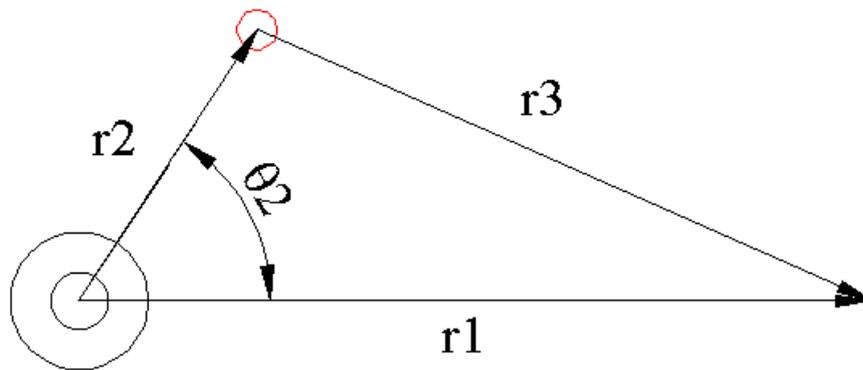
Luego se determinó la relación entre el eje del cigüeñal que contiene a la corredera y el eje que contiene el árbol de levas vertical como muestra la figura 2.14 y finalmente se realizó el análisis cinemático de las levas figura 2.15 que mueven el transportador.



Mecanismo biela-manivela

**Figura. 2.9 Mecanismo biela-manivela y corredera portapunzones**

Para realizar el análisis de movimiento del mecanismo biela-manivela se consideró el siguiente circuito vectorial dado por los eslabonamientos:



**Figura. 2.10 Circuito vectorial**

Para resolver este sistema se utilizó las variables conocidas ( $r_1$ ,  $r_2$  y  $\theta_2$ ) y las fórmulas del álgebra compleja y la ecuación de Euler<sup>1</sup>, determinándose lo siguiente:

$$\theta_2 := 0, 0,25 \dots 2 \cdot \pi$$

$$r_2 := 70 \text{ mm}$$

$$r_3 := 335 \text{ mm}$$

El desplazamiento de  $r_1$  en función de  $\theta_2$  está dado por:

$$r_1(\theta_2) := r_2 \cdot \cos(\theta_2) + r_3 \cdot \sqrt{\left[ 1 - \left( \frac{r_2}{r_3} \right)^2 \cdot \sin(\theta_2)^2 \right]} \quad (2.1)$$

La velocidad angular del cigüeñal es:

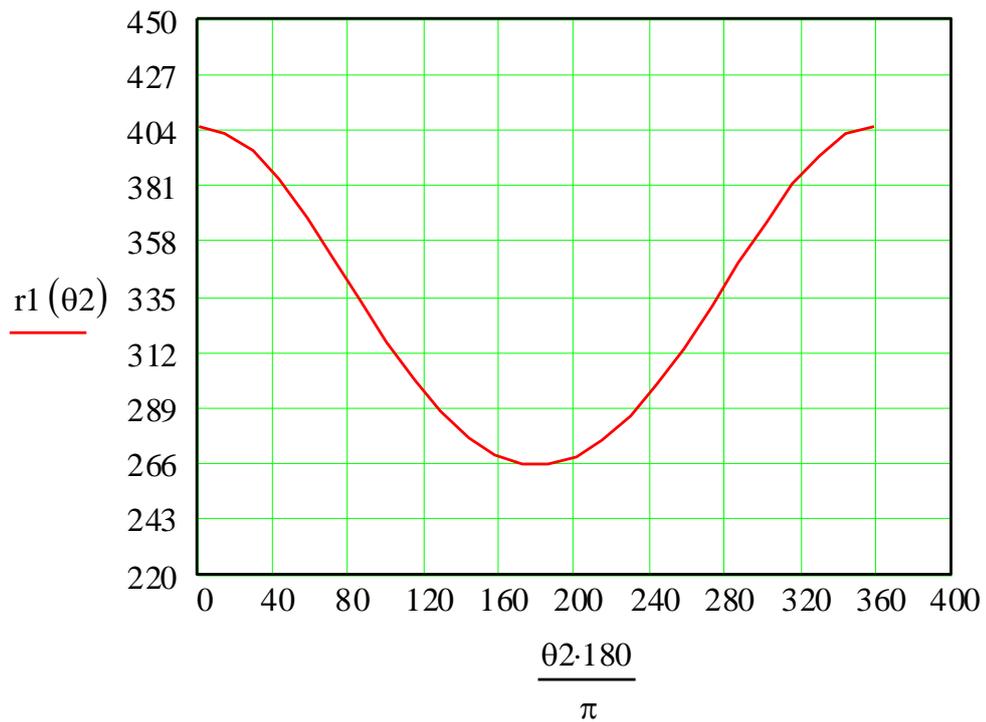
$$\omega_2 := \frac{200 \cdot \pi}{60} \quad \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

---

<sup>1</sup> "Teoría de Máquinas y Mecanismos asistida por computador", Pág. 18-24.

$$\theta_3(\theta_2) := \arcsin\left(\frac{-r_2 \cdot \sin(\theta_2)}{r_3}\right) \quad (2.2)$$

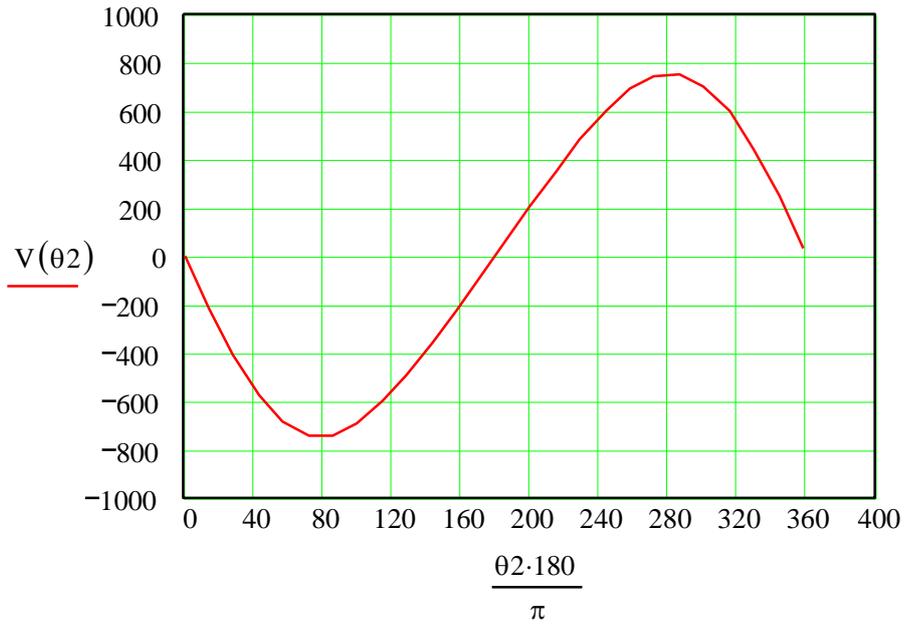
$$\omega_3(\theta_2) := \frac{-r_2 \cdot \omega_2 \cdot \cos(\theta_2)}{r_3 \cdot \cos(\theta_3(\theta_2))} \quad (2.3)$$



**Figura. 2.11 Desplazamiento  $r_1$  vs ángulo  $\theta_2$**

La velocidad de la corredera está dada por la siguiente expresión:

$$v(\theta_2) := -r_2 \cdot \omega_2 \cdot \sin(\theta_2) - r_3 \cdot \omega_3(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3(\theta_2)) \quad (2.4)$$

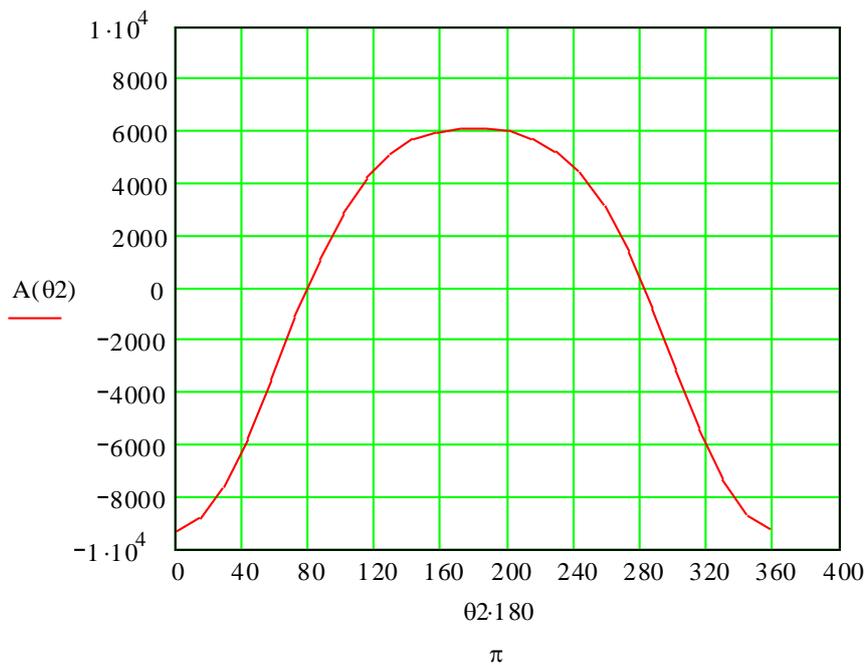


**Figura. 2.12 Velocidad vs Angulo  $\theta_2$**

La aceleración de la corredera está dada por la siguiente expresión:

$$\alpha_3(\theta_2) := \frac{r_3 \cdot \omega_3(\theta_2)^2 \cdot \sin(\theta_3(\theta_2)) + r_2 \cdot \omega_2^2 \cdot \sin(\theta_2)}{r_3 \cdot \cos(\theta_3(\theta_2))} \quad (2.5)$$

$$A(\theta_2) := -r_2 \cdot \omega_2^2 \cdot \cos(\theta_2) - r_3 \cdot \alpha_3(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3(\theta_2)) - r_3 \cdot \omega_3(\theta_2)^2 \cdot \cos(\theta_3(\theta_2)) \quad (2.6)$$



**Figura. 2.13 Velocidad vs ángulo  $\theta_2$**

A continuación se presenta un cuadro resumen de los datos obtenidos en los puntos muertos superior (PMS), inferior (PMI) y en el instante en que la aceleración es cero.

**Tabla 2.1 Valores de desplazamiento, velocidad y aceleración del mecanismo biela-manivela**

	TETA 2 (°)	TETA 2 (rad)	r1 (m)	V (m/s)	A (m/s <sup>2</sup> )
<b>PMS</b>	0	0,000	0,405	0,000	9,280
	80	1,396	0,340	0,742	0,000
<b>PMI</b>	180	3,142	0,265	0,000	6,064
	280	4,887	0,340	0,745	0,000
<b>PMS</b>	360	6,283	0,405	0,000	9,280

El siguiente paso es determinar la relación entre el eje del cigüeñal y el eje del árbol de levas figura 2.14 que nos proporcionará la relación de velocidades entre los dos ejes.

Como se puede observar en la figura el número de dientes de los engranes rectos y helicoidales son iguales por lo tanto se puede expresar la relación de velocidad utilizando la siguiente fórmula<sup>2</sup>:

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (2.7)$$

Donde  $\omega$  es la velocidad angular y Z es el número de dientes de los engranes.

De esta ecuación se tiene que  $Z_1 = Z_2$ , por lo tanto la relación es 1 y la velocidad angular que transmite el cigüeñal al eje de levas verticales es la misma 100 rpm.

---

<sup>2</sup> H.S. Mabie, "Mecanismos y dinámica de maquinaria", 1993. Pág.175.

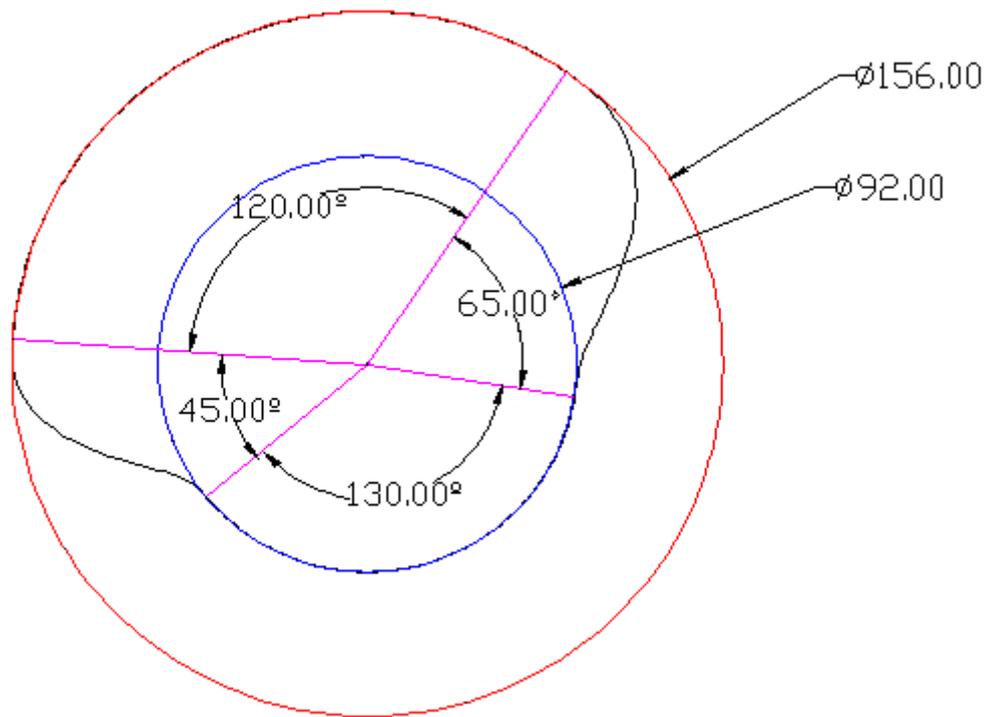


**Figura. 2.14 Relación entre el eje del cigüeñal y el eje del árbol de levas vertical**

El siguiente paso es el análisis cinemático de la leva, figura 2.15, que permite el movimiento del transportador, para lo cual se graficó la leva y se determinó los ángulos en los cuales se produce la subida del seguidor, reposo alto, bajada del seguidor y el reposo bajo tal como se indica en la figura 2.16.



**Figura. 2.15 Levas (PB 31-10) que permiten el movimiento del transportador**



**Figura. 2.16 Leva que permite el movimiento del transportador**

A continuación, utilizando los datos de la figura 2.16 se puede observar que su geometría se asemeja a la de una leva polinomial, para lo cual se determinó el desplazamiento del seguidor utilizando la ley de desplazamiento de movimiento polinomial<sup>3</sup>, la cual nos permite adaptar a cualquier requerimiento de posición, velocidad, aceleración sin importar la velocidad de operación a la que funcione la leva.

La cantidad de constantes depende de la cantidad de condiciones de frontera inicial y final que existan en el tramo de subida o de bajada de una leva y de esa cantidad corresponde al grado del polinomio.

En la leva las condiciones de frontera en la subida del seguidor son las siguientes:

cuando  $\theta = 0$

cuando  $\theta = \beta$

<sup>3</sup> "Teoría de Máquinas y Mecanismos asistida por computador", 2004. Pág. 162.

$$\begin{array}{ll}
s := 0 & s := h \\
v := 0 & v := 0 \\
a := 0 & a := 0
\end{array}$$

Por lo tanto el polinomio obtenido es de grado 5 y es el siguiente:

$$s(\theta) := c_0 + c_1 \cdot \left(\frac{\theta}{\beta}\right) + c_2 \cdot \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + c_3 \cdot \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + c_4 \cdot \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 + c_5 \cdot \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^5 \quad (2.8)$$

Cuando  $\theta = 0$

$$c_0 := 0$$

Cuando  $\theta = \beta$

$$h := c_0 + c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5$$

$$v(\theta) := \frac{1}{\beta} \left[ c_1 + 2 \cdot c_2 \cdot \left(\frac{\theta}{\beta}\right) + 3 \cdot c_3 \cdot \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + 4 \cdot c_4 \cdot \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + 5 \cdot c_5 \cdot \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 \right] \quad (2.9)$$

$$c_1 := 0$$

$$0 := 2 \cdot c_2 + 3 \cdot c_3 + 4 \cdot c_4 + 5 \cdot c_5$$

$$a(\theta) := \frac{1}{\beta^2} \left[ 2 \cdot c_2 + 6 \cdot c_3 \cdot \left(\frac{\theta}{\beta}\right) + 12 \cdot c_4 \cdot \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + 20 \cdot c_5 \cdot \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 \right] \quad (2.10)$$

$$c_2 := 0$$

$$0 := 6 \cdot c_3 + 12 \cdot c_4 + 20 \cdot c_5$$

$$0 := \frac{c_1}{\beta}$$

Se tienen tres ecuaciones y tres incógnitas:

$$h:=c3+c4+c5$$

$$0:=3*c3+4*c4+5*c5$$

$$0:=6*c3+12*c4+20*c5$$

$$M := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 3 & 4 & 5 \\ 6 & 12 & 20 \end{pmatrix} \quad I := \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad M^{-1} \cdot I = \begin{pmatrix} 10 \\ -15 \\ 6 \end{pmatrix}$$

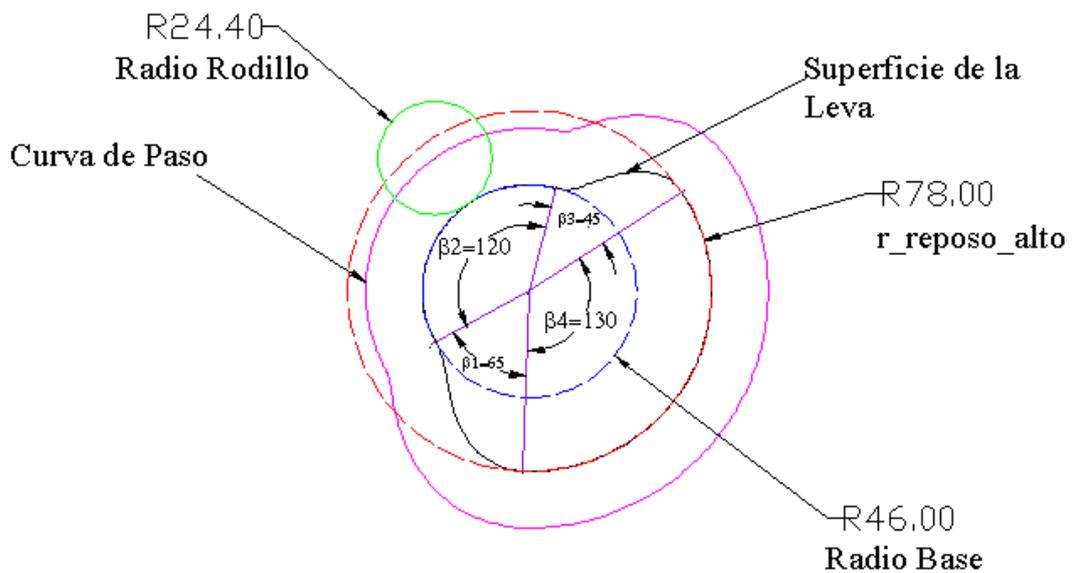
Por lo tanto:

$$c3 := 10$$

$$c4 := -15$$

$$c5 := 6$$

Datos:



**Figura. 2.17 Leva PB 31-10**

$$r\_reposo\_alto := 78 \text{ mm}$$

Radio del rodillo:

$$r_{\text{rodillo}} := 24.40 \text{ mm}$$

Radio base:

$$r_{\text{reposito\_bajo}} := 46 \text{ mm}$$

$$R_b := r_{\text{reposito\_bajo}}$$

$$h := r_{\text{reposito\_alto}} - r_{\text{reposito\_bajo}}$$

$$h = 32 \text{ mm}$$

$$\theta := 0..360$$

$$\beta_1 := 65$$

$$\beta_2 := 120$$

$$\beta_3 := 45$$

$$s1(\theta) := h \cdot \left[ c3 \cdot \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^3 + c4 \cdot \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^4 + c5 \cdot \left( \frac{\theta}{\beta_1} \right)^5 \right]$$

$$s2(\theta) := h$$

$$s3(\theta) := \text{if}(\theta \geq \beta_1, s2(\theta), s1(\theta))$$

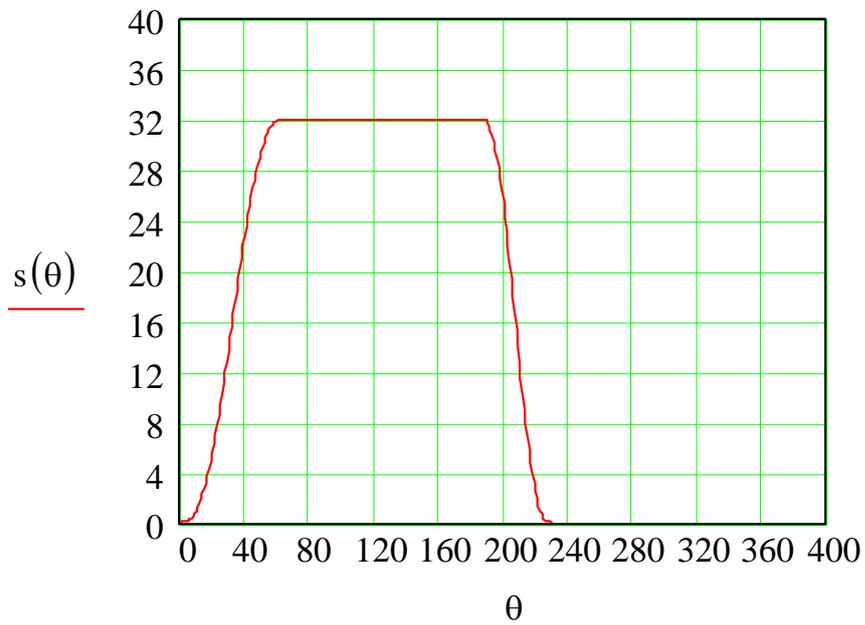
$$s4(\theta) := h \cdot \left[ 1 - \left[ c3 \cdot \left( \frac{\theta - \beta_1 - \beta_2}{\beta_3} \right)^3 + c4 \cdot \left( \frac{\theta - \beta_1 - \beta_2}{\beta_3} \right)^4 + c5 \cdot \left( \frac{\theta - \beta_1 - \beta_2}{\beta_3} \right)^5 \right] \right]$$

$$s5(\theta) := \text{if}(\theta \geq \beta_1 + \beta_2, s4(\theta), s3(\theta))$$

$$s6(\theta) := c$$

$$s(\theta) := \text{if}(\theta \geq \beta_1 + \beta_2 + \beta_3, s6(\theta), s5(\theta))$$

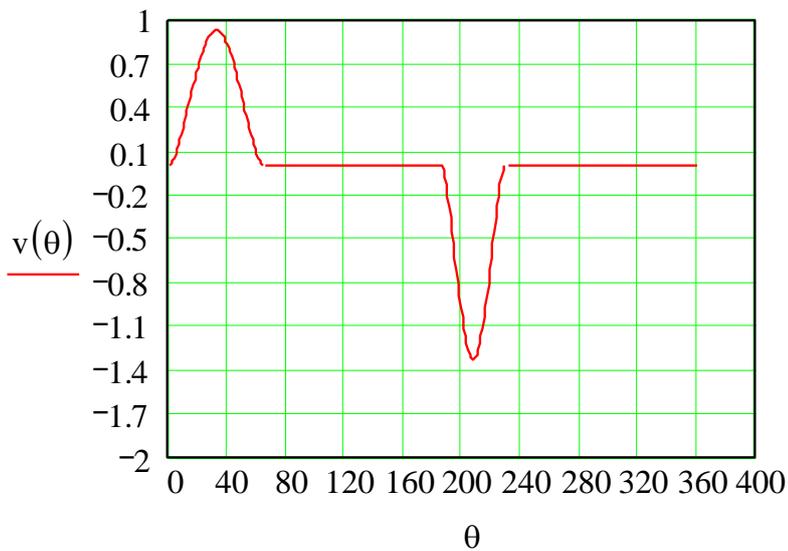
El gráfico del desplazamiento  $S(\Theta)$  en función de  $\Theta$  es el siguiente:



**Figura. 2.18 Desplazamiento vs ángulo  $\Theta$**

El gráfico de la velocidad  $V(\Theta)$  en función de  $\Theta$  es el siguiente:

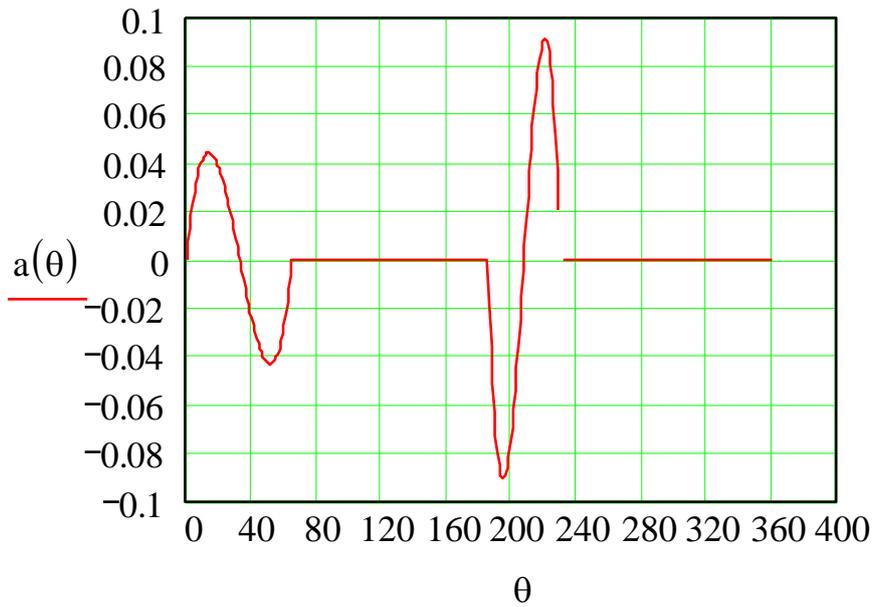
$$v(\theta) := \left( \frac{d}{d\theta} s(\theta) \right) \tag{2.11}$$



**Figura. 2.19 Velocidad vs ángulo  $\Theta$**

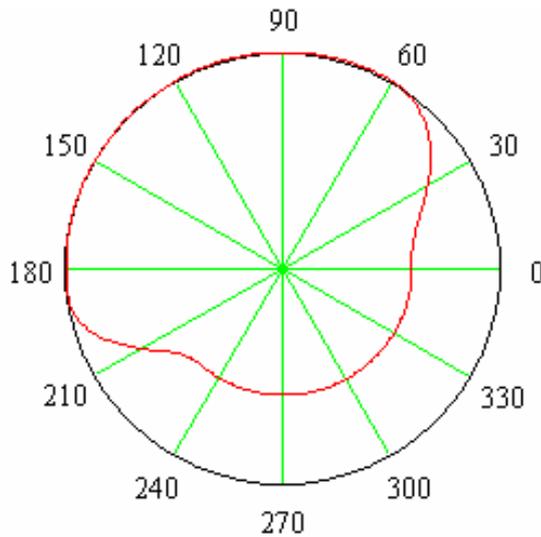
El gráfico de la aceleración  $a(\theta)$  en función de  $\theta$  es el siguiente:

$$a(\theta) := \frac{d^2}{d\theta^2}s(\theta) \tag{2.12}$$



**Figura. 2.20 Aceleración vs ángulo  $\theta$**

El gráfico de la leva obtenida mediante la ley del movimiento polinomial es el siguiente:

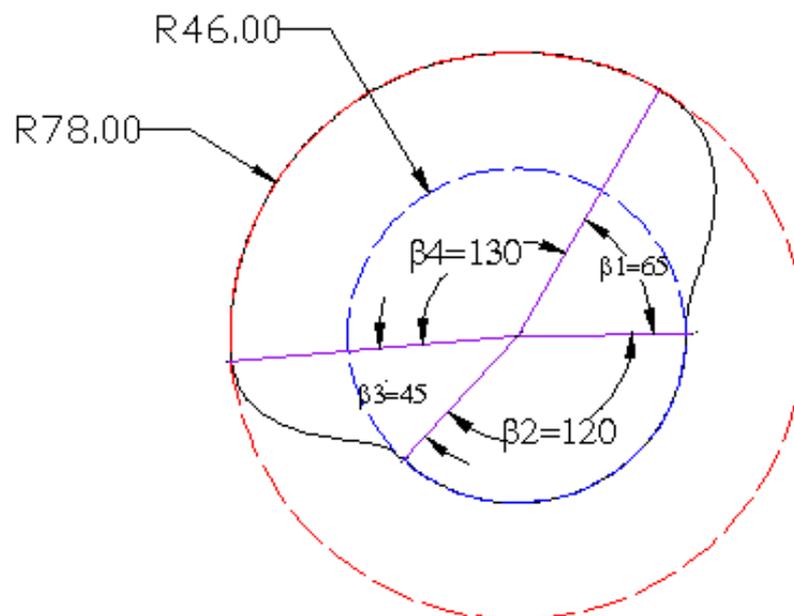


**Figura. 2.21 Leva polinomial**

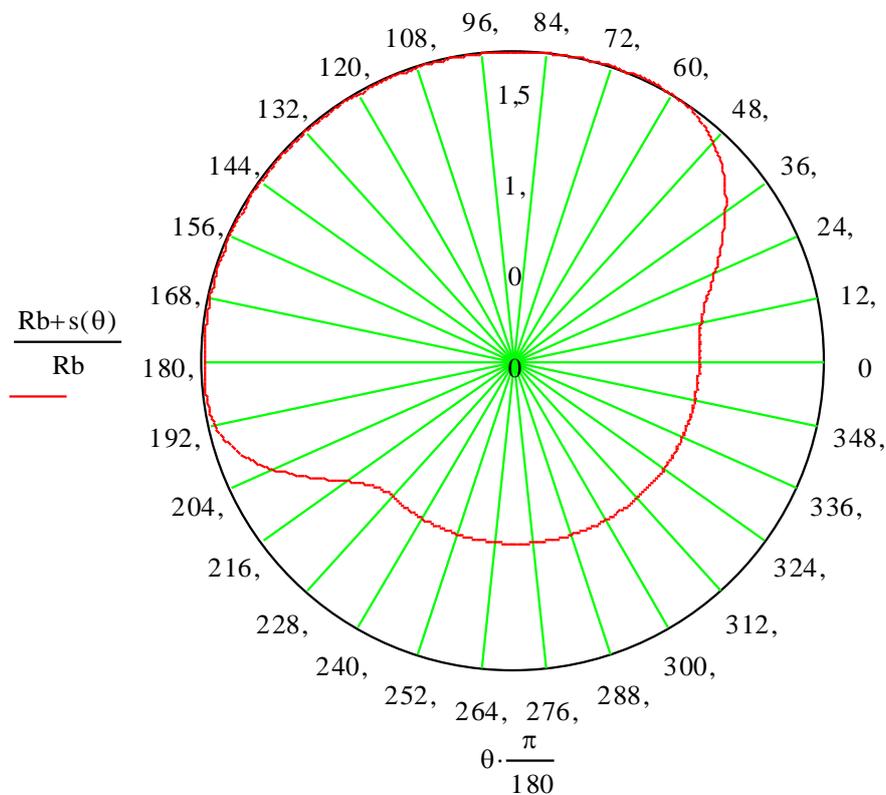
Como se puede observar, la leva obtenida mediante la ley del movimiento polinomial (figura 2.21) es una aproximación casi exacta a la dibujada en base a las mediciones realizadas directamente en la leva PB 31-10 (figura 2.15); por lo tanto esta nos permitirá sincronizar con mayor exactitud todos los movimientos que requiere el nuevo proceso de ensamblaje de la munición de caza.



**Figura. 2.22 Leva PB 31-10**



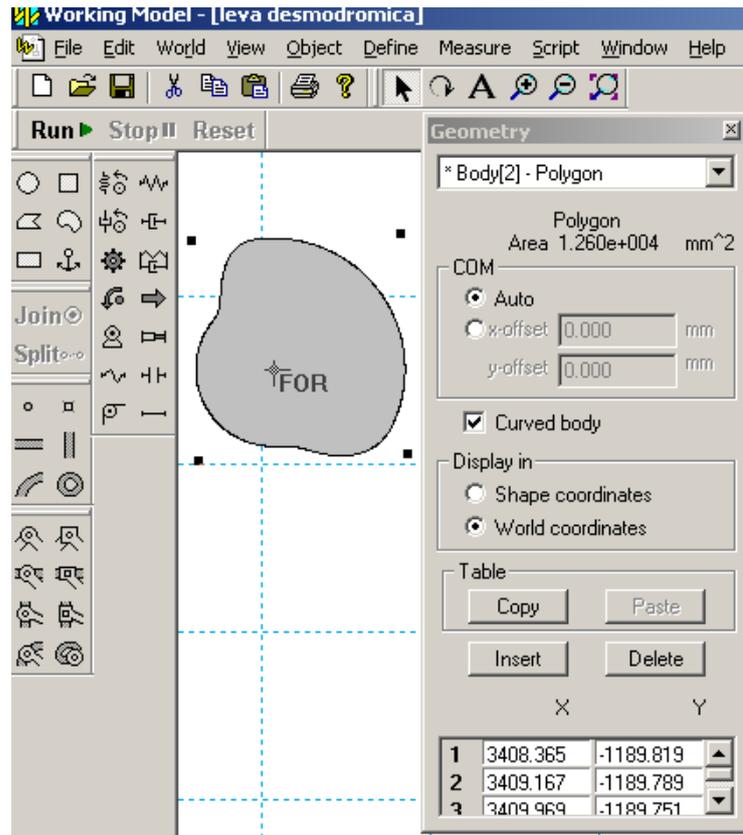
**Figura. 2.23 Leva dibujada a partir de la leva PB 31-10**



**Figura. 2.24 Leva polinomial obtenida**

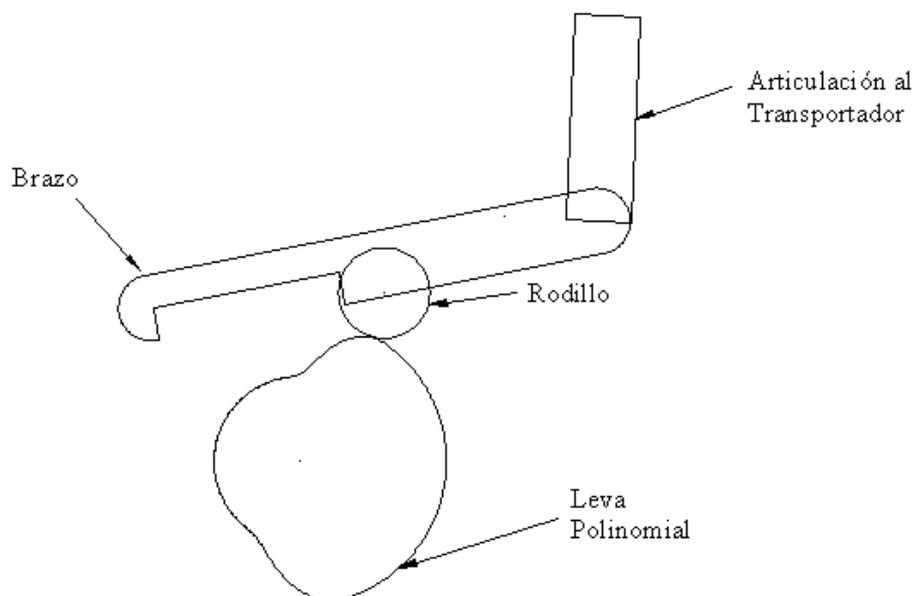
El siguiente paso es sincronizar el mecanismo biela-manivela, que permite el movimiento de la corredera portapunzones, con el sistema de levas que mueve el transportador, para lo cual se exportó los datos generados en el Mathcad, de la leva polinomial, al Excel y de este al Working Model WM2D<sup>4</sup>, obteniendo de esta manera una aceptable aproximación de la leva de la maquina PB 31-10, como se puede observar en la figura 2.25

<sup>4</sup> Simulación en WM2D de “Teoría de Máquinas y Mecanismos asistida por computador”,2004. Pág. 153.



**Figura. 2.25 Leva PB 31-10 en WM2D**

A continuación exportamos esta gráfica al Autocad a fin de colocar todos los elementos necesarios y existentes de la máquina PB 31-10 que permiten el movimiento del transportador (figura 2.26)



**Figura. 2.26 Mecanismo leva - transportador**

Finalmente se exportó del Autocad al Working Model, y para realizar la simulación conjunta del mecanismo leva – transportador y biela manivela (corredera – cigüeñal) tal como lo presenta la figura 2.28, este último mecanismo se dibujó en el propio Working Model.

Como se puede apreciar en la figura 2.27 las consideraciones para los puntos de partida de los dos mecanismos fueron el punto muerto superior del mecanismo biela - manivela y la finalización del reposo alto del mecanismo leva – transportador; las mismas que se observaron directamente del funcionamiento de la máquina PB 31-10.

Además como parte de la simulación se presenta una gráfica espacio – tiempo, en la cual la curva de la función “Y” (color azul) corresponde al mecanismo leva – transportador; y la curva de la función “X” (color negro) corresponde al mecanismo biela – manivela.

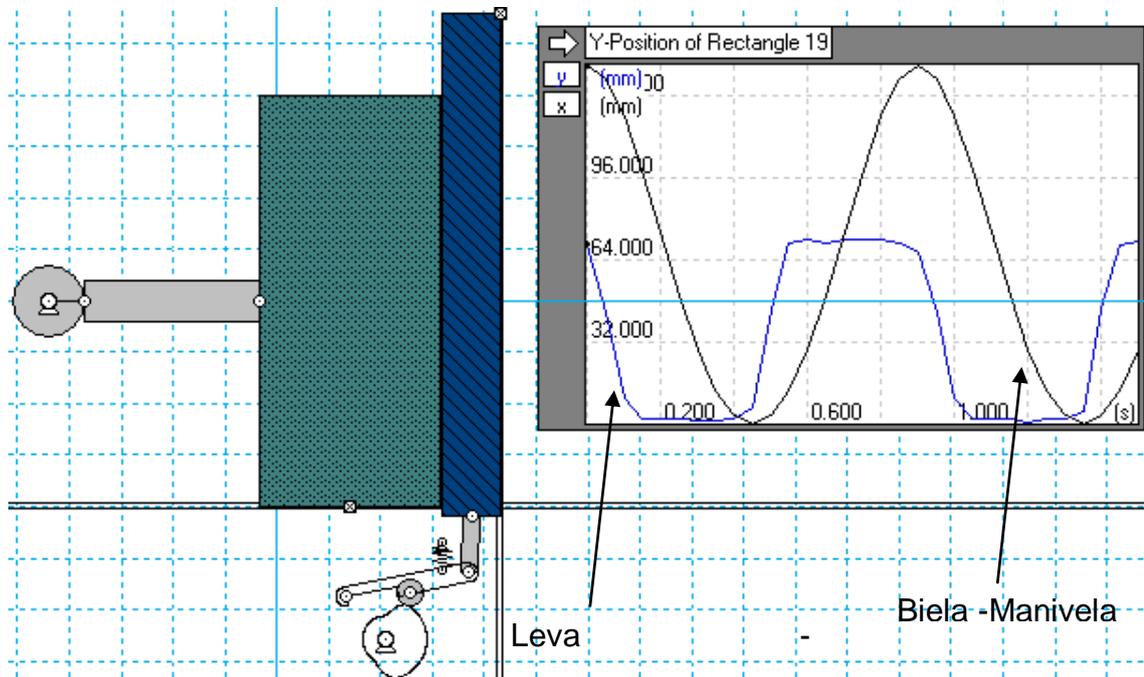
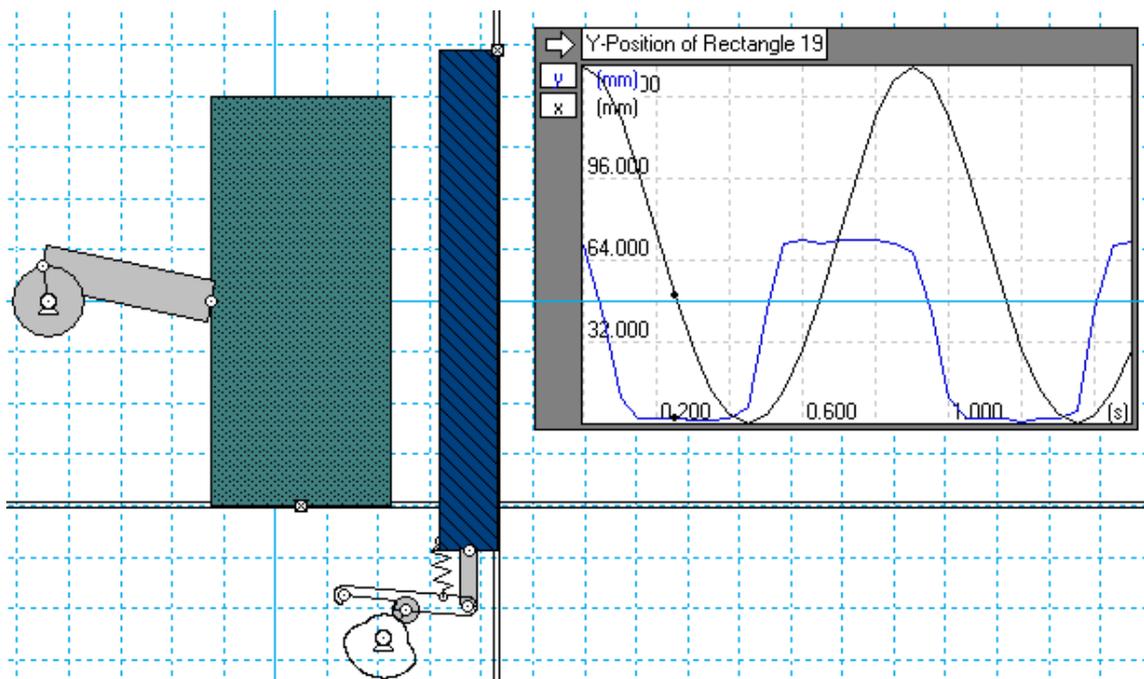
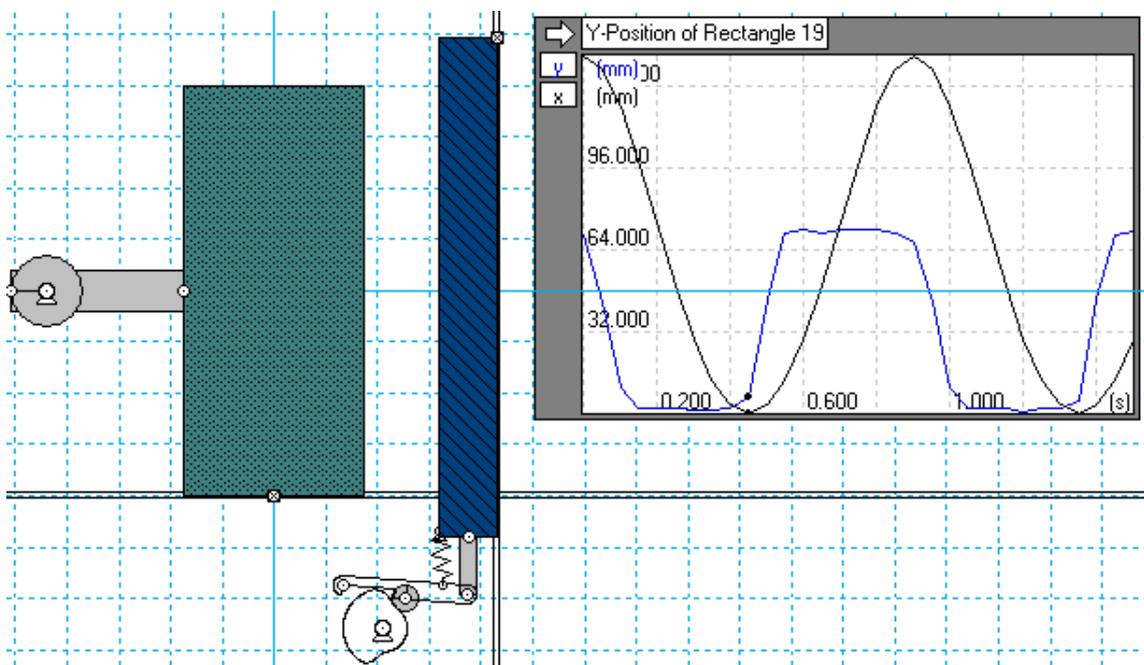


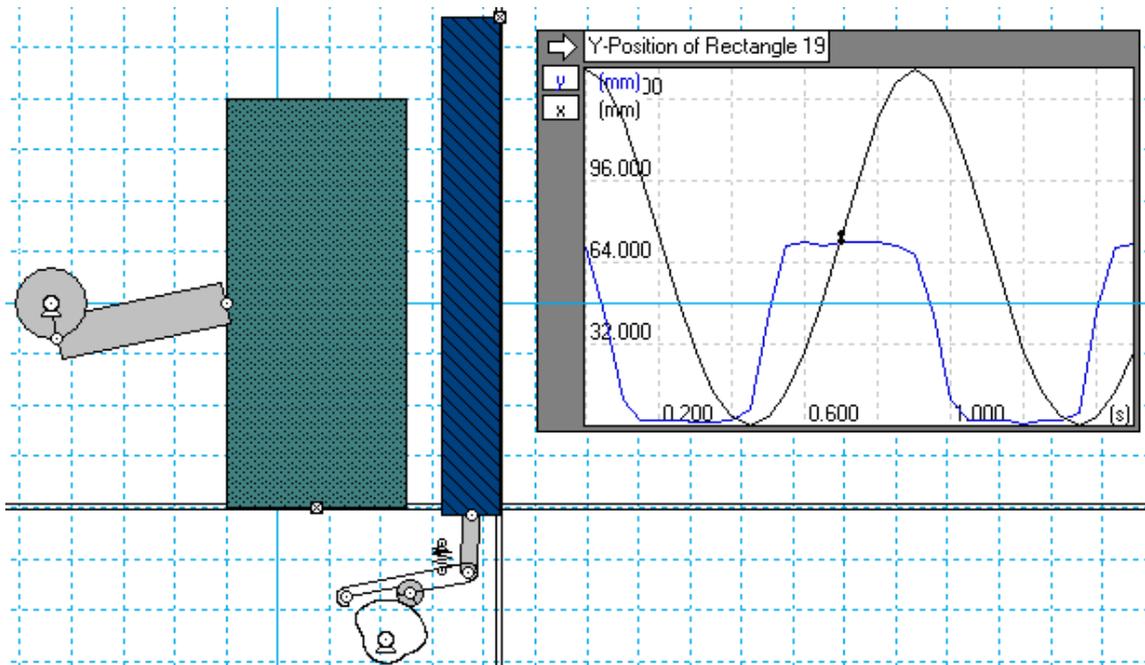
Figura. 2.27 Punto de partida de los mecanismos



(a)



(b)



(c)

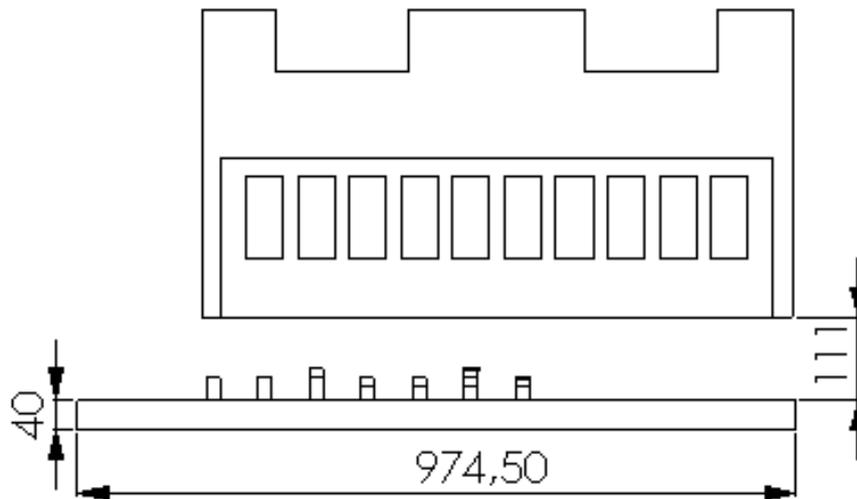
Figura. 2.28 Simulación en WM2D

## 2.3. PARÁMETROS DIMENSIONALES

### 2.3.1. DESCRIPCIÓN

Dentro de la máquina PB 31-10 es necesario conocer cual es el espacio disponible que la máquina nos permite utilizar a fin de poder diseñar todos los elementos que se necesiten y con estos realizar el correcto ensamble de la munición de caza calibre 16.

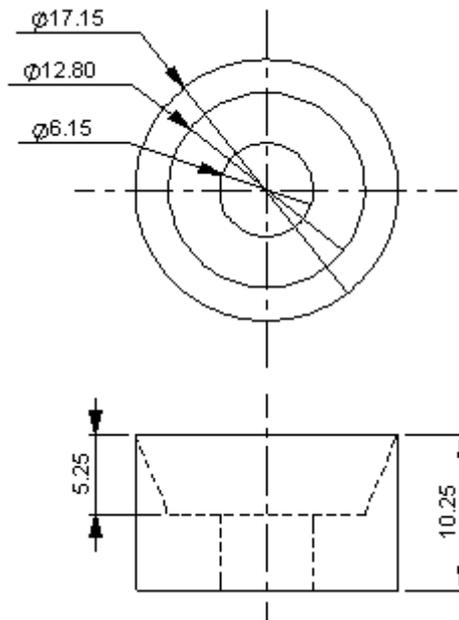
En este caso el espacio que disponemos entre el transportador y el PMS de la corredera es de 111 mm.



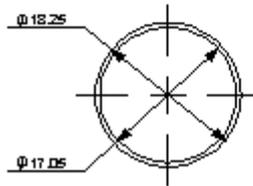
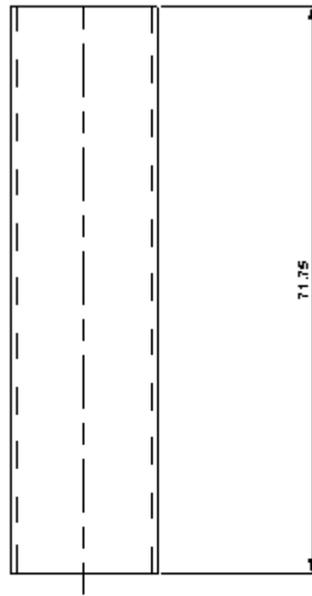
**Figura. 2.29 Esquema corredera transportador**

### 2.3.2. CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES Y GEOMÉTRICAS

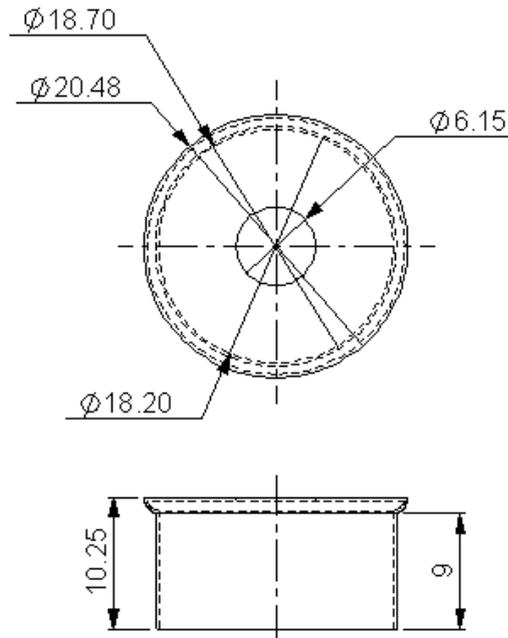
Los elementos del producto a obtener deben tener las siguientes características:



**Figura. 2.30 Bobina plástica**

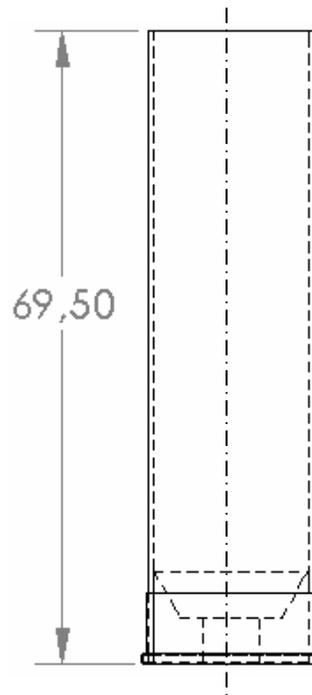


**Figura. 2.31 Tubo plástico**



**Figura. 2.32 Culote metálico**

Producto a obtener:



**Figura. 2.33 Cápsula no fulminada**

Luego de haber analizado la parte operacional, funcional y dimensional de la máquina se determinó que para adaptar este antiguo proceso a la producción de un nuevo elemento como es la cápsula de munición de caza calibre 16 se requiere hacer cambios en todo el conjunto de matrices, punzones y mecanismo de alimentación; definiendo así seis etapas que permitirán el ensamblaje de la cápsula no fulminada.

## **2.4. PARÁMETROS DEL ENSAMBLAJE**

### **2.4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MUNICIÓN**

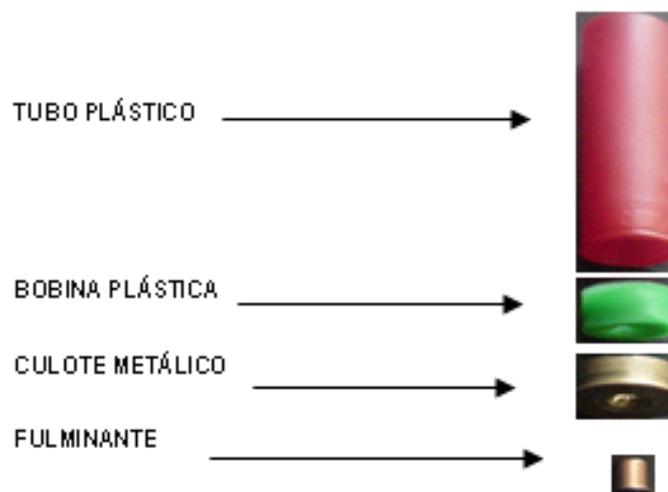
La cápsula fulminada es el componente más importante del cartucho de caza, la cual cumple la función de contener la pólvora, el taco y el perdigón, y en el

momento del disparo es el elemento que garantiza la seguridad del usuario y del arma ya que tiene que soportar elevadas presiones y temperaturas.



**Figura. 2.34 Cápsula fulminada**

La cápsula fulminada está constituida por el tubo plástico, la bobina plástica, el culote metálico y el fulminante y es el componente que normalmente se importa y que luego en la FMSB se completa su proceso de fabricación y posterior comercialización.



**Figura. 2.35 Elementos constitutivos de la cápsula fulminada**

## 2.4.2. PROCESO Y PARÁMETROS DEL ENSAMBLAJE

El ensamblaje de la munición de caza calibre 16 requiere de 6 etapas o estaciones que permitan su posterior fulminado, colocación de pólvora y perdigones.

Las estaciones de ensamblaje son las siguientes:

- \* Aumento del diámetro de la boca del tubo plástico (a).
- \* Alimentación de la bobina plástica (b).
- \* Ensamblaje de la bobina plástica (c).
- \* Reducción del diámetro de la boca del tubo plástico (d).
- \* Alimentación del culote metálico (e).
- \* Ensamblaje del culote metálico (f).

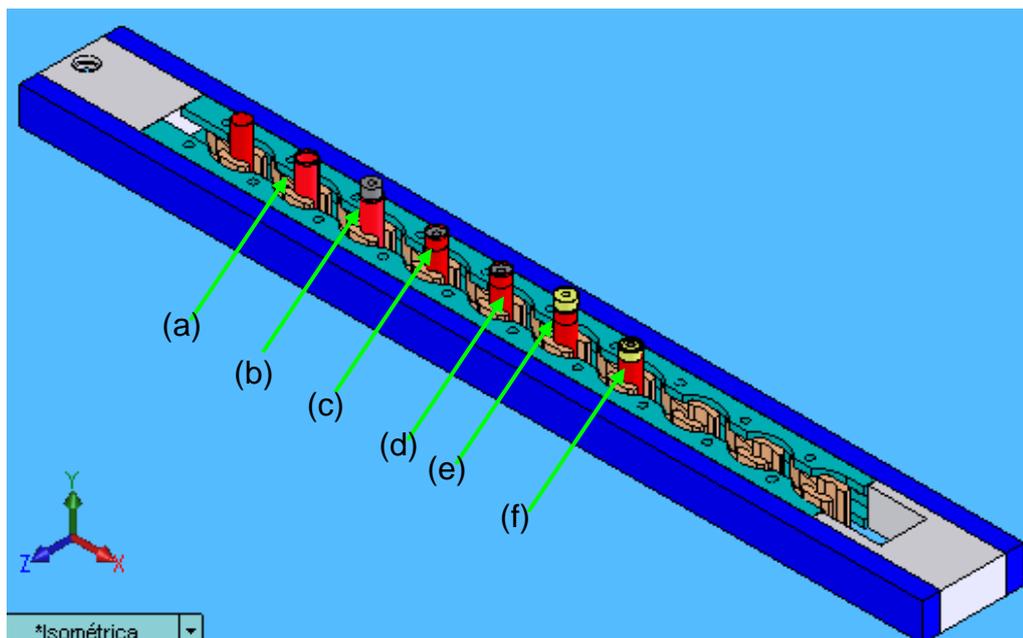


Figura. 2.36 Esquema en corte del proceso de ensamblaje

## **2.5. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS ÓPTIMA**

Para seleccionar la alternativa más óptima se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- \* Mecanismo Corredera porta punzones.
  
- \* Mecanismo sujetador y transporte de la cápsula.
  
- \* Mecanismo de ensamblaje de la cápsula de la munición.
  
- \* Mecanismo de extractores.

### **2.5.1. MECANISMO CORREDERA PORTA PUNZONES**

Para esto es necesario rediseñar los punzones que permitan realizar este proceso, considerando además que puede ser factible la utilización de los elementos de sujeción de los punzones del proceso anterior.

### **2.5.2. MECANISMO SUJETADOR Y TRANSPORTE DE LA CÁPSULA**

El transportador (Figura 2.7.) existente en la máquina PB-31-10 está dotado por conjuntos de pinzas las cuales ejercen una pequeña presión, mediante resortes, sobre el elemento a ser transportado.

Las dimensiones y geometría del mecanismo que transporta y a la vez sujeta el elemento no está acorde con la geometría y dimensiones del nuevo producto, sin embargo es factible adaptarlo al nuevo proceso considerando ciertas variantes si el caso amerita.

### **2.5.3. MECANISMO DE ENSAMBLAJE DE LA CÁPSULA DE LA MUNICIÓN**

En la máquina PB-31-10 existen dos mecanismos que permitían ensamblar la copa bala y el núcleo de plomo del proceso anterior; para el caso de la cápsula de munición de caza, su ensamblaje necesita de dos mecanismos que permitan colocar la bobina plástica y el culote metálico, razón por la cual los dos mecanismos anteriores existentes no están acordes con el proceso que se desea desarrollar y por lo tanto se deben diseñar completamente.



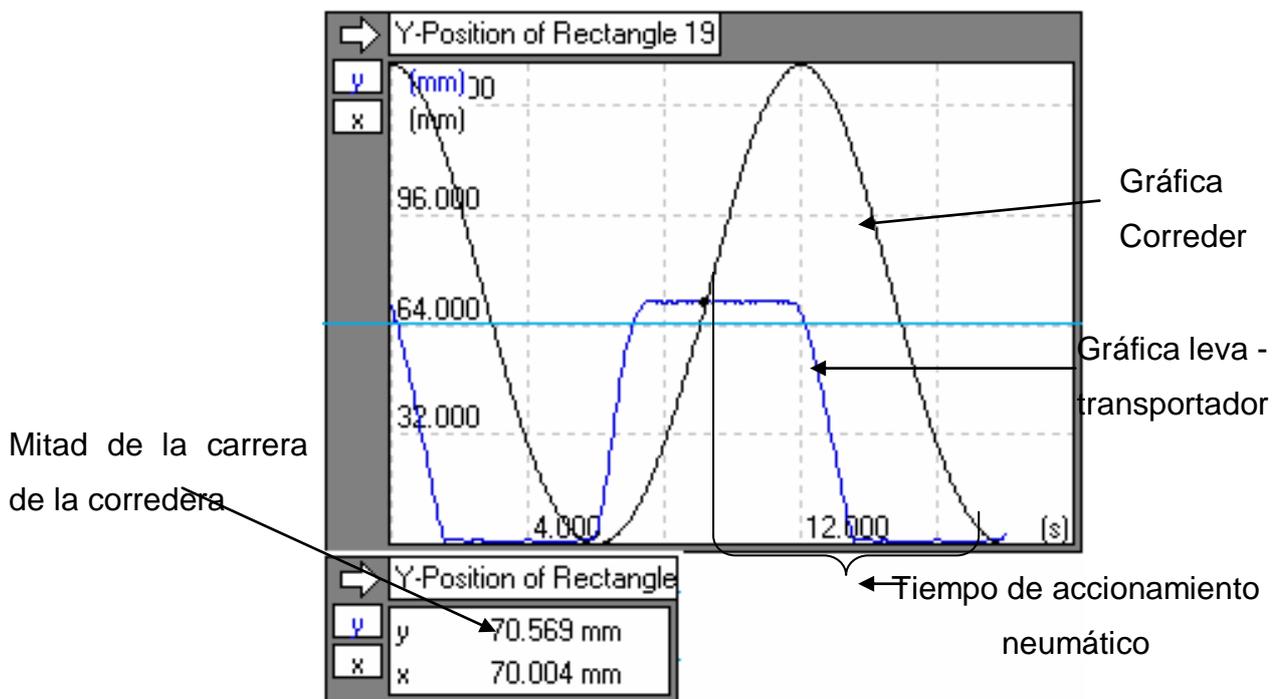
**Figura. 2.37 Mecanismo de ensamble copa bala – núcleo de plomo**

### **2.5.4. MECANISMO DE EXTRACTORES**

El sistema de levas que permite elevar el sistema de extractores no cumple con los requerimientos necesarios para el nuevo proceso, es decir la carrera disponible es de aproximadamente 50 mm. y la que se necesita es de 59 mm., por lo que el cambio de cualquier sistema de levas que dispone la máquina no es factible, ya que el espacio físico que admite la máquina es muy reducido y exacto para el proceso anterior y alterar la estructura de la máquina no es recomendable.

Por esta razón con la ayuda del análisis realizado en el tema 2.2.3. Sincronización de los Elementos, es factible con la sincronización de los

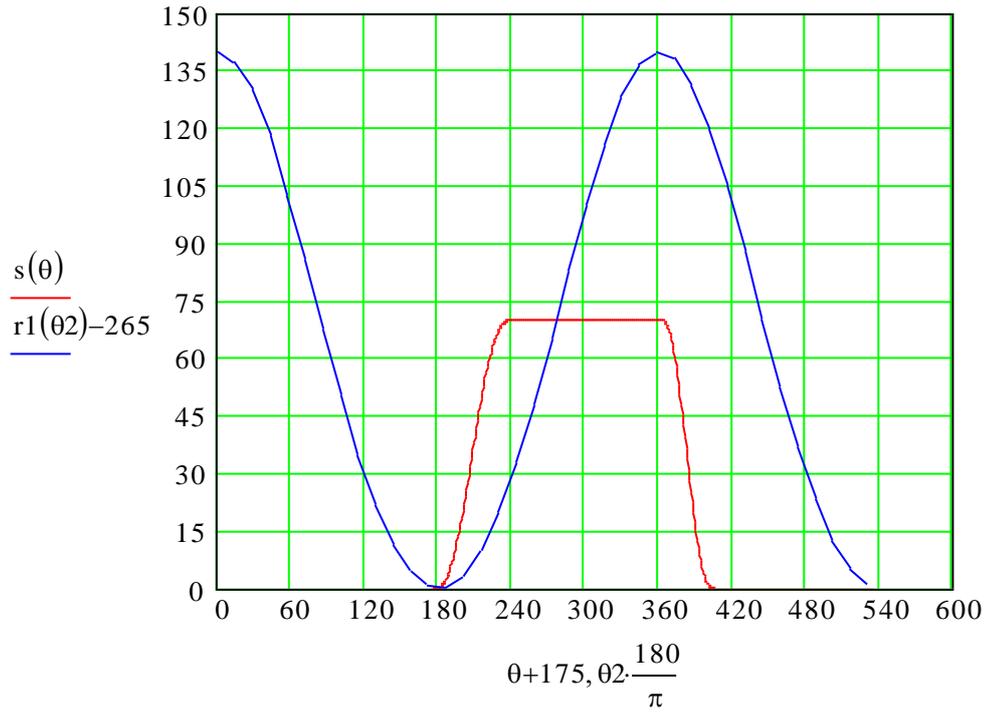
mecanismos a través del Working Model y mediante las gráficas, determinar los puntos entre los cuales entrará en funcionamiento el sistema neumático que reemplazará al sistema de extractores y que ha sido considerado el más idóneo.



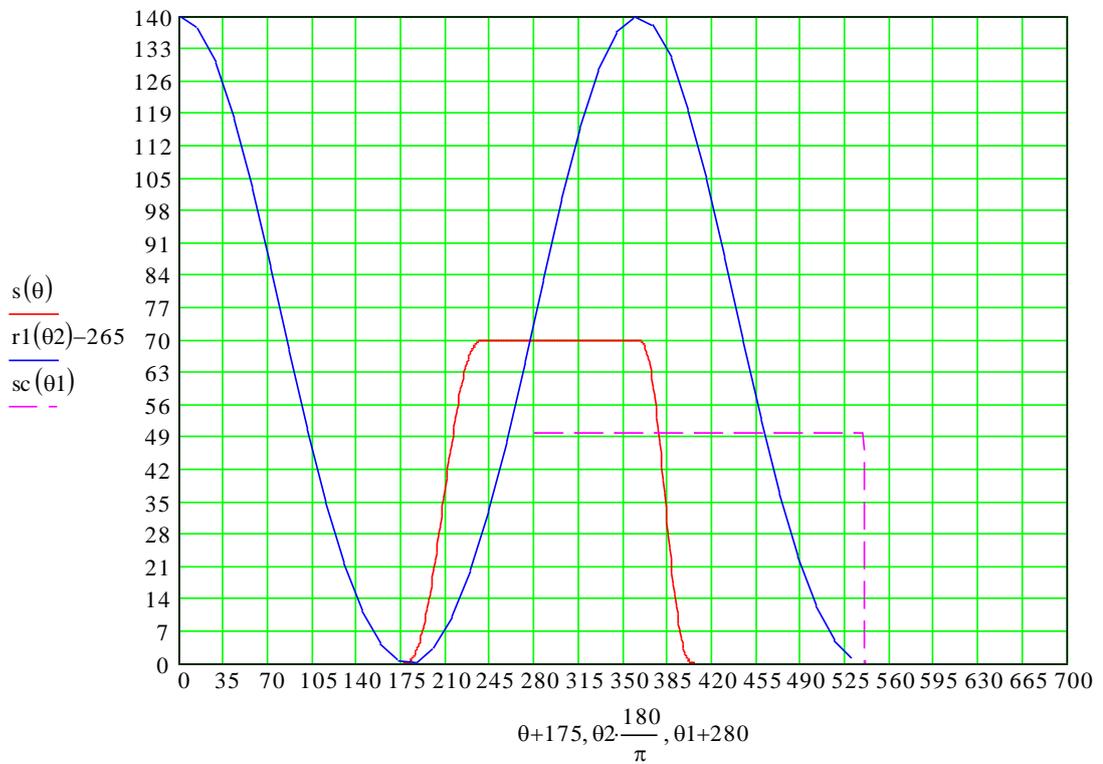
**Figura. 2.38 Puntos de intersección, indicadores para la salida de cilindros.**

Esto nos ayudó a determinar el instante que operarán los cilindros, para lo cual conocemos que los cilindros deben salir luego de que la corredera esté en la mitad de la carrera en dirección al PMS y retornarán antes de terminar el reposo bajo de la leva polinomial.

Para visualizar de mejor manera la sincronización de los mecanismos y el sistema neumático, se utilizó el Mathcad en el cual podemos relacionar espacio vs desplazamiento angular de la siguiente manera:



**Figura. 2.39 Sincronización de los mecanismos**



**Figura. 2.40 Sincronización de los mecanismos y el sistema neumático**

Como se puede observar en la figura 2.40, los cilindros actúan cuando  $\Theta$  es de  $280^\circ \pm 360^\circ$  y retornan máximo cuando la corredera haya alcanzado el PMI esto es cuando  $\Theta$  es  $180^\circ \pm 360^\circ$  que por seguridad se tomará el instante que la corredera esté en la mitad de la carrera en dirección al PMI siendo esta cuando  $\Theta$  es de  $80^\circ \pm 360^\circ$ .

Esto específicamente para los cilindros que cumplen la función del sistema de extractores.

Fue necesario desfazar  $175^\circ$ ,  $45^\circ$  de la bajada y  $130^\circ$  del reposo bajo, a la gráfica de la leva a fin de obtener el mismo resultado que en el caso del Working Model.

Para los alimentadores de la bobina y del culote los cilindros serán de doble efecto accionados únicamente en el momento que la corredera esté en la mitad de la carrera en dirección al PMS siendo esta cuando  $\Theta$  es de  $280^\circ \pm 360^\circ$  y su retorno será inmediato.

## **2.6. CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA Y ELEMENTOS**

Al realizar el rediseño de la nueva máquina PB 31-10 se consideró que los cambios que se realice a la misma serán máximo el 30%, para esto, se mantendrá la estructura de la máquina, las características de la corredera portapunzones y del transportador, donde su rediseño irá orientado a cambios geométricos y de matricería, adaptando a las medidas de la munición calibre 16.

El rediseño afectará al sistema de alimentación de la bobina plástica, del culote metálico y básicamente al sistema de extractores que actualmente es accionado por el árbol de levas horizontal y que por su geometría y limitación en el espacio disponible no nos permite adaptarle a la geometría de la munición calibre 16, de ahí que se aprovechará el espacio disponible del sistema.

## **2.7. FUNCIONAMIENTO**

Considerando que el funcionamiento de la máquina PB 31-10 nos permite realizar el ensamblaje de la munición calibre 16, esto es alimentación, transporte, sujeción y ensamblaje; se considerará el análisis de la sincronización que existe actualmente entre la corredera portapunzones, el transportador y el sistema de extractores y alimentadores, para determinar y adaptar el sistema neumático que cumpla con el trabajo del sistema de extractores y de alimentación.

## **2.8. UTILIZACIÓN DE EQUIPOS QUE DISPONE LA EMPRESA**

La Máquina PB 31-10 al ser accionada de forma eléctrica, mecánica y por un sistema neumático requiere de elementos neumáticos especialmente de un compresor y de una red de distribución que la FMSB dispone en sus instalaciones, lo que nos favorece y facilita la implementación de este proyecto, reduciendo sobremanera la necesidad de adquirirlos.

## **2.9. SEGURIDAD**

Al utilizar un sistema neumático estamos reduciendo los riesgos que se podrían producir en la fábrica, ya que al trabajar con aire nos da seguridad: debido a la simplicidad del uso, a la limpieza y adicionalmente porque los elementos neumáticos son simples y económicos. De existir fugas en los conductos de aire, esto no causa interrupciones en el trabajo y tampoco contamina el ambiente.

Es importante recalcar que se sincronizará correctamente la parte neumática y mecánica para asegurar el funcionamiento de la máquina PB 31-10 y evitar que existan interrupciones en el funcionamiento.

# CAPÍTULO III

## 3. DISEÑO Y SIMULACIÓN

### 3.1. DISEÑO DE ELEMENTOS MECÁNICOS

#### 3.1.1. DISEÑO DE ELEMENTOS PARA LA DEFORMACIÓN DE LA BOCA DEL TUBO PLÁSTICO.

Para el diseño de estos elementos se debe considerar que tanto la corredera (desplazamiento vertical) como los elementos de sujeción de los punzones (elementos fijos en la corredera, figura 3.2), son elementos ya existentes y que su funcionamiento está limitado por el movimiento de la corredera y este a su vez por el mecanismo biela manivela explicado en el capítulo anterior.

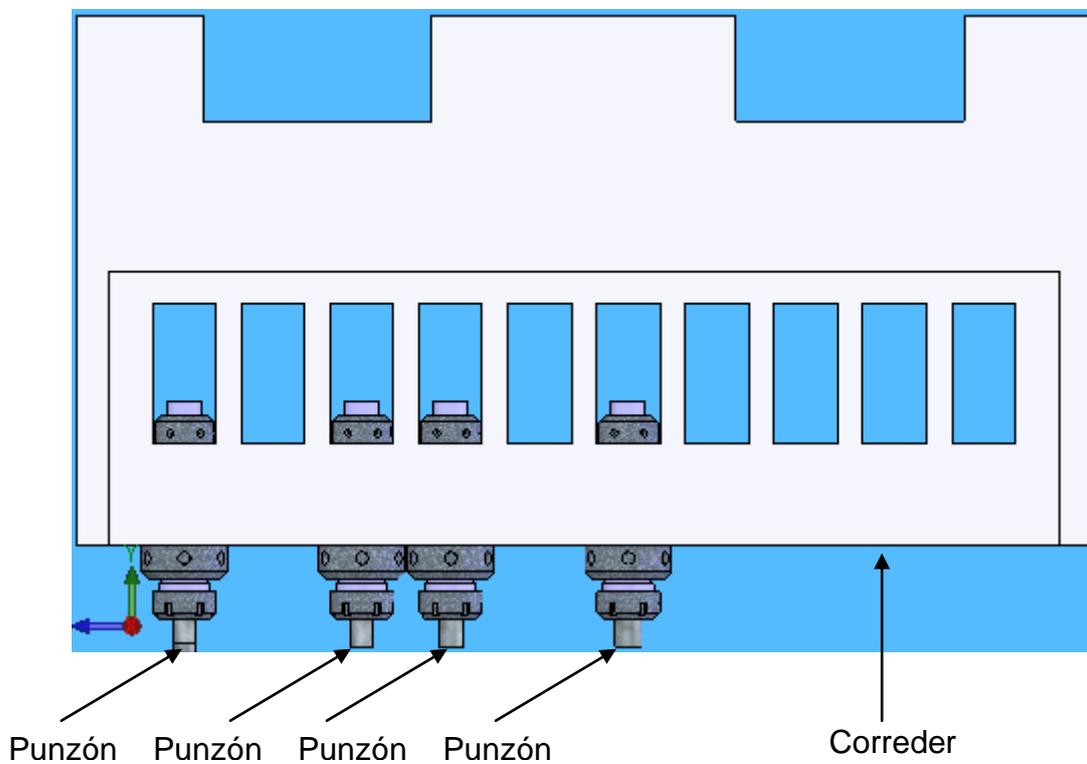
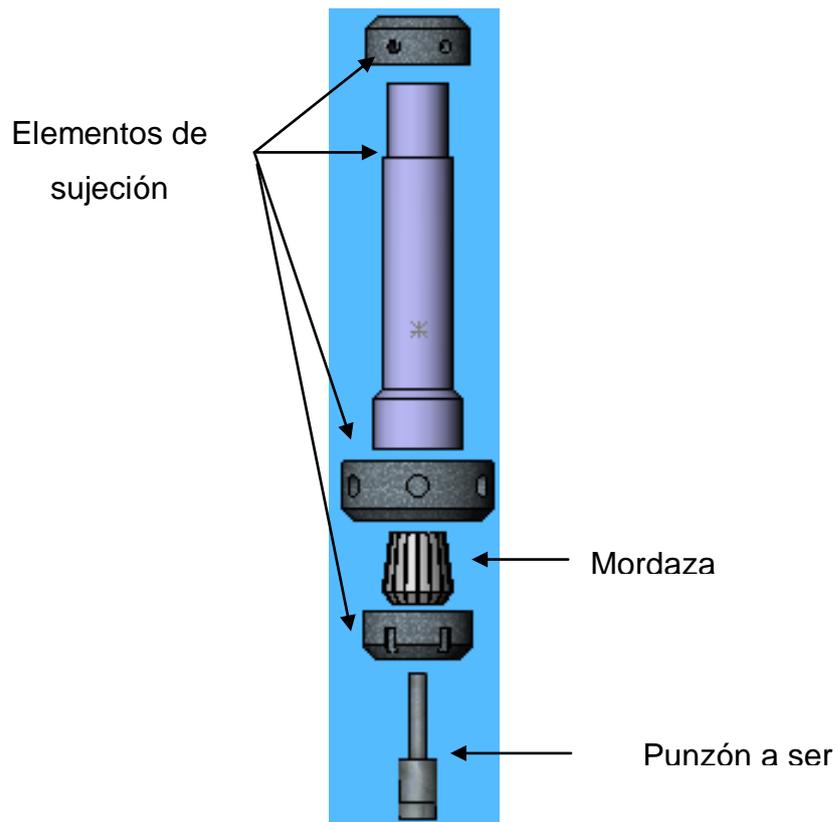


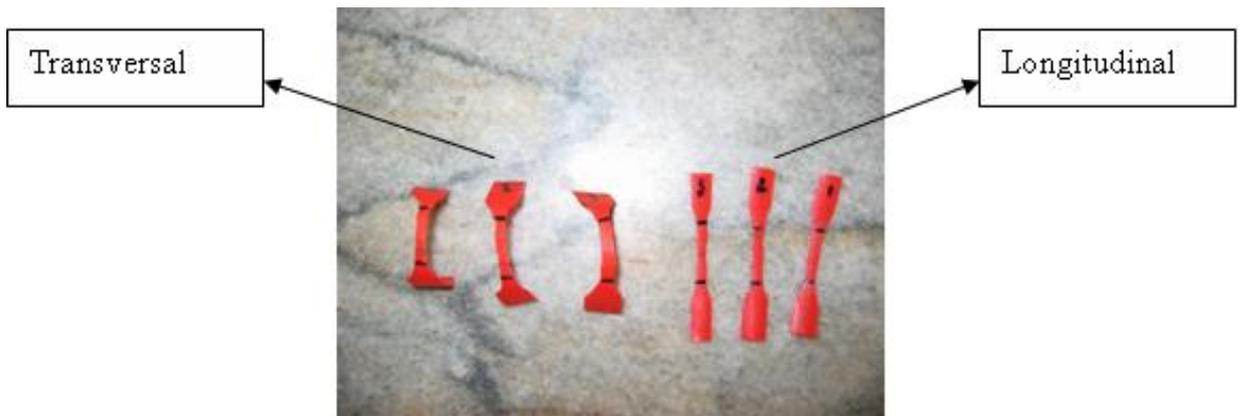
Figura. 3.1 Esquema de la disposición de los punzones



**Figura. 3.2 Esquema punzón – elementos de sujeción**

Para diseñar los punzones que realizarán la deformación del tubo plástico tenemos que conocer las propiedades mecánicas del material del cual está hecho, para ello se realizó el ensayo de tensión tomando tres muestras longitudinales y tres muestras transversales de las cápsulas (Figura 3.3) que se utilizan actualmente en el proceso, y que nos permitieron obtener los valores requeridos de los diagramas esfuerzo-deformación.

El ensayo de tensión (o de tracción) mide la resistencia de un material a la aplicación gradual de una fuerza tensora, la probeta se fija en la máquina de ensayo de materiales figura 3.4 y se aplica una fuerza  $F$ , llamada carga. Un deformímetro o extensómetro se usa para medir el alargamiento de la probeta entre las marcas de calibración cuando se aplica la fuerza.



**Figura. 3.3 Probetas para ensayo de tracción.**



**Figura. 3.4 Máquina para el ensayo de materiales plásticos.**

Los resultados de un ensayo simple (Figura 3.5) pueden aplicarse a todos los tamaños y formas de probeta para un material dado si se transforma la fuerza a esfuerzo, y la distancia entre las marcas de calibración a deformación. El esfuerzo y la deformación de uso en ingeniería se definen mediante las siguientes ecuaciones.

$$\text{Esfuerzo} = \sigma = \frac{F}{A_0} \quad (3.1)$$

$$\text{Deformación} = \varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (3.2)$$



**Figura. 3.5 Probetas realizadas los ensayos de tracción**

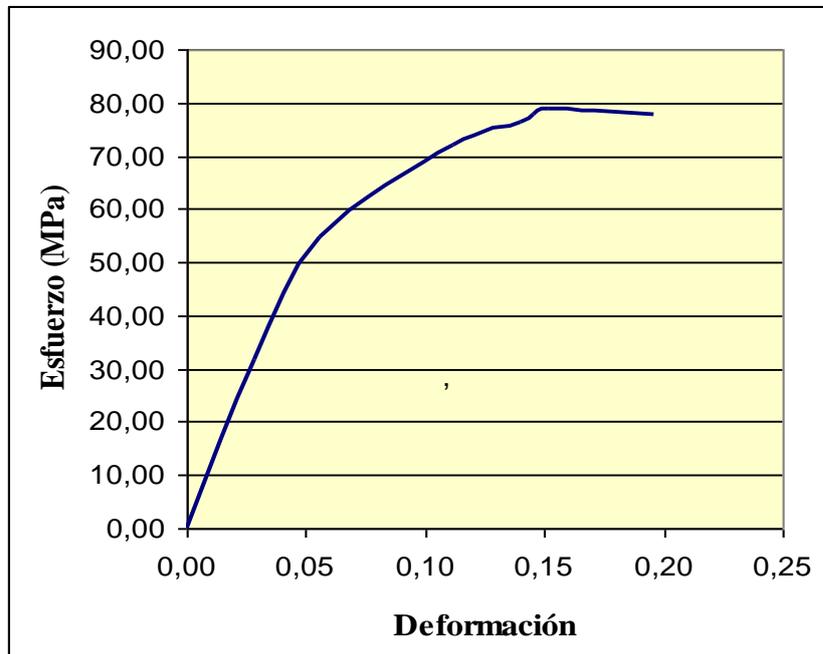
A continuación se presentan los resultados obtenidos de la probeta longitudinal

**Tabla 3.1 Ensayo de tracción probeta longitudinal**

<b>Ancho</b>	2,8	mm
<b>Espesor</b>	0,55	mm

<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>L calibrada</b>	<b>Deformación</b>
0	0,00	17,85	0,000
5	31,82	18,35	0,028
8,6	54,73	18,85	0,056
11,3	71,91	19,85	0,112
12	76,36	20,35	0,140
12,2	77,64	20,45	0,146
12,4	78,91	20,55	0,151
12,2	77,64	21,35	0,196

El diagrama esfuerzo-deformación de la probeta longitudinal presentamos en la siguiente figura.



**Figura. 3.6 Diagrama esfuerzo-deformación de la probeta longitudinal**

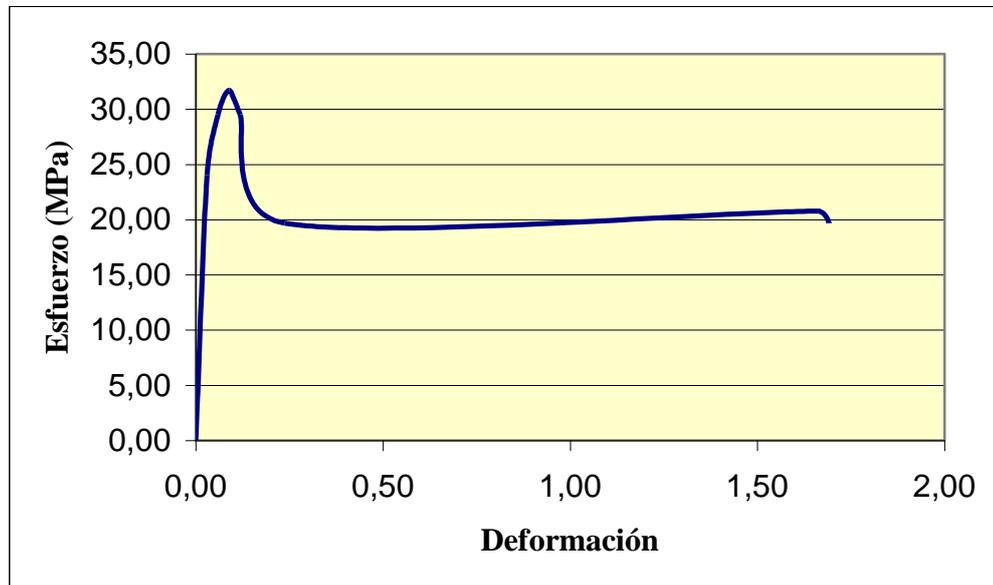
El esfuerzo de fluencia de las fibras de la probeta en sentido longitudinal es de 78 MPa. A continuación se presenta los resultados obtenidos de la probeta transversal

**Tabla 3.2 Ensayo de tracción probeta longitudinal**

<b>Ancho</b>	3,26	mm
<b>Espesor</b>	0,55	mm

<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Long. calibrada</b>	<b>Deformación</b>
0	0,00	16,85	0,000
4,4	24,05	17,35	0,030
5,4	29,51	17,85	0,059
5,8	31,70	18,35	0,089
5,4	29,51	18,85	0,119
3,6	19,68	20,85	0,237
3,8	20,77	44,85	1,662
3,6	19,68	45,35	1,691

El diagrama esfuerzo-deformación de la probeta transversal presentamos en la siguiente figura.



**Figura. 3.7 Diagrama esfuerzo-deformación de la probeta transversal**

El esfuerzo de fluencia de las fibras de la probeta en sentido transversal es de 30 MPa.

Si comparamos los datos de nuestra probeta identificamos que se trata de un polímero llamado polietileno de alta densidad cuyas características son:

- \* Resistencia a la tracción 28 MPa
- \* Módulo elástico: 952 MPa
- \* Coeficiente de fricción: 0.05-0.11

Determinados estos valores se procedió a diseñar los punzones que se encargarán de realizar la abertura y cierre de la boca del tubo.

### 3.1.1.1. Diseño del punzón N.- 1

El punzón N.- 1 se encarga de la estación en que se procede a abrir la boca del tubo, para lo cual, considerando que el diámetro menor del tubo plástico es de 17.05 mm. y el diámetro mayor al cual se va a deformar el mismo es de 17.65 mm. procedemos a obtener los perímetros con cada dato de la siguiente manera:

Diámetro interno del tubo plástico

$$D_i := 17.05 \text{ mm.}$$

Diámetro requerido

$$D_r := 17.65 \text{ mm.}$$

Perímetro interno

$$P_i := D_i \cdot \pi \tag{3.3}$$

$$P_i = 53.564 \text{ mm.}$$

Perímetro requerido

$$P_r := D_r \cdot \pi$$

$$P_r = 55.449 \text{ mm.}$$

Aplicamos la fórmula de la deformación:

$$\varepsilon := \frac{P_r - P_i}{P_i}$$

$$\varepsilon = 0.035$$

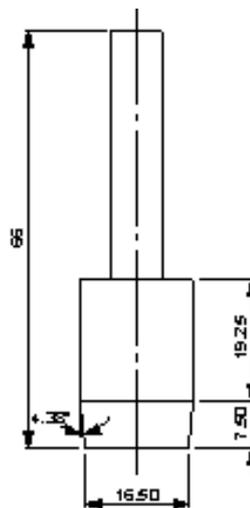
Y a continuación comparamos con los valores obtenidos en laboratorio en el punto de fluencia cuando la probeta es deformada transversalmente.

$$\varepsilon_L := 0.06$$

Como podemos observar el valor que se deforma en la boca del tubo es menor al valor obtenido en laboratorio, por lo tanto para el diseño del punzón se consideró la distancia de 7.5 mm. que es lo que va a ingresar el punzón en el tubo y los diámetros de 16.50 mm., que será el diámetro que nos permitirá ingresar al tubo sin problemas y el diámetro mayor de 17.65 mm. que será el diámetro de abertura de boca del tubo que permitirá el ingreso de la bobina plástica cuyo diámetro es de 17.15 mm.

En lo que respecta a la altura que tiene el punzón es de 66 mm.

El plano de construcción del punzón se encuentra en el Anexo A Código PB31-10 A1-001.



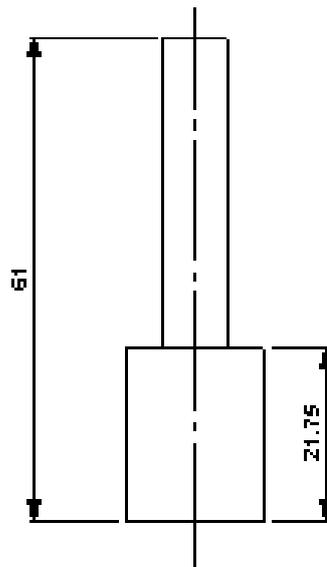
**Figura. 3.8 Punzón 1**

### **3.1.1.2. Diseño del punzón N.- 2**

Una vez alimentada y colocada la bobina plástica en la entrada del tubo a través del sistema neumático, el punzón N.- 2 se encarga de empujar la bobina plástica hacia el interior del tubo una distancia igual al espesor de la bobina, es decir 10.25 mm.

Para lograr esta operación se consideró que a diferencia del punzón uno el diámetro requerido para el punzón dos es 17.15 mm. al igual que la bobina plástica, teniendo una altura de 61 mm.

El plano de construcción del punzón se encuentra en el Anexo A Código PB31-10 A1-002.



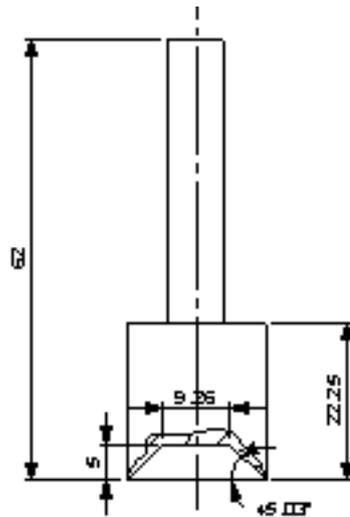
**Figura. 3.9 Punzón 2**

### **3.1.1.3. Diseño del punzón N.- 3**

El punzón N.-3 se encarga de cerrar la boca del tubo y para ello el diseño será netamente geométrico tomando las siguientes consideraciones:

El diámetro inicial será de 19.25 mm., de manera que cubra el diámetro de la boca deformada del tubo plástico y después alcanzar un diámetro final en la boca del tubo de 9.26 mm. con una altura de 62 mm.

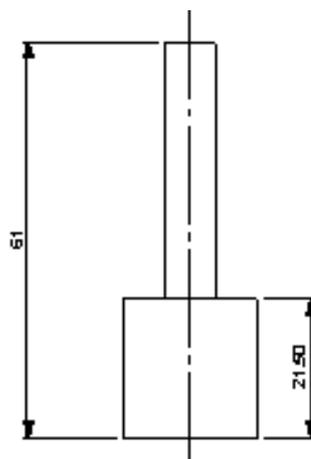
El plano de construcción del punzón se encuentra en el Anexo A Código PB31-10 A1-003.



**Figura. 3.10 Punzón 3**

#### 3.1.1.4. Diseño del punzón N.- 4

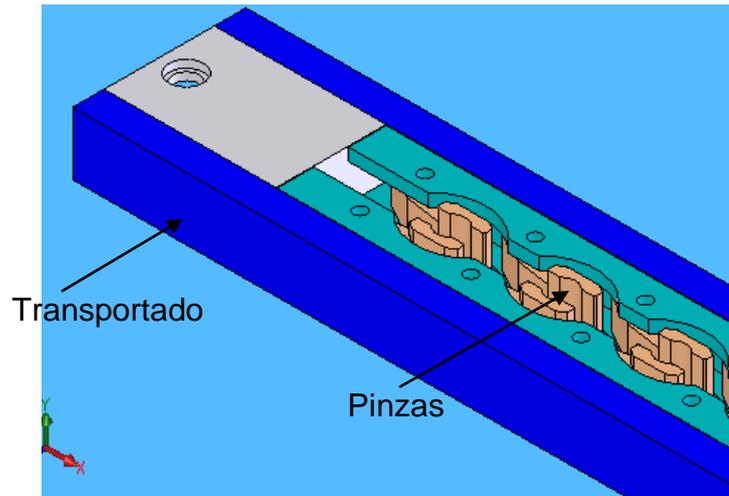
Una vez alimentada y colocada el culote metálico en la entrada del tubo a través del sistema neumático, el punzón N.- 4 se encarga de empujar el culote metálico para cubrir y sellar el tubo plástico. Para que se produzca esta operación se tomó consideraciones netamente geométricas. El plano de construcción del punzón se encuentra en el Anexo A Código PB31-10 A1-004.



**Figura. 3.11 Punzón 4**

### 3.1.2. DISEÑO DE ELEMENTOS PARA LA TRANSPORTACIÓN DEL TUBO PLÁSTICO

En este diseño se consideró la utilización del transportador existente (Figura. 2.7) tomando en cuenta que deben ser cambiados elementos como pinzas y resortes ya que su geometría no es la adecuada para el nuevo proceso.



**Figura. 3.12 Elementos que permiten la transportación del tubo plástico**

#### 3.1.2.1. Diseño de Pinzas

Considerando que los esfuerzos a los que van a estar sometidas las pinzas por efecto de los muelles son completamente bajos en relación a las características del material (acero al carbono para maquinaria AISI 1045), y además por su función de sujetar el tubo plástico a lo largo de la línea de ensamblaje de los componentes de la cápsula no fulminada, el diseño de las mismas es básicamente geométrico sin embargo el acabado superficial en la superficie de contacto con el tubo plástico debe ser pulido (N4), o con un recubrimiento de cromo duro de igual manera con un acabado N4.

El plano de construcción de las pinzas se encuentra en el Anexo A Código PB31-10 A2-001.

### 3.1.2.2. Diseño de Resortes Helicoidales

Para el diseño de los resortes helicoidales se consideró que van a estar sometidos a un esfuerzo dinámico debido a que el elemento en el que van a actuar está diseñado para una vida infinita de ciclos.

Para determinar la geometría y material del resorte<sup>5</sup> se impuso una fuerza mínima y una fuerza máxima que se ejercerá sobre la pinza del transportador, tomando en cuenta que esta a su vez no debe dañar al tubo plástico.

$$F_{\text{mínima}} := 4.4 \text{ N}$$

$$F_{\text{máxima}} := 6.6 \text{ N}$$

A continuación se consideró aleatoriamente el diámetro del alambre que dará origen al resorte cuyo material es un ASTM A228 dado que el resorte estará sometido a cargas dinámicas asumiendo una frecuencia de 100 rpm., y una operación de 10 años de vida en un turno.

De igual manera para el valor del índice del resorte (C) se tomó un valor comprendido entre 4 y 12 a fin de evitar la difícil fabricación o el pandeo respectivamente  $C = 9$ .

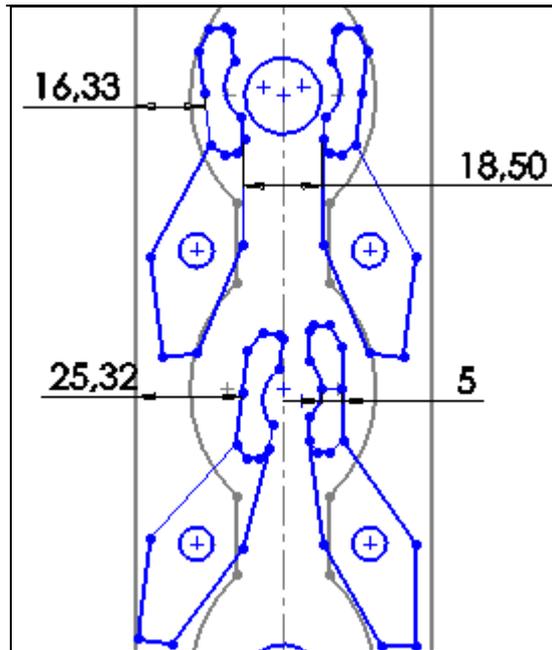
$$N_{\text{vida}} := 100 \cdot 60 \cdot 1500 \cdot 10 \tag{3.4}$$

$$N_{\text{vida}} = 9 \times 10^7 \text{ ciclos}$$

La deflexión dinámica (y) viene dada por la distancia que se desplazará la pinza en cada cambio de estación y su cálculo es netamente geométrico.

---

<sup>5</sup> El método de cálculo ha sido extraído de *Diseño de Máquinas*, Robert Norton, Prentice Hall, México, 1999, Cap. 13.



**Figura. 3.13 Determinación de la deflexión dinámica**

$$y = 25.32 - 16.33$$

$$y = 8.99 \text{ mm.}$$

Para los valores de fuerza máxima y mínima calculamos la fuerza alternante y la fuerza media.

$$F_a := \frac{F_{\text{máxima}} - F_{\text{mínima}}}{2} \quad (3.5)$$

$$F_a = 1.105 \text{ N}$$

$$F_m := \frac{F_{\text{máxima}} + F_{\text{mínima}}}{2} \quad (3.6)$$

$$F_m = 5.555 \text{ N}$$

Con el valor del índice del resorte y el diámetro del alambre asumidos determinamos el diámetro medio de espira y con este valor obtenemos el diámetro donde va a estar alojado el resorte.

$$D := C \cdot d_{\text{alambre}} \quad (3.7)$$

$$D = 5.4 \text{ mm}$$

$$D_o := (D + d_{\text{alambre}}) \quad (3.8)$$

$$D_o = 6 \text{ mm}$$

El factor cortante directo se lo obtiene a través del índice del resorte.

$$K_s := 1 + \frac{0.5}{C} \quad (3.9)$$

$$K_s = 1.056$$

Mediante la fuerza mínima, el diámetro medio de espira, el diámetro del alambre y la fuerza media determinamos el esfuerzo cortante final y el esfuerzo cortante medio.

$$\tau_i := K_s \cdot \frac{8 \cdot F_{\text{mínima}} \cdot D}{\pi \cdot d_{\text{alambre}}^3} \quad (3.10)$$

$$\tau_i = 299.03 \text{ MP}\epsilon$$

$$\tau_m := K_s \cdot \frac{8 \cdot F_m \cdot D}{\pi \cdot d_{\text{alambre}}^3} \quad (3.11)$$

$$\tau_m = 373.29 \text{ MP}\epsilon$$

Para determinar el esfuerzo cortante alternante utilizamos la fuerza alternante, el diámetro medio de espira, el diámetro del alambre y el factor Wahl ( $K_w$ ) que también es necesario calcular.

$$K_w := \frac{4 \cdot C - 1}{4 \cdot C - 4} + \frac{0.615}{C} \quad (3.12)$$

$$K_w = 1.162$$

$$\tau_a := K_w \cdot \frac{8 \cdot F_a \cdot D}{\pi \cdot d_{\text{alambre}}^3} \quad (3.13)$$

$$\tau_a = 81.75 \text{ MP}\epsilon$$

La resistencia máxima a la tensión<sup>6</sup> depende de un coeficiente A, el diámetro del alambre y un exponente B. esta resistencia a su vez forma parte del cálculo de la resistencia máxima al cortante y del límite elástico a la torsión, el cual considera un factor después del asentamiento<sup>7</sup>.

$$A := 2153. \text{ MP}\epsilon$$

$$b := -0.162$$

$$Sut := A \cdot d_{\text{alambre}}^b \text{ MP}\epsilon \quad (3.13)$$

$$Sut = 2339.89$$

$$Sus := 0.67 \cdot Sut \quad (3.14)$$

$$Sus = 1567.73 \text{ MP}\epsilon$$

$$Sys := 0.60 \cdot Sut \quad (3.15)$$

$$Sys = 1403.93 \text{ MP}\epsilon$$

Con los datos calculados anteriormente y conociendo el límite de resistencia a la fatiga se procede a determinar el límite de resistencia a la fatiga totalmente alternante y a continuación el factor de seguridad.

$$Sew := 46\epsilon \text{ MP}\epsilon$$

$$Ses := \frac{0.707 \cdot Sew \cdot Sus}{Sus - 0.707 \cdot Sew} \quad (3.16)$$

$$Ses = 415.99 \text{ MP}\epsilon$$

$$Nfs := \frac{Ses \cdot (Sus - \tau_i)}{Ses \cdot (\tau_m - \tau_i) + Sus \cdot \tau_a} \quad (3.17)$$

---

<sup>6</sup> Los factores utilizados para el cálculo de la resistencia máxima a la tensión (Sut) son tomados de la tabla 13-4 de *Diseño de Máquinas*, Robert Norton, Prentice Hall, México, 1999, Cap. 13.

<sup>7</sup> Factor utilizado después del asentamiento tomados de la tabla 13-6 de *Diseño de Máquinas*, Robert Norton, Prentice Hall, México, 1999, Cap. 13.

$$N_{fs} = 3.318$$

Para el cálculo del número de espiras activas necesitamos determinar primero la constante del resorte y el módulo de rigidez<sup>8</sup> y su resultado aproximamos a  $\frac{1}{4}$  de espira más cercano por tolerancia de fabricación.

$$k := \frac{F_{\text{máxima}} - F_{\text{mínima}}}{y} \quad (3.18)$$

$$k = 0.246$$

$$G := 79.6 \cdot 10^3 \text{ MPa}$$

$$N_a := \frac{d_{\text{alambre}}^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot k} \quad (3.19)$$

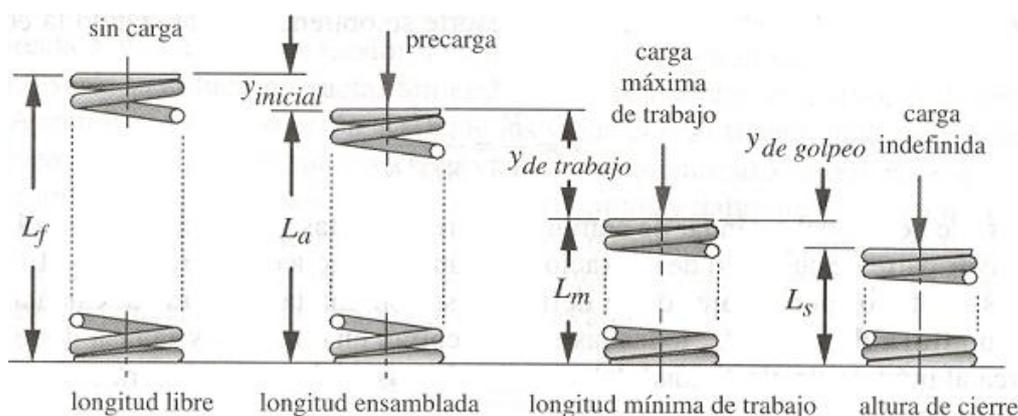
$$N_a = 33.35$$

$$N_{a1} := 33 + \frac{1}{4}$$

El número total de espiras es el resultado del número de espiras activas más 2 unidades ya que nuestro resorte es de extremos cuadrados y rectificadas.

$$N_t := N_{a1} + 2 \quad (3.20)$$

$$N_t = 35.25$$



**Figura. 3.14 Esquema de diferentes distancias que sufre el resorte**

<sup>8</sup> Modulo de Rigidez Tabla C-1 "Aleaciones de Niquel" tomado de *Diseño de Máquinas*, Robert Norton, Prentice Hall, México, 1999, Cap. 13.

A continuación calculamos la altura de cierre ( $L_s$ ), la deflexión inicial, la longitud libre, la deflexión hasta la altura de cierre, la longitud ensamblada y la altura de golpe cuyo valor es el 38% de la deflexión inicial.

$$L_s := d_{\text{alambre}} \cdot N_t \quad (3.21)$$

$$L_s = 21.15 \text{ mm}$$

$$y_{\text{inicial}} := \frac{F_{\text{mínima}}}{k} \quad (3.22)$$

$$y_{\text{inicial}} = 18.122 \text{ mm}$$

$$y_{\text{golpe}} := 0.38 \cdot y \quad (3.23)$$

$$y_{\text{golpe}} = 3.42 \text{ mm}$$

El factor de seguridad a la altura de cierre es determinado a través de la fuerza y del esfuerzo de cierre, para finalmente obtener las especificaciones del resorte que se va a utilizar.

$$L_f := L_s + y_{\text{golpe}} + y + y_{\text{inicial}} \quad (3.24)$$

$$L_f = 51.692 \text{ mm}$$

$$y_{\text{cierre}} := L_f - L_s \quad (3.25)$$

$$y_{\text{cierre}} = 30.542$$

$$L_a := L_f - y_{\text{inicial}} \quad (3.26)$$

$$L_a = 33.57 \text{ mm}$$

$$F_{\text{cierre}} := k \cdot y_{\text{cierre}} \quad (3.27)$$

$$F_{\text{cierre}} = 7.5 \text{ N}$$

$$\tau_{\text{cierre}} := K_s \cdot \frac{8 \cdot F_{\text{cierre}} \cdot D}{\pi \cdot d_{\text{alambre}}^3} \quad (3.28)$$

$$N_s_{\text{cierre}} := \frac{S_{ys}}{\tau_{\text{cierre}}} \quad (3.28)$$

$$N_s_{\text{cierre}} = 2.786$$

$$P := \frac{L_f}{D_o} \quad (3.29)$$

$$P = 8.615$$

$$P1 := \frac{y_{\text{inicial}} + y}{L_f}$$

(3.30)

$$P1 = 0.525$$

Especificación de diseño para este resorte de alambre A228

- \*  $d_{\text{alambre}} = 0.6 \text{ mm}$
- \* Diámetro exterior de la espira  
 $D_o = 6 \text{ mm}$
- \*  $N_t = 35.25 \text{ espiras}$
- \* Longitud final de la espira  
 $L_f = 51.692 \text{ mm}$

### 3.2. DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRONEUMÁTICO PARA LA ALIMENTACIÓN, ENSAMBLAJE Y TRANSPORTE DE LOS ELEMENTOS

El sistema electroneumático básicamente comanda el funcionamiento de cuatro cilindros, cuyo diseño se detalla a continuación:

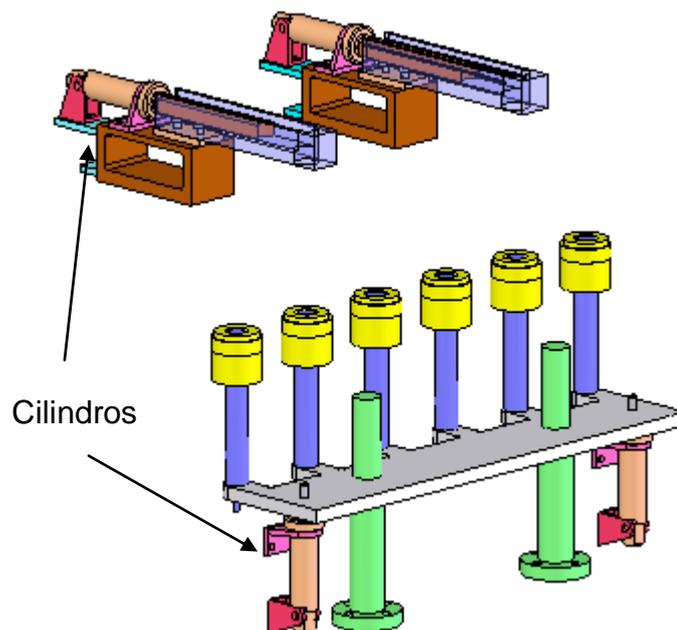
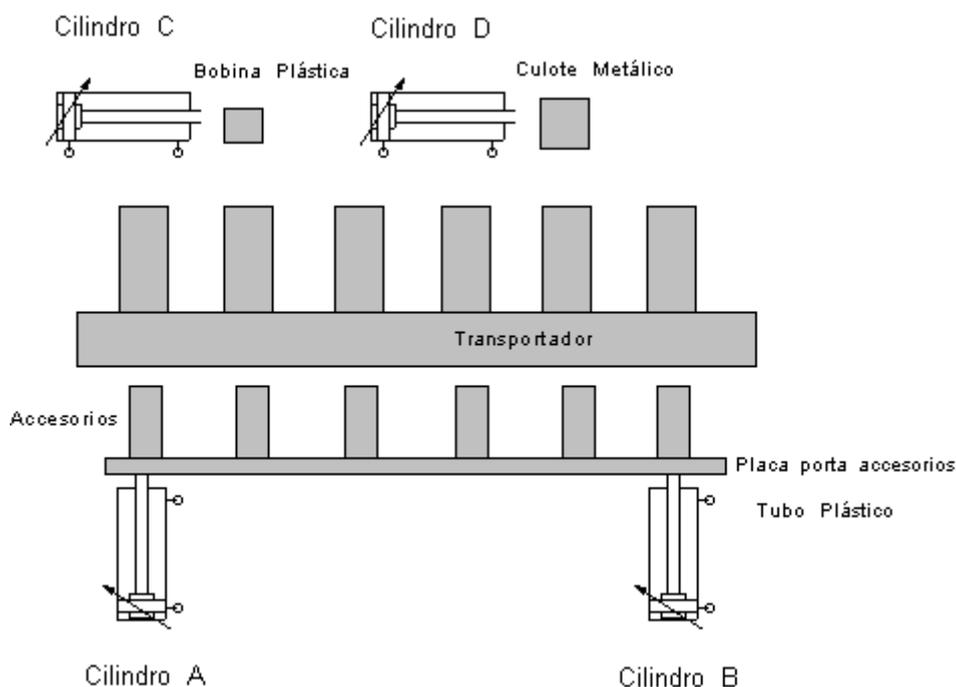


Figura. 3.15 Disposición de los cilindros

### 3.2.1. SISTEMA ELECTRONEUMÁTICO

Este sistema se desarrolló según el esquema de la figura 3.15 y 3.16, el cual consiste en la utilización de 4 actuadores neumáticos que cumplen las siguientes funciones:

- \* Cilindros A y B permite la fijación del tubo plástico en todas las estaciones del proceso de ensamblaje de la munición de caza, es decir en la estación de aumento del diámetro de la boca del tubo plástico, en la estación del ensamblaje de la bobina plástica, en la estación del ensamblaje de la bobina plástica, en la estación del cierre del diámetro de la boca del tubo plástico y en la estación del ensamblaje del culote metálico.
- \* Cilindro C permite la alimentación de la bobina plástica.
- \* Cilindro D permite la alimentación del culote metálico.



**Figura. 3.16 Esquema para el ensamblaje, alimentación y transporte de los elementos**

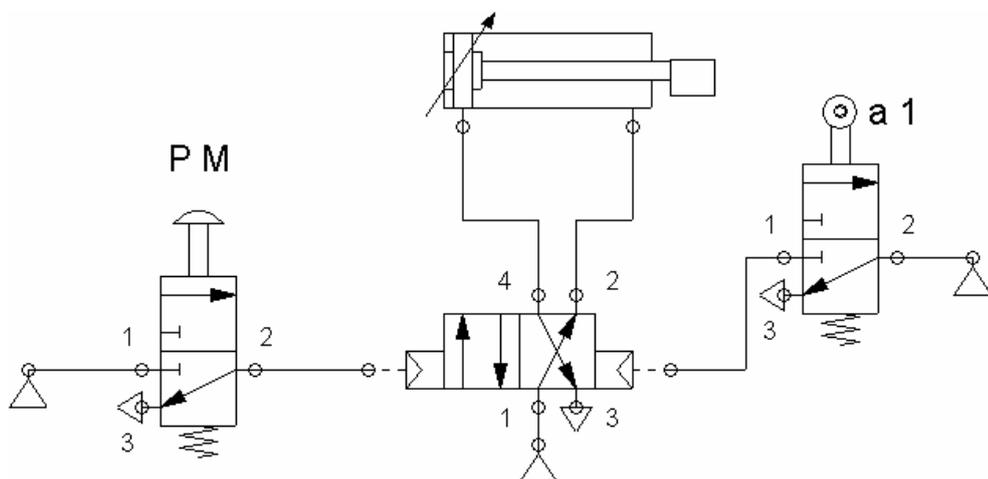
Para el diseño del sistema neumático antes detallado se consideraron dos parámetros:

- \* Captadores de Información
- \* Tratamiento de Información

### 3.2.1.1. Captadores de Información

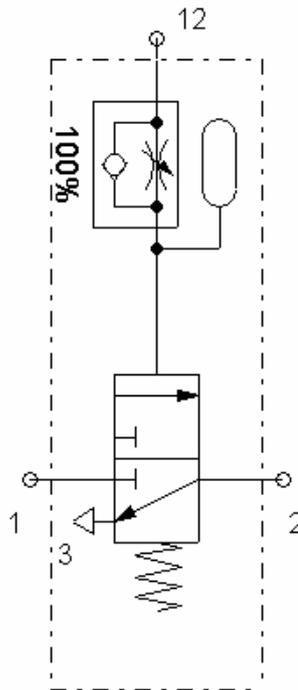
Son los elementos encargados de detectar todos los movimientos que se producen en las máquinas y de emitir las informaciones correspondientes, como por ejemplo emisores de señal o sensores, finales de carrera, etc. Estos se dividen en tres grupos: por contacto físico, por suposición y por presencia.

**Por Contacto Físico.-** Por su actuación dependen de un contacto físico entre el elemento portador de señal y el elemento emisor de señal, por ejemplo: finales de carrera eléctricos o neumáticos con accionamiento por leva, rodillo, rodillo escamoteable, palpador, etc. La emisión de señal es verdadera.



**Figura. 3.17 Captadores por Contacto Físico**

**Por Su posición.-** Su actuación es mediante el control de tiempo (temporizadores) y mediante el control de la variación de presión. La emisión de señal puede ser falsa.



**Figura. 3.18 Temporizador**

**Por Presencia.-** Si bien el elemento portador de señal no entra en contacto físico con el captador de información, tiene que estar presente en una zona determinada, interrumpiendo un haz luminoso en caso de célula fotoeléctrica, un flujo de aire en caso de barrera de aire, o simplemente excitando un cabezal magnético. La emisión de señal puede ser falsa.

Para el caso del proyecto se utilizarán captadores de señal por presencia (sensor óptico).



**Figura. 3.19 Sensor óptico de proximidad**

Por lo tanto se puede garantizar, trabajando con estos captadores de información, que el inicio de una fase de trabajo en un sistema automático es consecuencia de que las anteriores fases se han cumplido. De aquí la afirmación es señal verdadera, confiable y segura.

### **Sensores Ópticos**

Un sensor óptico se basa en el aprovechamiento de la interacción entre la luz y la materia para determinar las propiedades de ésta. Una mejora de los dispositivos sensores, comprende la utilización de la fibra óptica como elemento de transmisión de la luz.



**Figura. 3.20 Diagrama básico de un sensor óptico.**

Existen diferentes técnicas ópticas que pueden aplicarse a la medida de diferentes parámetros. Podemos medir la atenuación-transmisión espectral de la luz al atravesar un determinado medio, lo que nos permitirá encontrar los elementos discretos presentes en ese medio y su concentración.

También pueden realizarse medidas de tipo interferométrico, en las que la propiedad de la radiación que sufre cambios debido al efecto externo es la fase, con lo que empleando otro haz luminoso de fase conocida como referencia, es posible determinar la magnitud de ese efecto externo.

Una técnica que ha cobrado especial relevancia en los últimos años dentro del Departamento de Óptica, es la basada en la resonancia de plasmones superficiales, especialmente útil para la medida del índice de refracción de líquidos. En este caso lo que se mide es la atenuación de la luz guiada por una

fibra óptica a la que se le ha eliminado parcialmente el revestimiento y se ha depositado una multicapa incluyendo algún medio metálico. Dependiendo del índice de refracción del medio en contacto con la capa más exterior, el acoplamiento entre los campos será más o menos intenso, o que se reflejará en la potencia luminosa que sale por el otro extremo de la fibra.

### 3.2.1.2. Tratamiento de Información

Una vez que se han obtenido las señales procedentes de los captadores de información, dichas señales no se pueden llevar directamente a los órganos de gobierno, debido a que no están ordenados y su duración no está controlada.

En este sentido, una señal debe tener la suficiente duración para que sea efectiva pero no tan larga para que pueda interferir la entrada de la señal opuesta.

Para el tratamiento de la información dentro de la aplicación industrial se analizaron los siguientes métodos:

- \* Método intuitivo.

- \* Método sistemático.

**Método Intuitivo.-** en este método se determina primero una secuencia a fin de simplificar y facilitar el estudio que se esté desarrollando, utilizando un diagrama espacio – fase, que considera los tiempos de actuación de los cilindros iguales, o un diagrama espacio – tiempo, que refleja el tiempo de duración del desplazamiento.

En este método también considera el uso de dos tipos de esquemas: uno de posición, que coloca los elementos de acuerdo al lugar que ocupan en la máquina, y el de sistema, el que los elementos están ordenados según el diagrama de fluencia de señales. Este último es el más aconsejable.

**Método Sistemático.-** Los métodos sistemáticos son dos: el de introducción sistemática de memorias, que en base al desarrollo de la secuencia se hacen grupos en que no haya una letra repetida, y el registro de desplazamiento, en el cual cada fase es un grupo.

A través de la aplicación de cualquiera de estos dos métodos, a los grupos obtenidos se les denomina grupos discriminadores, que eliminan las señales permanentes al tener control y diversificación de la alimentación de los captadores de información que son accionados dentro de cada grupo.

### **3.2.1.3. Desarrollo del Circuito Electroneumático**

#### **Introducción**

Cuando las distancias a cubrir por las conducciones neumáticas son grandes, las señales se debilitan y retrasan sus efectos, debido a la pérdida de carga, por lo que ya no tiene la condición de rápidas y seguras.

Por otro lado, las conducciones largas representan un consumo muy elevado de aire y los gastos que de ello se derivan pueden resultar muy altos.

Por estas razones interesa combinar las ventajas del mando eléctrico con la simplicidad y eficacia de la neumática, lo que deriva en las aplicaciones electroneumáticas.

#### **Electroválvulas**

Las electroválvulas o válvulas electromagnéticas son elementos mixtos que mediante una señal eléctrica exterior efectúan las funciones propias de las válvulas distribuidoras.

El distribuidor electroneumático es el elemento en el que un impulso eléctrico se transforma en una señal neumática.

En general, el distribuidor electroneumático es un distribuidor 3/2 que, en principio, consta de un cuerpo con tres vías, con un electroimán. En el interior de éste hay un núcleo que actúa como una válvula doble que cierra una vía al final de cada uno de sus movimientos.

Cuando el electroimán está sin corriente, el núcleo, gracias a la fuerza del muelle y a su peso, cierra la vía inferior.

Cuando se excita el electroimán, la bobina atrae a su núcleo hacia arriba en contra del muelle. Entonces se cierra el orificio superior y se abre el inferior.

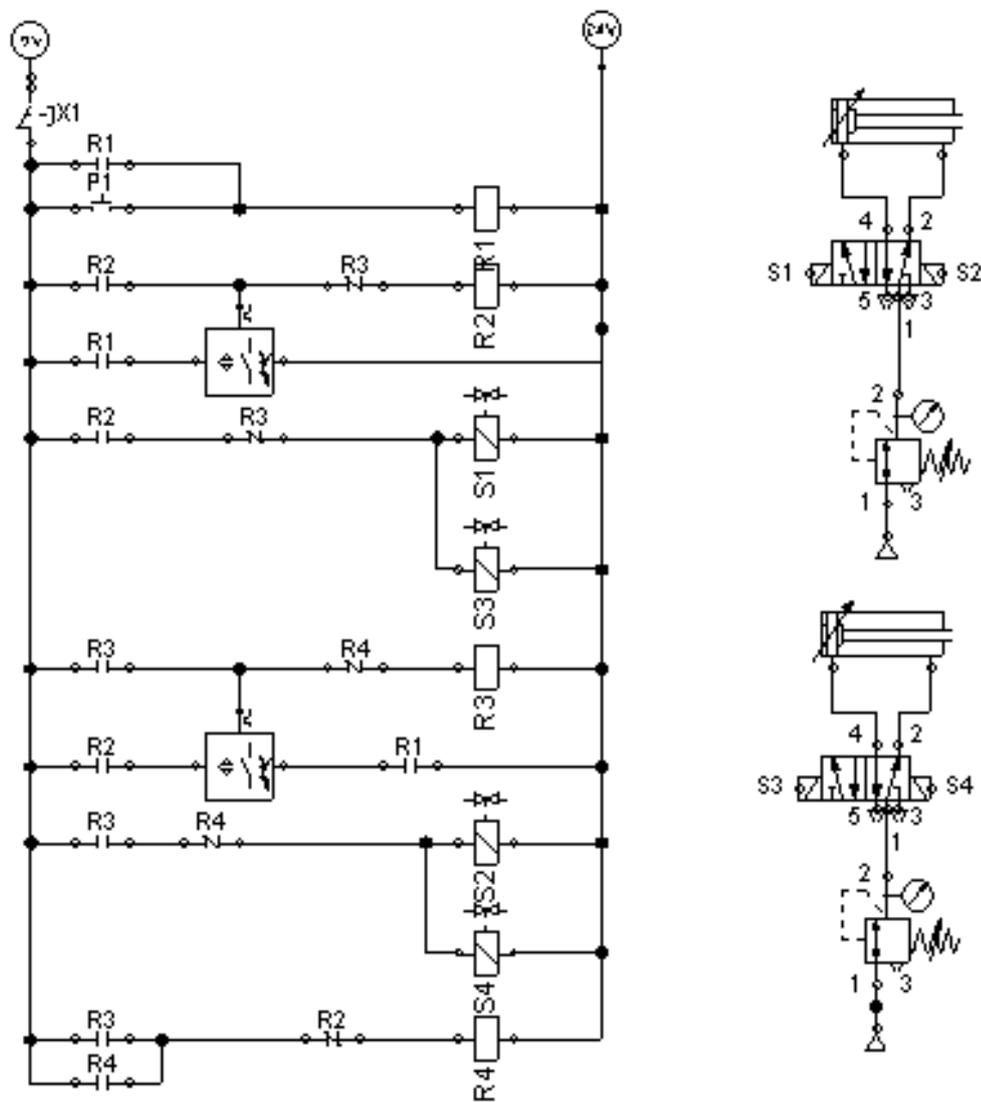
El efecto de una señal eléctrica en el distribuidor es la obtención de una señal de aire a la salida y cuando desaparece la señal eléctrica ocurre lo mismo con la neumática.

## **Desarrollo**

Una vez analizada la sincronización de los elementos y el instante en que los cilindros deben actuar (figura 2.40) procedemos a diseñar el sistema electroneumático que será activado por la parte mecánica, esto es por medio de la corredera a lo largo de la cual se colocarán los captadores de información (SENSORES OPTICOS) a partir de la mitad del desplazamiento, 70 cm.

## **Circuito Electroneumático**

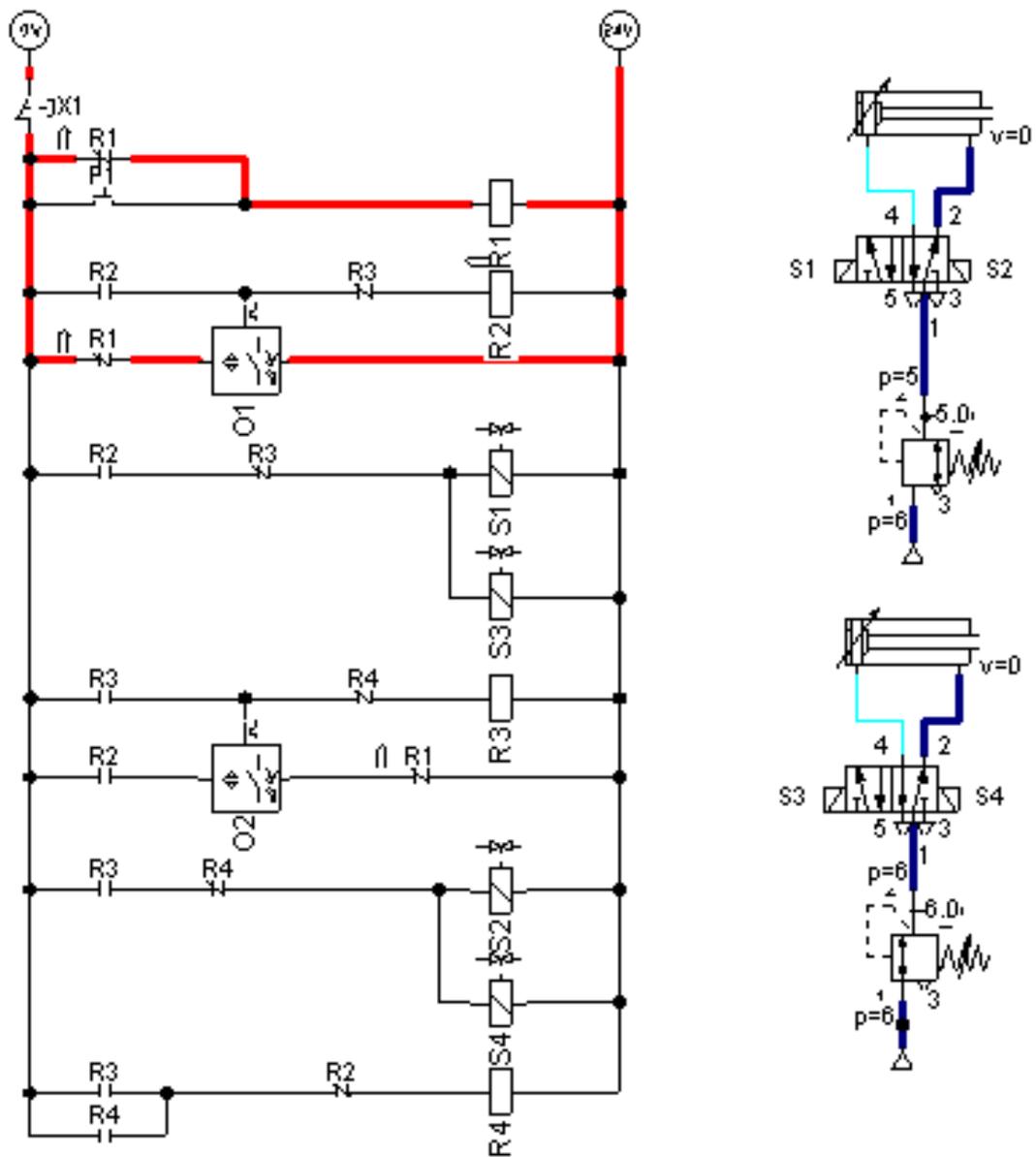
A continuación se presenta el circuito electroneumático que permitirá la fijación de los tubos plásticos y la alimentación del culote y bobina.



**Figura. 3.21 Circuito electropneumático**

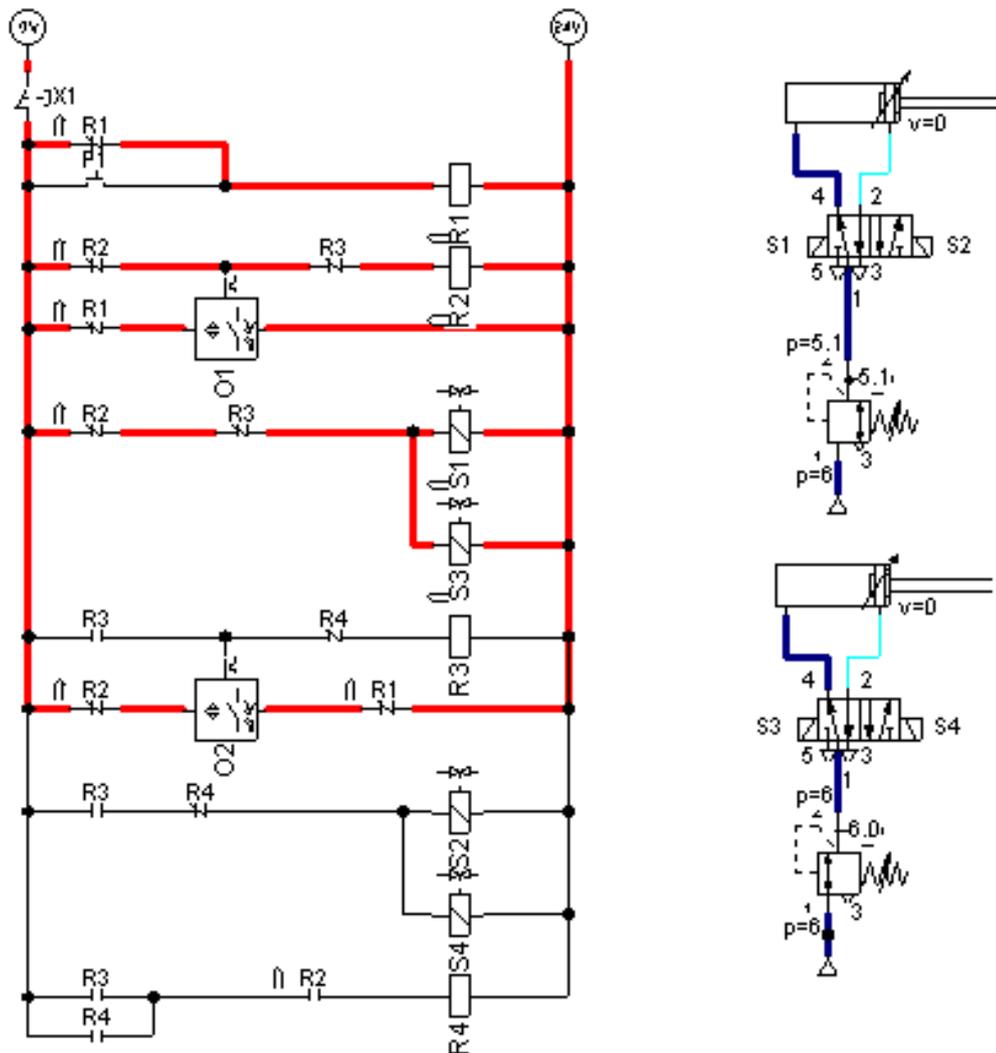
Para desarrollar el circuito electropneumático se consideró la utilización de 2 sensores ópticos los mismos que irán ubicados en la estructura de la máquina y a su vez detectarán la señal (reflejo de luz) que da el momento que la corredera está a la mitad de la carrera (70 mm) tanto a la bajada como a la subida.

El pulsador P1 energiza el sensor óptico 1 a través del relé R1 (fig. 3.22)



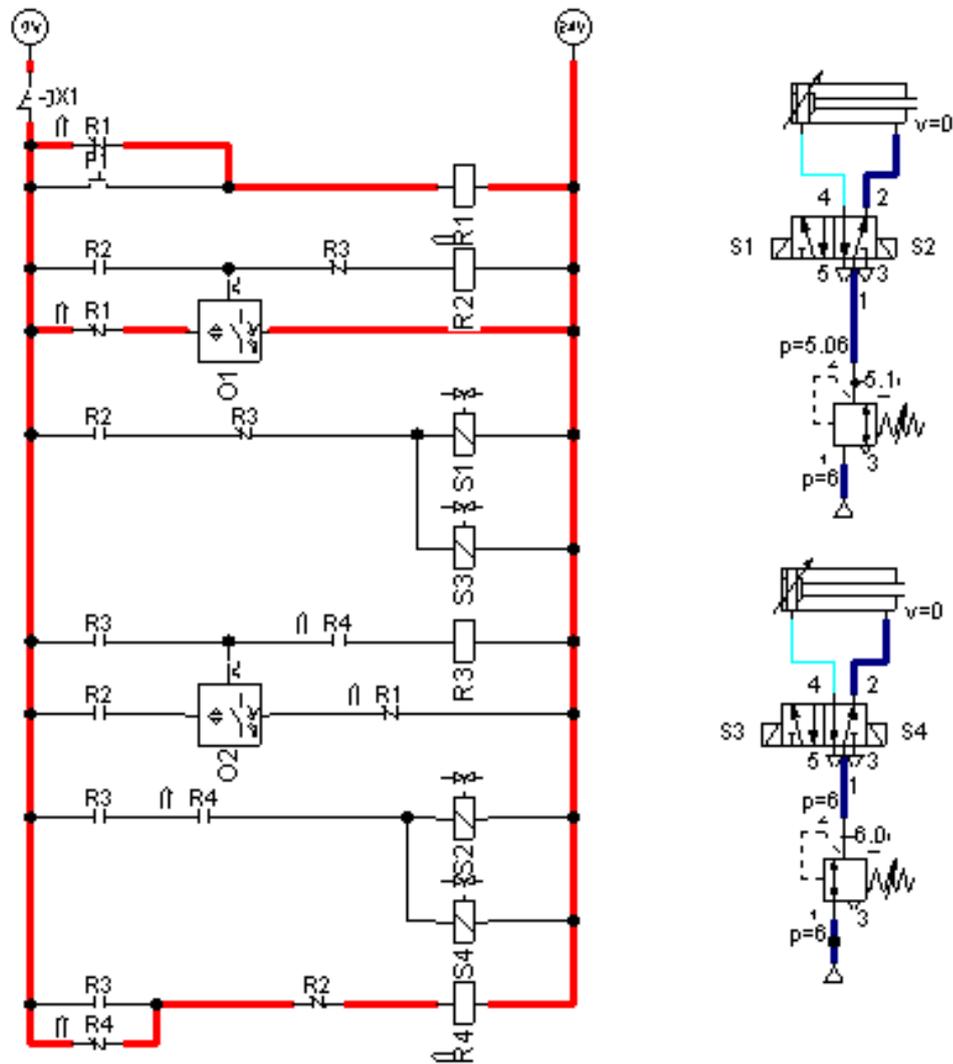
**Figura. 3.22 Funcionamiento inicial del circuito**

luego el sensor óptico O1 activa el relé R2 el mismo que a través de un contacto R2 accionarán al solenoide S1 y S3 permitiendo de esta manera que los cilindros realicen su trabajo, y además energizar al sensor óptico O2.



**Figura. 3.23 Accionamiento de los cilindros**

El momento que sube la corredera y se encuentra a 70 mm. da la señal al sensor óptico O2 activando al relé R3 el mismo que desactiva el relé R2 y los solenoides S1 y S3 y, además permite que se energice los solenoides S2 y S4 permitiendo de esta manera que los cilindros retorne a su posición inicial. Este relé R3 a su vez activa el relé R4 que desactiva a las solenoides indicadas logrando que se pueda repetir el ciclo.



**Figura. 3.24 Funcionamiento final del circuito**

En razón de que los cilindros se activan al mismo tiempo se utilizó un regulador de presión para regular la velocidad y tiempo que se demorará en salir y retornar cada cilindro.

El circuito tiene un pulsador X1 que permite desconectarlo en caso de que se presente alguna emergencia.

Para la selección de los cilindros lo primero que se realizó es calcular la masa del accesorio:

Carrera del cilindro: 59 mm.

Altura del accesorio: 124 mm.

Diámetro del accesorio: 17 mm

Tipo de acero: A36 (Comercial)

El volumen del accesorio será:

$$V := \frac{\pi \cdot D_a^2}{4} \cdot h$$

$$V = 2.815 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$V_{ta} := V_a \cdot 3$       Volumen de tres accesorios

$$V_{ta} = 8.444 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$\delta_{acero} := 7.86 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^3}$$

$M := \delta_{acero} \cdot V_{ta}$       Masa de los accesorios

$$M = 0.664 \text{ Kg}$$

$M_p := 2.140 \text{ Kg}$       Masa de la placa

$M := M + \frac{M_p}{2}$       Masa total que soporta el cilindro

$$M = 1.734 \text{ Kg}$$

A continuación determinamos el diámetro utilizando la siguiente fórmula:

$P := 8.16 \text{ Atm}$       Presión de trabajo

$F := 3 \text{ Kg}$       Fuerza asumida

$$D_c := \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot P}}$$

$$D_c = 0.684 \text{ cm}$$

$$D_c := D_c \cdot 10 \text{ mm}$$

$$D_c = 6.842 \text{ mm}$$

$$FS := 1.5 \quad \text{Coeficiente de seguridad}$$

$$D_c := D_c \cdot FS$$

$$D_c = 10.263 \text{ mm}$$

$$D_t := 16 \text{ mm} \quad \text{El diámetro disponible según catálogo metal work con accionamiento doble y con amortiguación. Mini-cilinder ISO 6432}$$

Con este valor comparamos con los valores que se dispone en el catálogo Metal Work Neumatic y seleccionamos el de diámetro 16 mm. que corresponde a un mini-cilinder ISO 6432 con accionamiento doble y con amortiguación, y para conocer más de las características neumáticas de este cilindro utilizamos el software<sup>9</sup> proporcionado por Ecuatoriana Industrias cuyos resultados presentamos en la siguiente figura:

SIZING A COMPRESSED-AIR CIRCUIT					
External Force (F)	20	N	Connecting pipe length (L)	500	mm
Working stroke (C)	59	mm	Mass (M)	2	Kg
Supply pressure (Pa)	8	bar	Angle (α)	90	deg
<input type="radio"/> Conveyed relief		Coefficient of friction		0,1	
<input checked="" type="radio"/> Quick relief valve		No of elbows		8	
<input type="radio"/> Nothing		Maximum speed		2	m/s
Cylinder Bore		Stroke Time		0,21	s
<input checked="" type="radio"/> Easy Sizer computed					
<input type="radio"/> Defined:					

(a)

<sup>9</sup> Software Metal Work proporcionado por Ecuatoriana Industria.

Description	Value	Unit of measurement
Average flow rate	17,2	NI/min
Maximum flow rate	468,4	NI/min
Average piston speed	0,562	m/s
Cylinder Bore	12	mm
Pipe diameter (od/id)	6/4	mm
Valve Serie 70 1/8"		
Flow rate	500	NI/min
Conductance	121	NI/(minbar)
Critical ratio	0,32	
Alternative valves		
Mach 16		

(b)

**Figura 3.25 Selección del cilindro ingresando los datos al Software de Neumática**

El software nos da la facilidad de visualizar el cilindro y presentar sus características mecánicas como a continuación presentamos en la siguiente figura.

The screenshot shows the 'Pneumatic Cylinder' software window with the following configuration:

- Type: Mini ISO 6432
- Version: Abs. Magn. Double act.
- Stroke: 59 mm
- Pressure: 8 bar
- Code: 1130160059CP

The table below shows the mechanical characteristics for different cylinder sizes:

Bore mm	Rod mm	Rod Threading	Rod Key mm	Connectio	Length mm	Mass Kg	Thrust N	Traction N	Consumption NI FIELD
16	6	M6	5	M5	170	0.2	148	127	0.2
20	8	M8	7	G1/8	188	0.2	234	196	0.3
25	10	M10x1,5	8	G1/8	202	0.3	368	309	0.5

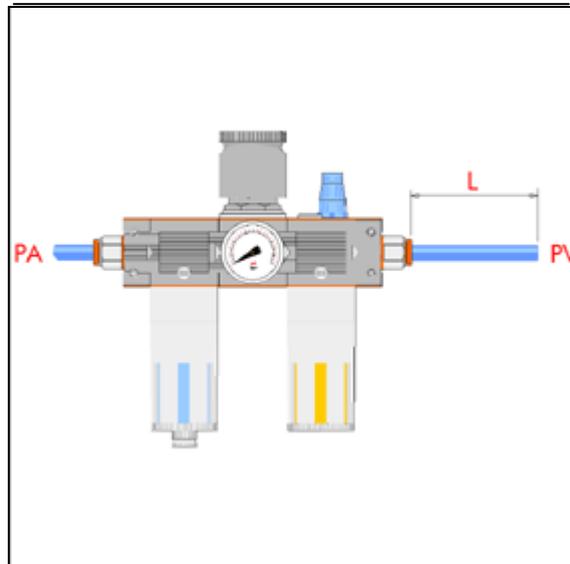
**Figura 3.26 Características mecánicas del cilindro seleccionado.**

El cilindro seleccionado tiene por código 1130160059 CP y se encuentra en el Anexo E (Catálogo Metal Work Pneumatic 1/09 y 1/10).

Una vez identificado los cilindros se procedió a la selección de la unidad de mantenimiento de aire, para lo cual se consideró lo siguiente:

Abastecimiento principal y presión de operación: 8 bares

Flujo de trabajo: 6 bares



**Figura. 3.27 Sistema de mantenimiento**

El flujo de litros normales requeridos por minuto se determina considerando que cada cilindro está en la capacidad de permitir un flujo de 0.2 NI/ciclo y que nosotros requerimos de 0.212 NI/min, concluimos que nuestro flujo es de 56.6 NI/min, de ahí que al ser cuatro cilindros nos da 226.4 NI/min.

Un dato adicional que se requiere es el número de codos, para esto utilizaremos cuatro para cada cilindro obteniendo 16 codos.

Longitud de la tubería: 1000 mm

Ingresamos lista de componentes de nuestra unidad:

- \* Filtro de aire
- \* Filtro regulador
- \* Lubricador
- \* Depurador

SIZING THE AIR TREATMENT UNIT

Mains Pressure (Pa):  bar    No. of elbows:

Valve pressure (Pv):  bar    Output flow rate:  NI/min

Pipe length(L):  mm

List of air treatment unit components

Filter	Filter Regulator	Regulator	Lubricator
Purifier	Shut-off valve	Progressive starter	Erase Last

FIL	FR	LUB	DEP
-----	----	-----	-----

**Figura. 3.28 Clasificación de la unidad de mantenimiento de aire**

El catálogo de Metal work presenta la unidad de tratamiento de aire recomendada con siguientes resultados:

Unidad de tratamiento Skillair 100

Diámetro de la tubería 8 mm.

Description	Value	Unit of measurement
Air Treatment Unit	Skillair 100	
Pipe Internal diameter	8	mm
Alternative:		
New Deal 3/8"		

**Figura. 3.29 Unidad de mantenimiento recomendada**

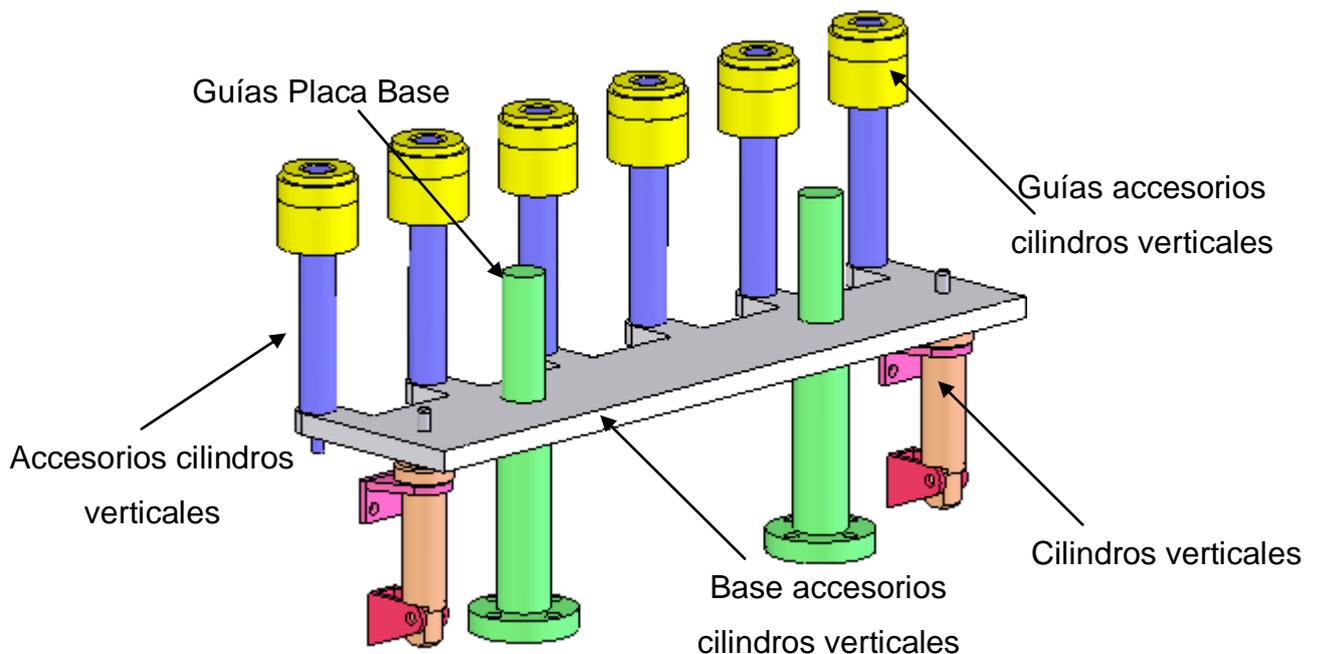
Para más detalle de la unidad de mantenimiento de aire ver el Anexo E (Catálogo Metal Work Pneumatic 3.1/02/06/25/32).

Finalmente en la siguiente tabla se detalla. Los elementos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema neumático.

**Tabla 3.3 Requerimientos para el sistema electroneumático**

Descripción	Código	Cant.
Cilindro doble acción D: 16 mm, C: 59 mm ISO 6432	RM/8016/M/59	2
Cilindro doble acción D: 16 mm, C: 59 mm ISO 6433	RM/8016/M/35	1
Cilindro doble acción D: 16 mm, C: 59 mm ISO 6434	RM/8016/M/41	1
Electroválvula 5/2 - 1/8" monoestable 24 VDC	V60P517AA3180B	2
Unidad de mantenimiento F-R-L-1/2"	AC301003	1
Relé A24 VDC, 2CNA Y 2CNC		4
Sensor Óptico Difuso 0-24DC		2
Transformador rectificador 110 VAC-24 VDC		1
Caja de control eléctrico con accesorios		1
Racores, silenciadores, tubo y accesorios		1

### 3.2.2. DISEÑO DE ELEMENTOS PARA LA FIJACIÓN DE LOS TUBOS PLÁSTICOS.



**Figura. 3.30 Accesorios para la fijación de tubos plásticos**

Para la fijación de los tubos plásticos, se consideró que los elementos diseñados no están sujetos a esfuerzos y por lo tanto su diseño es geométrico. Ver anexo A Código PB31-10 A3.

### **3.2.2.1 Diseño de accesorios verticales y base para accesorios verticales**

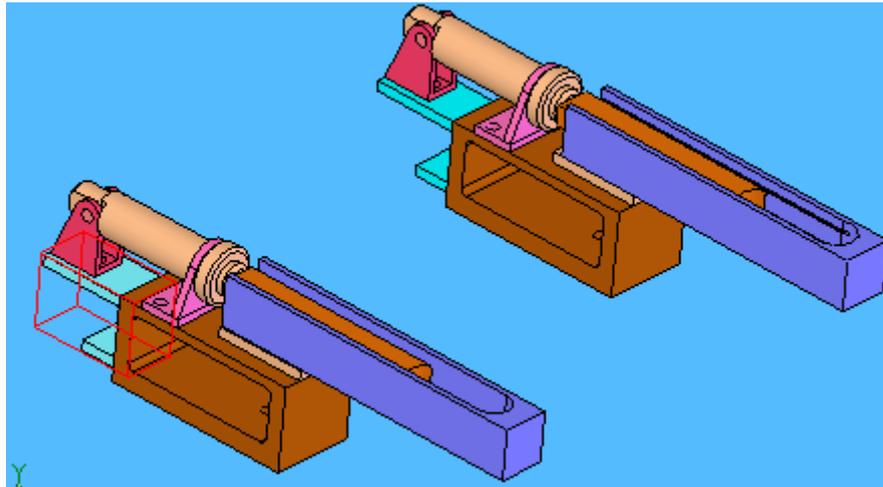
El material seleccionado para los accesorios verticales es el acero SAE 1018 en razón de que será utilizado en una aplicación donde las cargas mecánicas no son muy severas y porque se acoplará a la base porta accesorios verticales.

En lo que respecta a la base será de acero AISI 1045 que es un acero para maquinaria que por su mejor tenacidad que los anteriores permite soportar a los accesorios y acoplarse a la cabeza de los cilindros.

Ver anexo A Código PB31-10 A3-001 y A3-002

### **3.2.3. DISEÑO DE LA BASE PARA LA FIJACIÓN CILINDROS HORIZONTALES Y ACCESORIOS QUE PERMITEN EL TRANSPORTE DE LA BOBINA PLÁSTICA Y CULOTE METÁLICO**

Las bases de los cilindros soportan a los minicilindros y los accesorios son aquellos que se acoplan a los minicilindros permitiendo de esta manera transportar tanto a la bobina como al culote metálico hacia una distancia desde donde la cual se depositen sobre la boca del tubo plástico tal como lo indica el anexo A Código PB31-10 A4.



**Figura. 3.31 Bases y accesorios para cilindros laterales**

Para diseñar las bases de los cilindros laterales se aprovechó los espacios que existen en la máquina PB31-10 y se seleccionó un acero para maquinaria AISI 1045 que es más resistente y a su vez soporta el peso de los minicilindros que son de aluminio.

Los accesorios prácticamente se apoyarán sobre la base de los cilindros, por lo tanto no afectarán a los cilindros, reduciéndose cualquier efecto sobre estos. Cabe recalcar que los accesorios que irán acoplados a los cilindros tendrán una medida igual a dos diámetros de la bobina y del culote respectivamente.

Ver anexo A Código PB31-10 A4-001, A4-002, A4-003 , A4-004, A4-005, A4-006, A4-007 , A4-008, y A4-009.

### **3.3 ELABORACIÓN DE LAS HOJAS DE PROCESOS**

El diseño de los elementos ha permitido elaborar los planos de construcción que se encuentran en el Anexo A. A su vez, los planos indican las necesidades en cuanto a los materiales que se necesitan para construir las partes.

El siguiente paso es establecer los métodos utilizados en la manufactura de los elementos. Esto se hace a través de las hojas de proceso que se encuentran en el Anexo B.

En ellas se detalla las máquinas a utilizarse, los tiempos de producción y todos los criterios técnicos que servirán para que los operarios puedan realizar su trabajo.

### **3.4. SIMULACIÓN DEL PROCESO DE ENSAMBLAJE**

Para realizar la simulación de un mecanismo, es decir plasmar los movimientos que se requiere que realicen los elementos que forman parte de una máquina que realiza un determinado trabajo, se utilizaron dos programas el Solid Works y el Cosmos Motion, siendo este último complemento del primero.

En el Solid Works se realizaron todos los elementos que forman parte de la máquina PB31-10 por separado (ver Anexo D) y que permitirán realizar el ensamblaje de la munición de caza.

Luego de esto en el mismo programa se arma un ensamble con todas las piezas realizadas. Se debe tener muy en cuenta las distancias y relaciones de posición reales que se tiene entre cada una de las piezas. Una vez realizado esto procedemos a simular el proceso.

Ya en la simulación las restricciones se especifican cómo los cuerpos rígidos se unen unos a otros, cómo se mueven entre ellos, y cómo se aplican las fuerzas.

A continuación se detallan las consideraciones que se utilizaron para desarrollar la simulación y el significado de las opciones que nos permite utilizar el programa.

### **3.4.1. TIPOS DE RESTRICCIONES**

- \* Articulaciones (usadas para obligar el movimiento relativo de un par de cuerpos rígidos físicamente conectándolos o definiendo el contacto entre ellos).
- \* Movimientos (usados para definir el movimiento de Articulaciones y de piezas).
- \* Fuerzas (usadas para definir cargas y deformaciones en piezas).

### **3.4.2. ARTICULACIONES**

Una vez que se haya definido completamente el mecanismo en SolidWorks (utilizando las relaciones de posición del ensamble), está listo para la simulación del movimiento en Cosmos Motion. Las relaciones de posición que se han creado en SolidWorks son tomadas por el Cosmos Motion para crear las articulaciones tal y como fueron definidas, ya sea como partes móviles o fijas. Los tipos de restricciones básicas se combinan a las articulaciones mecánicas simplificadas.

Para crear articulaciones manualmente se debe considerar lo siguiente:

Hay dos diversos tipos de Articulaciones en Cosmos Motion:

- \* Las articulaciones usadas para el movimiento relativo de un par de cuerpos rígidos físicamente conectándolos.
- \* Las articulaciones primitivas que son restricciones geométricas estándar.

Cualquier articulación o articulación primitiva se puede agregar manualmente al modelo del movimiento usando las técnicas descritas abajo.

Se debe tomar en cuenta que la relación existente entre el Cosmos Motion y el Solid Works es unidireccional, es decir que ningún cambio a las restricciones

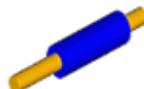
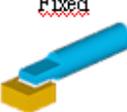
en el Cosmos Motion o a las cargas aplicadas serán transferidas a la geometría o a las restricciones de SolidWorks.

### 3.4.2.1 Tipos de Articulaciones

Una articulación es utilizada para obligar el movimiento relativo de un par de cuerpos rígidos conectándolos físicamente.

Si se considera que un cuerpo rígido actúa y se mueve como sola unidad y los componentes de SolidWorks se consideran como cuerpos rígidos (por lo tanto los sub - ensambles parciales se tratan como un solo cuerpo rígido).

La figura siguiente demuestra las articulaciones apoyadas por Cosmos Motion con los grados de libertad de translación y rotatorios que estos restringen. La articulación de tornillo no se calcula en esta tabla porque tiene dos articulaciones juntas.

		Rotacional DOFs constrained			
		0	1	2	3
Translational DOFs constrained	0	No-Constraints 	Perpendicular JPrim	Parallel-Axis JPrim	Orientation JPrim 
	1	In Plane JPrim		Planar Joint 	
	2	In Line Curve/Curve JPrim Point/Curve 		Cylindrical 	Translational 
	3	Spherical 	Universal 	Revolute 	Fixed 



Screw joint  
Removes 1 DOF

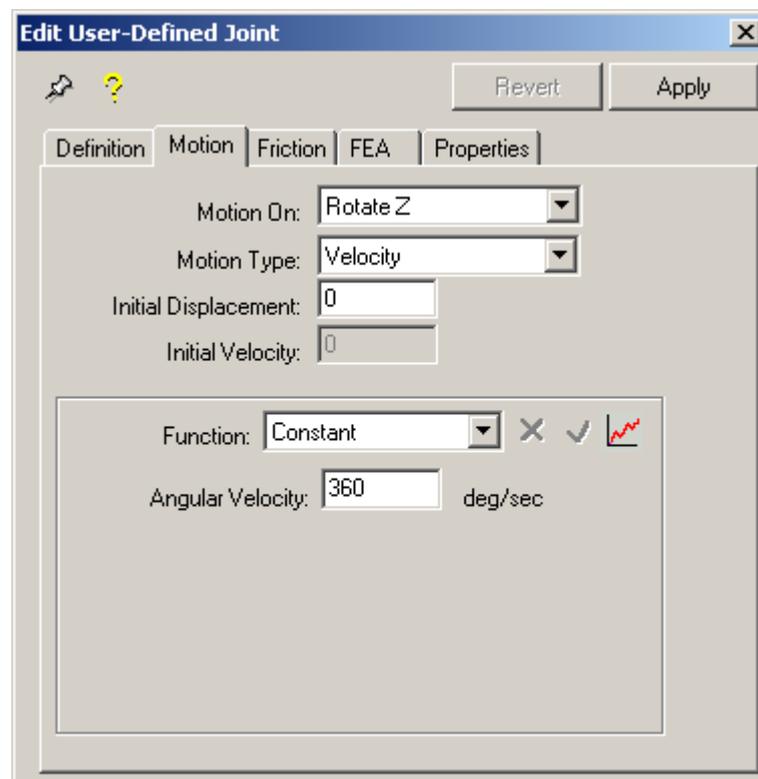
Figura. 3.32 Grados de libertad de los diferentes tipos de juntas

### 3.4.3. MOVIMIENTOS

Los movimientos se agregan a las articulaciones para definir el movimiento relativo de ambos cuerpos rígidos en un cierto plazo.

Un conductor del movimiento puede ser una característica de una articulación.

El movimiento de una articulación se define en el submenú del cuadro de diálogo Definición de la Articulación.



**Figura. 3.33 Definición de la articulación**

### 3.4.4 GRADOS DE LIBERTAD

Un movimiento dicta la dislocación, velocidad, o aceleración de una articulación en función del tiempo. El controlador del movimiento suministra tanta fuerza como necesite alcanzar el movimiento definido.

Los grados de libertad pueden ser rotatorios o de translación. Se puede aplicar un movimiento a cualquier grado de libertad en una articulación. Algunas articulaciones, como una planar, tiene tres grados de libertad (DOF), dos de translación y un rotatorio.

Para esta articulación, se puede aplicar el movimiento tanto en translación como en rotación.

### 3.4.5. TIPOS DEL FUNCIONES QUE DEFINEN EL MOVIMIENTO

Cinco tipos de funciones se pueden definir en una articulación:

- \* Función Constante.
- \* Función paso a paso.
- \* Función Armónica.
- \* Función Spline.
- \* Expresión de la Función.

### 3.4.6 CREAR UNA ARTICULACIÓN

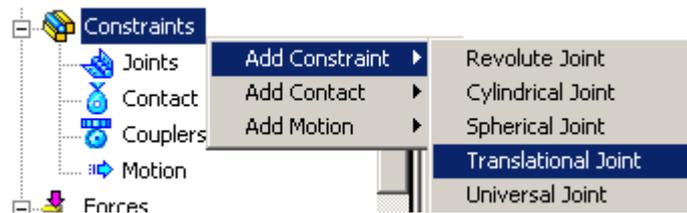
#### 3.4.6.1. Métodos para crear Articulaciones:

Del menú principal se selecciona movimiento, articulación y el tipo de articulación.



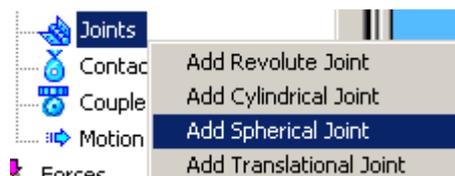
**Figura. 3.34 Menú principal**

Del administrador de propiedades realizando clic derecho en restricciones y seleccionando agregar restricción, escogemos el tipo de articulación.



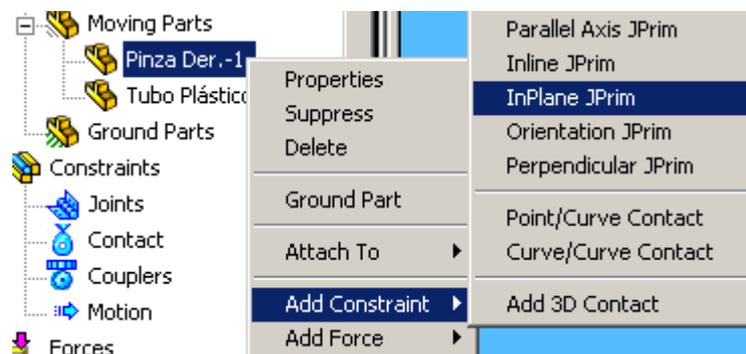
**Figura. 3.35 Creación de articulaciones**

Del administrador de propiedades realizando clic derecho en articulaciones y seleccionando el tipo de articulación.



**Figura. 3.36 Creación de articulaciones**

Del administrador de propiedades realizando clic derecho en las piezas móviles o fijas y seleccionando restricción y el tipo de articulación.



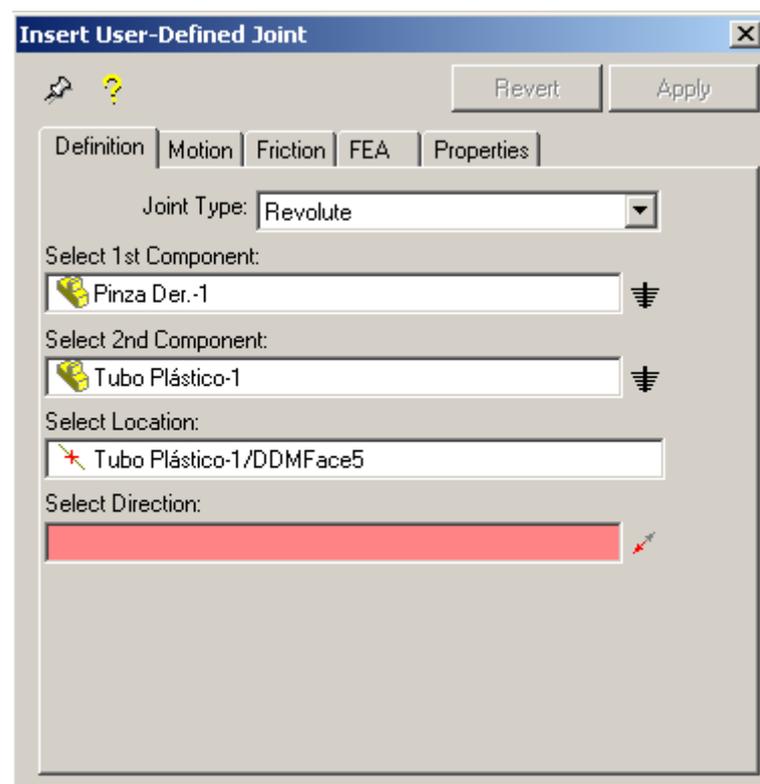
**Figura. 3.37 Creación de articulaciones**

Para crear una articulación o articulación primitiva:

Se inicia realizando cualquiera de los procedimientos antes descritos hasta abrir un cuadro de diálogo.

El menú definición debe ser visible cuando aparece el cuadro de diálogo, caso contrario clic izquierdo en definición. Se selecciona los dos cuerpos o componentes rígidos que se conectarán por la articulación.

Si se seleccionaron los componentes en el administrador de propiedades antes de abrir el cuadro de diálogo, los nombres componentes deben aparecer en el campo de los componentes.



**Figura. 3.38 Definición de la articulación**

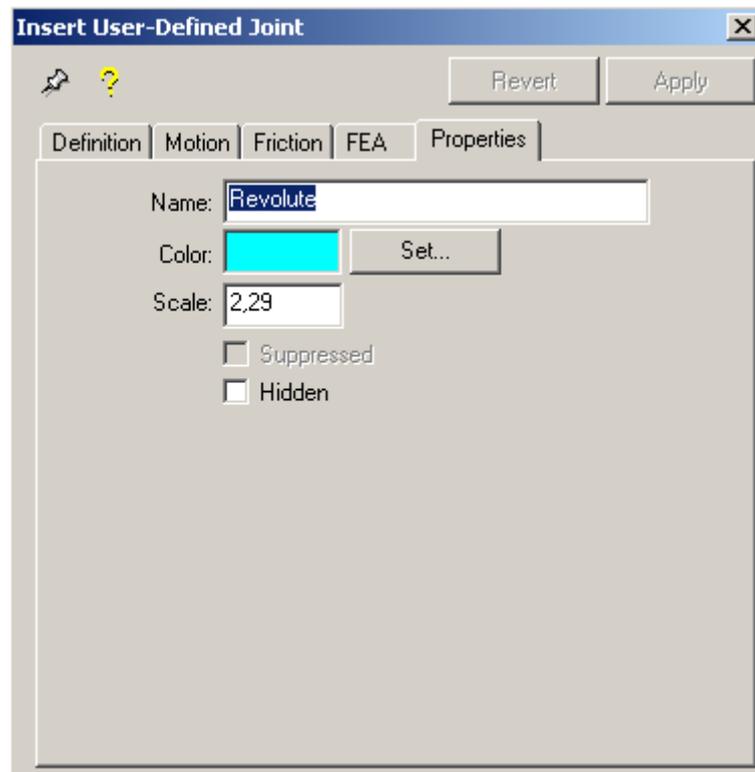
Si el origen correcto de la articulación (localización) no se ha definido ya, se seleccionará un borde (punto medio), vértice, o borde circular (centro) en la geometría del modelo existente para definir el origen del articulación. Se puede

también haber definido automáticamente el origen si se seleccionó una característica de la geometría en una de las piezas al definir el primer o segundo componente.

Se debe seleccionar un borde, cara plana, borde circular, o cilindro para definir la orientación común (dirección). Si se está creando una articulación universal, se debe definir las orientaciones para las dos hachas del eje (se puede cambiar la dirección del eje común accionando la doble flecha, encontrada al fondo del panel de la orientación).

Una vez que se hayan definido la localización y la dirección, el icono común aparecerá en la pantalla el origen común con la orientación definida.

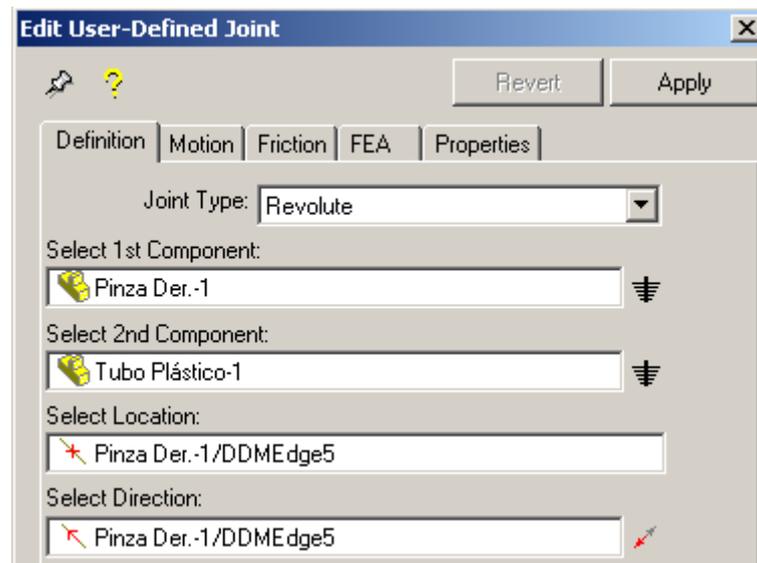
Paso opcional: se puede modificar el nombre de la restricción abriendo el menú propiedades del cuadro de diálogo.



**Figura. 3.39 Definición de propiedades**

Si se desea aplicar un controlador del movimiento a un grado de libertad abierto en la articulación, se selecciona el menú movimiento del cuadro de diálogo y se aplica el tipo de movimiento.

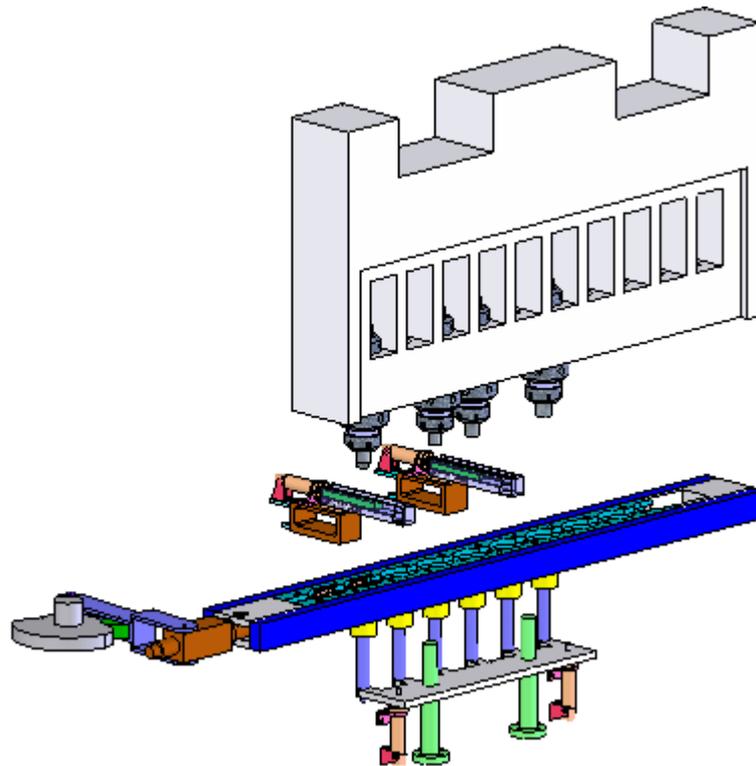
Finalmente en el cuadro de diálogo seleccionamos aplicar.



**Figura. 3.40 Definición del movimiento**

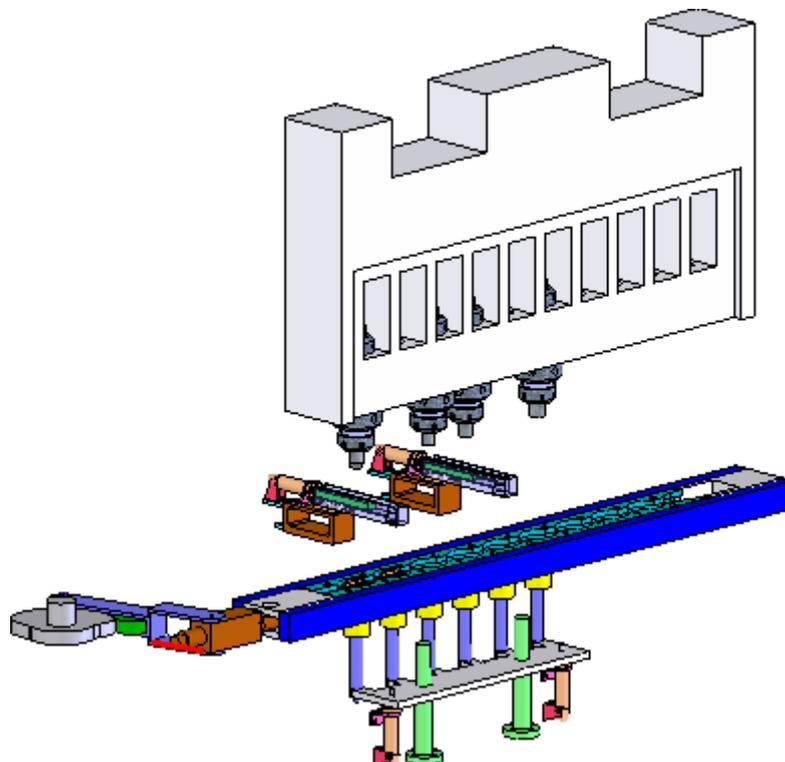
### 3.4.7. SIMULACIÓN

En esta etapa tanto el transportador como la corredera porta punzones y el sistema neumático se encuentran en el reposo bajo, punto muerto inferior y carrera iguala cero, respectivamente.



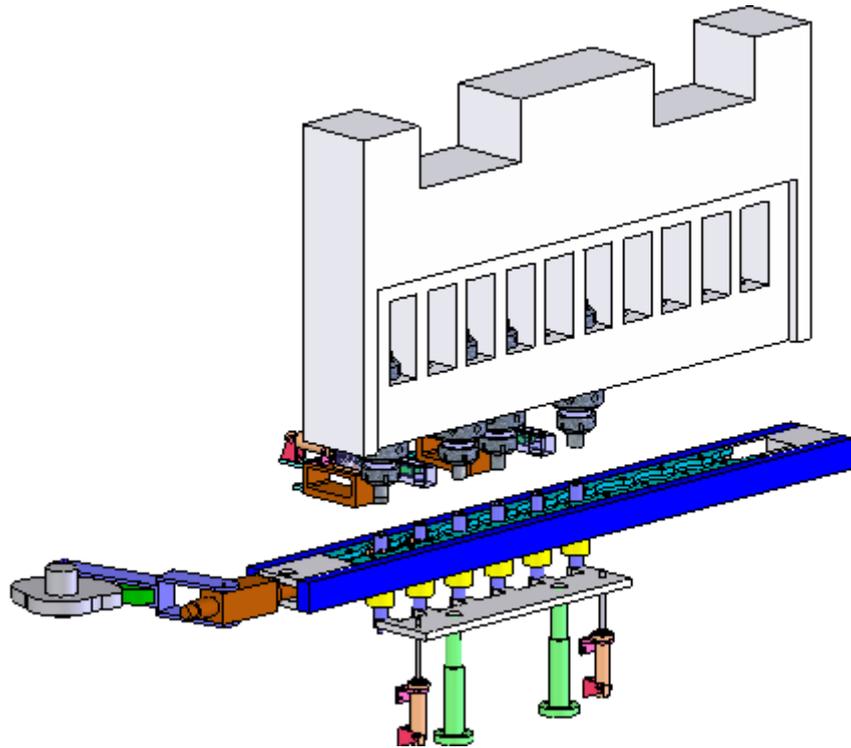
**Figura. 3.41 Posición inicial del proceso**

En esta etapa la corredera avanza hacia su punto muerto superior, mientras el transportador ya se encuentra en el reposo alto.



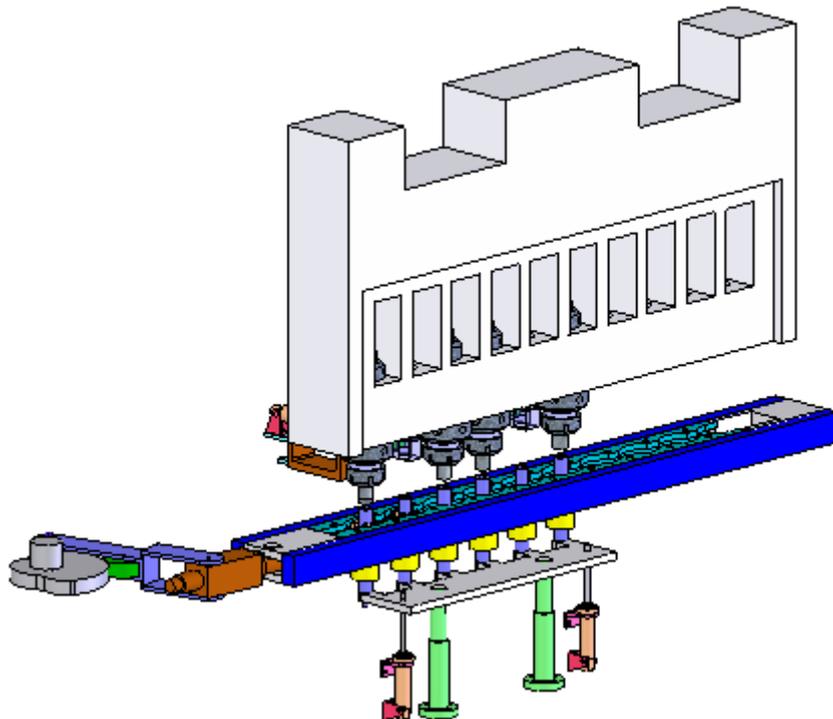
**Figura. 3.42 Avance de los sistemas corredera – transportador**

A continuación la corredera manda a que el sistema neumático entre en funcionamiento



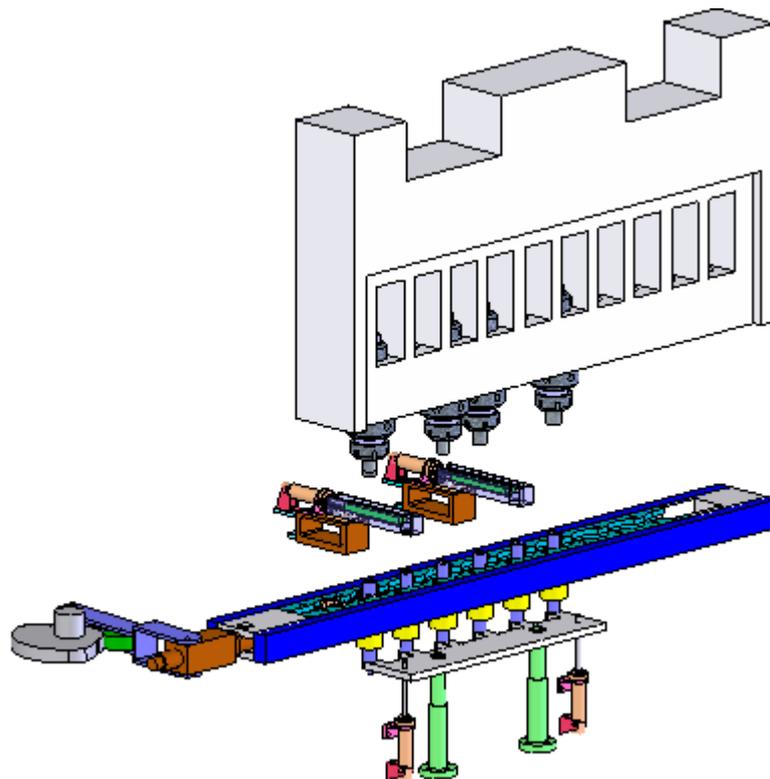
**Figura. 3.43 Desplazamiento de cilindros verticales y horizontales**

En esta etapa se produce el ensamblaje al alcanzar la corredera el PMS



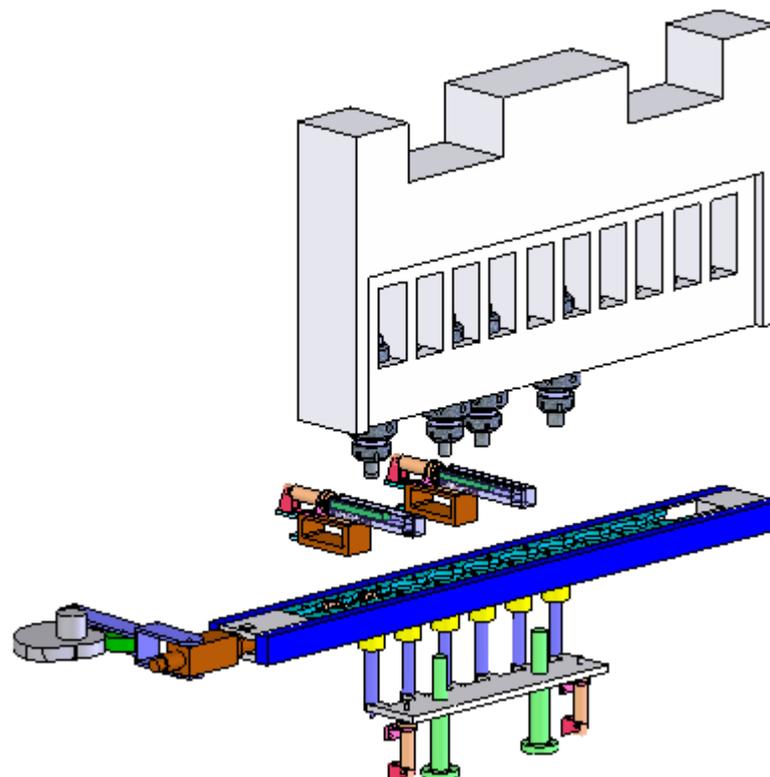
**Figura. 3.44 Corredera en el PMS**

Retroceso del transportador y corredera



**Figura. 3.45 Retorno del transportador y corredera**

Retorno de cilindros verticales y laterales a su posición inicial



**Figura. 3.46 Retorno al estado inicial del proceso**

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

#### 4.1. ANÁLISIS ECONÓMICO

##### 4.1.1. ESTUDIO DE MERCADO

##### 4.1.1.1. Estudio de la Oferta y la Demanda

La oferta en cantidades está determinada por: Importadores, fabricantes locales (Fábrica de Municiones Santa Bárbara F.M.S.B. y Fábrica de Municiones de Cuenca FANAC) y contrabando.

De acuerdo a información del CC.FF.AA. se tiene la siguiente información de la oferta:

**Tabla 4.1 Oferta a nivel nacional**

Importación	1'852.015
FMSB y FANAC	7'500.000
FANAC	1'000.000
Total	10'352.015

De acuerdo a estudios de mercado realizados por DINECOMS, la demanda de munición de caza en el país alcanza los 12'000.000 de cartuchos, la misma que está dada en el siguiente orden:

- \* Camaroneras.
- \* Seguridad industrial, privada.
- \* Cías. que dan servicio de seguridad.
- \* Cacería (mínima cantidad).

### **Demanda Insatisfecha**

De lo anteriormente expuesto existe una demanda insatisfecha de 1'647.985 cartuchos que la F.M.S.B. pretende captar.

#### **4.1.2. ESTUDIO TÉCNICO**

El factor más importante para determinar el tamaño del proyecto será la necesidad de atender la demanda nacional, determinada anteriormente.

El proyecto se ubicará en las instalaciones de la F.M.S.B., para lo cual existe la infraestructura adecuada y se deberá reacondicionar y adquirir la maquinaria y equipo necesarios.

Con la maquinaria que se va a reacondicionar y a adquirir, la capacidad instalada para la fabricación de cápsulas fulminadas será de 666.670 cápsulas/mes a un turno de producción. Con esta capacidad estaremos en capacidad de cubrir una demanda de 8'000.000 y con proyección de exportar nuestro producto.

Análisis y determinación de las piezas a fabricarse en la F.M.S.B. y otras empresas.

#### **Tabla 4.2 Elementos de la munición de caza y su procedencia**

COMPONENTE	PROCEDENCIA
TUBO PLÁSTICO	INDUSTRIA LOCAL
BOBINA PLASTICA	INDUSTRIA LOCAL
CULOTE METÁLICO	FMSB
FULMINANTE	IMPORTADO

Maquinaria y equipos para la fabricación de las cápsulas fulminadas

La maquinaria requerida se detalla a continuación:

**Tabla 4.3 Maquinaria requerida para ensamblar la munición de caza**

MAQUINARIA	PROCEDENCIA
MAQ. ENSAMBLAR LA CÁPSULA	Rediseño máquina Pb31-10 (FMSB)
MAQ. PENSADO DEFINITIVO	BSN ITALIA
MAQ. FAB. CULOTE METALICO	DISPONE LA FMSB
MAQ. FULMINAR	DISPONE LA FMSB

Personal requerido para la máquina de ensamblar la cápsula:

**Tabla 4.4 Número de operarios para el proceso de ensamblaje**

ORD	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	NIVEL DE PREPARACIÓN	Nº OPERADORES
1	Operador de máquina	Bachiller	3
	Total personal necesario		3

#### 4.1.3. ANÁLISIS DE COSTOS

Para realizar el análisis de costos del proyecto se evaluó inicialmente el costo del rediseño de la máquina PB 31-10 tal como lo detalla el anexo C1 considerando para ello cuatro elementos:

\*Materia prima (Acero y sistemas neumáticos).

\*Mano de obra directa (Personal técnico).

\*Costos indirectos de fabricación (Maquinaria, M.O.I y asesoramiento).

\*Gastos de administración e imprevistos.

Los mismos que se resumen de la siguiente manera:

**Tabla 4.5 Costo del rediseño de la maquinaria**

DESCRIPCIÓN	VALOR USD
MATERIA PRIMA	1958.18
MANO OBRA DIRECTA	5150.72
COSTO INDIRECTO DE FABRICACIÓN (CIF)	10832.00
COSTO DE REDISEÑO	17940.90
T GASTOS ADMINISTRATIVOS (15% CR)	2691.14
SUBTOTAL	20632.04
IMPREVISTOS (10%)	2063.20
<b>TOTAL REDISEÑO PB 31-10</b>	<b>22695.24</b>

El siguiente paso una vez determinado el costo de rediseñar la máquina PB31-10 es encontrar el costo de producción de las cápsulas fulminadas tal como lo muestra el anexo C3 obre la estructura general del flujo de caja para lo cual se consideraron los siguientes elementos:

- \* Materia prima (tubo plástico, bobina, culote yfulminante)
- \* Mano de obra directa (Operarios)
- \* Costos indirectos de fabricación (Maquinaria y M.O.I)
- \* Gastos de administración

**Tabla 4.6 Costo de producción de la munición de caza**

DETALLE	COSTO UNITARIO USD	PROVEEDOR
TUBO PLÁSTICO:	0,0120	Local
BOBINA PLÁSTICA:	0,0050	Local
CULOTE METÁLICO:	0,0104	FMSB
FULMINANTE:	0,0120	Importado
Total materia prima	0,0394	
Gastos de fab. y adm.	0,0072	
<b>COSTO TOTAL CAPSULAS FULMINADAS</b>	<b>0,0466</b>	

### **Inversión**

La inversión es la siguiente:

**Tabla 4.7 Inversión para el proceso de ensamblaje**

MAQUINARIA	COSTO USD	PROCEDENCIA
MAQ. ENSAMBLAR LA CÁPSULA:	22.695,24	FMSB (Rediseño)
MAQ. PB 31-10	100.000,00	FMSB
MAQ. PRENSADO DEFINITIVO:	87.817,00	BSN ITALIA
MAQ. FAB. CULOTE METALICO:	11.000,00	FMSB
MAQ. FULMINAR:	4.000,00	FMSB
<b>INVERSIÓN EN MAQ. TOTAL:</b>	<b>229.512,24</b>	

Los costos unitarios obtenidos fueron hechos con la base de una producción anual de 8 millones de cartuchos (320000 cajas de veinte y cinco unidades) anuales, cifra obtenida del análisis de mercado para este producto. Según el análisis de costos expuesto en el anexo C2 de ensamblaje de la cápsula munición de caza calibre 16 donde se indica que el precio es de  $0,0466 \text{ USD}/\text{cartucho}$ , que comparado con el costo de un cartucho importado de  $0,0654 \text{ USD}/\text{cartucho}$ , existe un ahorro de  $0,0188 \text{ USD}/\text{cartucho}$ .

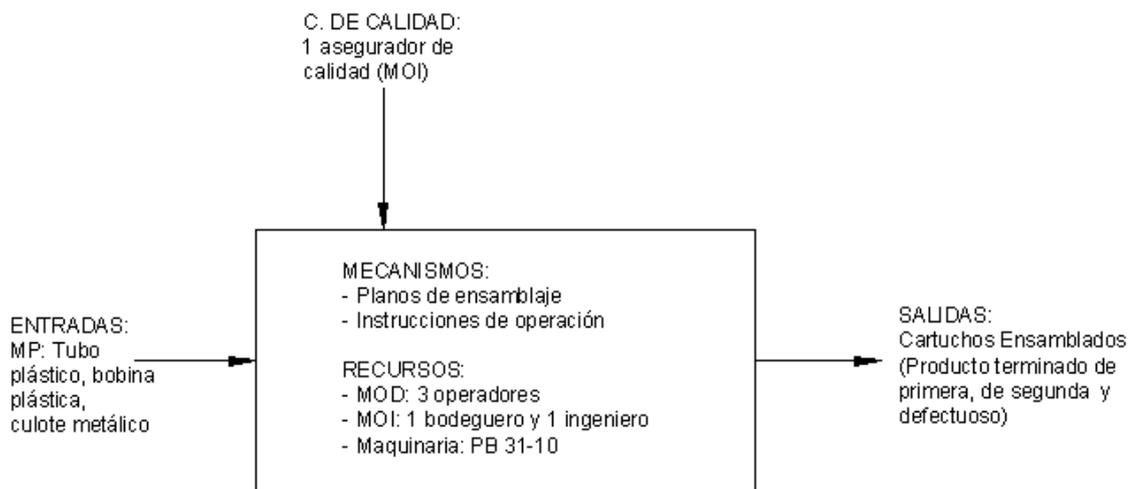
Conociendo estos valores se puede ahora establecer los parámetros de evaluación, que son:

¿Cuánto producir?

De acuerdo a las necesidades y a los estudios realizados por parte de la FMSB se requiere una producción de 8´000.000,00 de cartuchos anuales.

¿Cómo producir?

El proceso propuesto consiste en ingresar como materia prima los componentes tubo plástico, bobina plástica y culote metálico, para ser ensamblados y obtener el cartucho de munición de caza sin fulminar munición terminada como producto final a razón de 30.305 unidades diarias, llegando así, a producir 8 millones de cartuchos por año. La figura 6.2 muestra el diagrama de procesos con el método empleado.



**Figura. 4.1 Diagrama de procesos para el ensamble de la munición**

Máquinas: Las empleadas para el ensamble son la Máquina PB 31-10.

Mano de obra: Se necesitan tres operadores, como mano de obra directa, una persona para la ejecución de pruebas y el control de la calidad, una persona de mantenimiento y un ingeniero como mano de obra indirecta.

Medio ambiente: El área donde operará la máquina actualmente trabajan con pólvora y con altos índices de decibeles, que aunque tiene buena ventilación y utilizan medidas de seguridad industrial, debe ser reforzado.

Materiales: Los elementos necesarios como materia prima son: el tubo plástico, la bobina plástica y el culote metálico.

### **Estabilidad económica**

Para que exista estabilidad económica, debe existir una producción constante; es decir, sin variaciones excesivas entre períodos. La empresa tiene previsto fabricar 8 millones de cartuchos anuales, a un ritmo de 30.305 unidades diarias. De esta forma, y con un plan de ventas bien estructurado, la fábrica tendrá la estabilidad económica necesaria para apoyar la producción de munición de caza calibre 16.

### **Crecimiento Económico**

Es costumbre pensar que para que un proyecto sea apoyado, éste debe estar constantemente en crecimiento, representando cada vez mayores ingresos para la empresa. Sin embargo, como se demostró anteriormente, las utilidades que promete la nueva munición desde su introducción son muy altas; por lo que en esta línea es suficiente con mantener ese ritmo de ventas a lo largo del tiempo.

## **4.2. ANÁLISIS FINANCIERO**

En el análisis financiero se determina la rentabilidad del proyecto por medio de tres indicadores que muestran cuantitativamente el impacto dentro de la empresa. Estos son: el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el tiempo de recuperación de la inversión. Sin embargo, para poder calcular estos indicadores, es necesario primero elaborar el flujo de caja

presupuestado correspondiente a diez períodos, que en este caso equivalen a diez años.

Como se puede observar en los cuadros del anexo C4, los valores del valor actual neto (VAN) que es el valor monetario que excede la rentabilidad deseada después de que se ha recuperado toda la inversión, es de 1.773.460,35 dólares y una tasa interna de retorno (TIR) que es el porcentaje máximo que puede ser exigido al proyecto, es decir, cuando el VAN es cero el TIR es el 78%. El último indicador del análisis financiero es el tiempo de recuperación de la inversión el cual es de aproximadamente dos años.

Es importante tomar en cuenta que el mantenimiento de la maquinaria es un rubro que por su importancia debe ser tomado en cuenta dentro de este análisis, debido a que permitirá mantener operativos los elementos mecánicos como son las matrices, punzones, pinzas, entre otros, y los sistemas y elementos electroneumáticos como los cilindros, válvulas, etc.

El análisis económico – financiero ha demostrado que el proyecto es viable y que su ejecución está plenamente justificada.

# CAPÍTULO V

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

Al evaluar las condiciones de funcionamiento de la máquina PB 3110 se concluyó que el sistema de extractores que cumplen con el trabajo de la fijación de los cartuchos calibre 7.62 mm., no permiten que se realice lo mismo con la munición de caza calibre 16, debido a que se tiene que realizar un análisis cinemático y consecuentemente modificar la geometría del sistema de levas horizontales que afecta directamente a la estructura de la máquina.

Una vez realizado el análisis cinemático del sistema biela-manivela de la corredera portapunzones y del sistema de levas que permiten el movimiento del transportador, y además al determinar que el proceso de ensamblaje no está sometido a esfuerzos, se concluye que las partes mecánicas tales como las pinzas, muelles, punzones, los accesorios que se acoplarán a los cilindros y las bases donde se asientan los mismos, cumplirán con las dimensiones y parámetros de construcción para permitir el correcto ensamblaje de la munición de caza calibre 16 .

Luego de realizar el análisis para la sincronización de los elementos, esto es de la corredera, el transportador y el instante que tiene que actuar los cilindros que permiten sujetar los tubos plásticos, y debido a que se va a utilizar dispositivos de mayor eficiencia tales como el sensor fotoeléctrico, se va a manejar tiempos de respuesta inmediata y por consiguiente se necesita que funcionen con mayor precisión, se concluye que el sistema necesariamente tiene que ser electroneumático ya que cumple con todas estos requerimientos.

Para la simulación del proceso de ensamblaje debido a la complejidad del sistema se concluye que el software que permite la simulación de los movimientos del sistema de levas, corredera portapunzones, accionamiento de los cilindros y movimiento de las pinzas es el COSMOS MOTION.

Al realizar el estudio económico financiero teniendo en cuenta que la producción anual es de 8 millones de cartuchos y que esta es establecida por la FMSB, se determinó que nuestro proyecto tiene un indicador del valor actual neto (VAN) de 1.773.460,35 y una tasa interna de retorno (TIR) de 78 % y cuya inversión se puede recuperar en 2 años, lo que nos permite concluir que el proyecto es viable.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

La Fábrica de Municiones “Santa Bárbara” debe seguir el proceso de transformación de la máquina PB3110 para el ensamblaje de la munición de caza calibre 16, con el fin de reutilizar dicha máquina que actualmente no se encuentra operando.

Al retirar el sistema de extractores de la máquina PB3110 es importante que no se destruya la estructura de la misma, debido a que se va a aprovechar los espacios y soportes para la colocación del sistema neumático.

El instante que se realice la construcción de las piezas mecánicas indicadas en los planos debe cumplirse con los parámetros de construcción, de manera de que no exista problemas el momento de poner en funcionamiento la máquina.

Para la implementación del sistema electroneumático se pondrá especial atención en colocar los sensores fotoeléctricos a las alturas especificadas para asegurar la salida y retorno de los cilindros en los tiempos establecidos.

Para realizar la simulación en COSMOS MOTION se tiene que tomar en cuenta que el proceso a simular no debe constar de muchos elementos, verificar mediante el paquete los grados de libertad existentes en toda la simulación y de muchas restricciones redundantes porque puede crear conflictos y detener la simulación.

Como recomendación al ejecutar un proyecto se produce un incremento (positivo o negativo) en la riqueza. El VAN calcula el aumento en la riqueza en el momento actual que resulta equivalente a ejecutar el proyecto y, por lo tanto, cuanto más alto es el VAN del proyecto, mejor. La TIR mide la tasa de crecimiento (positivo o negativo) del capital por período, por lo que, si se trata de una inversión, cuanto más grande mejor, y si se trata de un crédito ocurre lo contrario.

## BIBLIOGRAFÍA

- \* LANZA Francisco, TRATADO DE CARTUCHERÍA, Editorial Merino AG, Tercera Edición, Madrid 1978.
- \* SHIGLEY Joseph, DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA, Editorial McGraw-Hill, Quinta Edición, México 1990.
- \* SANDOR George, DISEÑO DE MECANISMOS, Editorial McGraw-Hill, Tercera Edición, 1998.
- \* NORTON Robert, DISEÑO DE MÁQUINAS, Editorial Prentice Hall, México 1999.
- \* SMITH Willam, FUNDAMENTOS DE LA CIENCIA E INGENIERIA DE LOS MATERIALES, Editorial McGraw-Hill, Tercera Edición, 1998.
- \* LARBURU Nicolás, MÁQUINAS PRONTUARIO, Editorial Paraninfo, Décima Edición, Madrid 1998
- \* SAPAG Nassir, EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN EN LA EMPRESA, Editorial Prentice Hall, Primera Edición, Buenos Aires 2001.

## ANEXOS