

2010

Universidad de San
Buenaventura



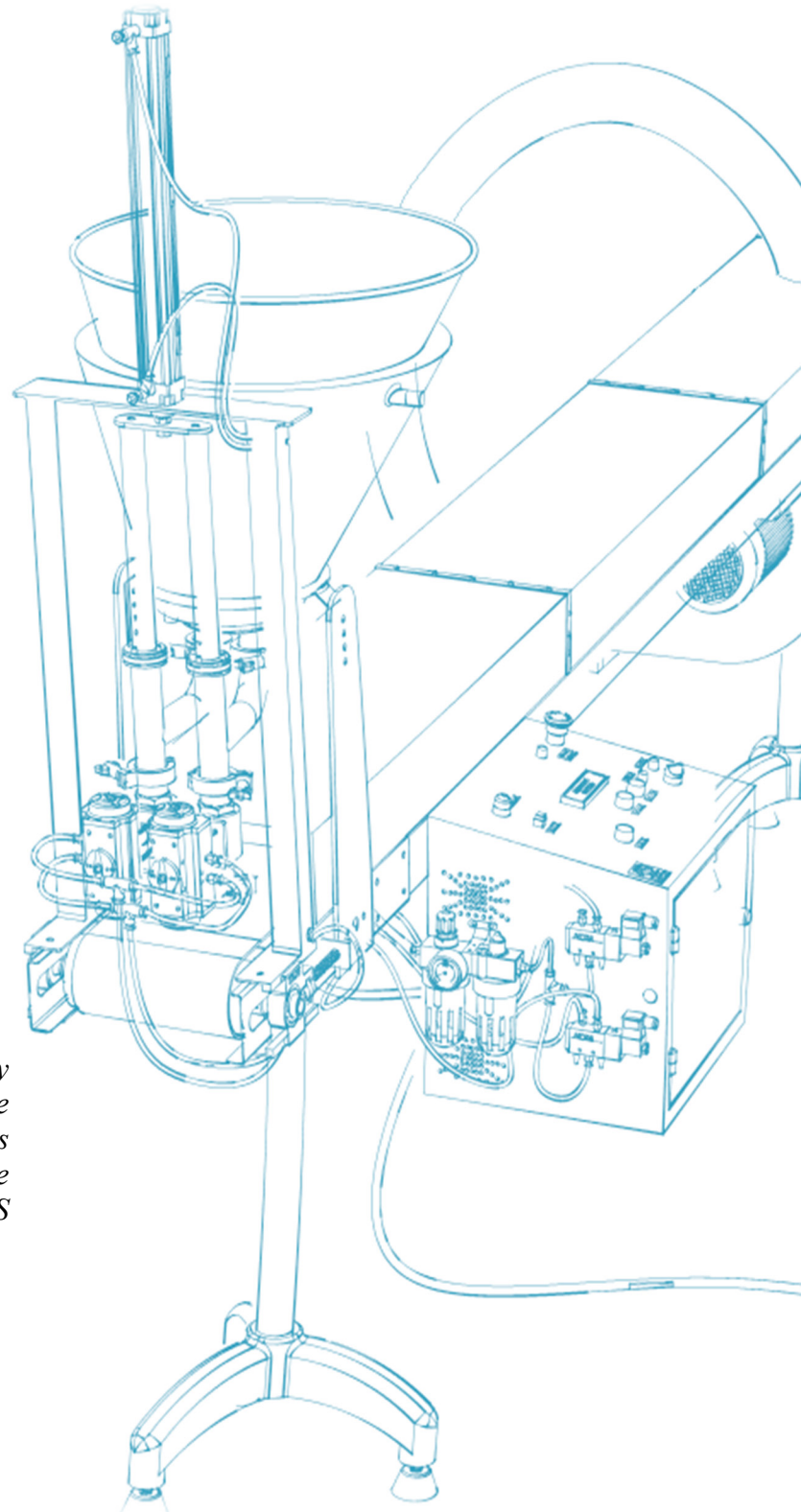
SPC-35

Automatización de un Sistema Dosificador de Cocadas

INGENIERÍA MECATRÓNICA

El proyecto consiste en la automatización y construcción de un sistema dosificador de cocadas cumpliendo con todos los requerimientos de producción e higiene solicitados por la empresa PRODUCTOS RIMAR LTDA.

CESAR LEONARDO BEJARANO
ELADIO ANTONIO DEL CASTILLO



AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DOSIFICADOR DE COCADAS

ELADIO ANTONIO DEL CASTILLO CAMACHO

CESAR LEONARDO BEJARANO GONZALEZ

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA MECATRÓNICA

BOGOTÁ

2010

AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DOSIFICADOR DE COCADAS

ELADIO ANTONIO DEL CASTILLO CAMACHO

CESAR LEONARDO BEJARANO GONZALEZ

**Trabajo de grado como requisito para optar al título de
Ingeniero mecatrónico**

INGENIERO ALCY BLANCO

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA MECATRÓNICA

BOGOTÁ

2010

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, ____de _____ de 2010.

Agradecimientos

Primordialmente agradecer a Dios y a nuestras familias ya que con su apoyo incondicional el desarrollo de este proyecto ha sido posible.

Además, extender un sincero agradecimiento a la facultad de ingeniería mecatrónica por todos los fundamentos teóricos y prácticos que fueron implementados a lo largo de la carrera y en especial en este trabajo.

Al Ingeniero Pedro Nel Martínez y el Ingeniero Alcy Blanco por todas sus asesorías y sugerencias técnicas que fueron de gran importancia en la elaboración de este proyecto de grado.

A la empresa MAPROAL E.U., a su gerente Manuel Camacho por brindarnos espacio y soporte técnico, que además de ser vital para la construcción del proyecto dejó grandes enseñanzas acerca de los procedimientos técnicos.

Finalmente a todas aquellas personas que colaboraron en la elaboración, revisión y culminación del trabajo de grado.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1 ANTECEDENTES	10
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	10
1.3 JUSTIFICACIÓN	11
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.4.1 Objetivo general	11
1.4.2 Objetivos específicos	11
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO	12
1.5.1 Alcances	12
1.5.2 Limitaciones	12
2. MARCO DE REFERENCIA	13
2.1 MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL	13
3. METODOLOGÍA	19
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	19
3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB / SUB-LÍNEA DE FACULTAD/ CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA	19
3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	20

4.	DESARROLLO INGENIERIL	21
4.1	CONDICIONES INICIALES	21
4.2	PARÁMETROS	23
4.2.1	Parámetros de diseño	23
4.2.2	Parámetros de producción	24
4.3	DISEÑO MECÁNICO DEL DOSIFICADOR	32
4.3.1	Análisis de la tolva	32
4.3.2	Análisis estático de mecánica de fluidos	34
4.3.3	Análisis dinámico de mecánica de fluidos	37
4.3.4	Dosificador	41
4.3.5	Selección del cilindro – pistón de empuje	43
4.3.6	Selección del actuador de apertura de válvula de bola	46
4.3.7	Selección de accesorios neumáticos	48
4.4	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	50
4.4.1	Análisis térmico del producto	50
4.4.2	Selección del ventilador de enfriamiento	54
4.5	AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO	65
4.5.1	Funcionamiento general del sistema	65
4.5.2	Grafcet de proceso funcional y tecnológico	68
4.5.3	Estados GEMMA aplicados	70
4.5.4	Conclusiones del proceso automático	71
4.5.5	Diseño del tablero de control	72
4.6	DISEÑO ELECTRÓNICO	74
4.6.1	Programa de control	74
4.6.2	Acondicionamiento electrónico	86
4.6.3	Simulación, esquemáticos y PCB	99
4.6.4	Conexiones eléctricas	106
4.7	COSTOS DE INVERSIÓN	110

5.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	114
6.	CONCLUSIONES	116
7.	RECOMENDACIONES	118
	BIBLIOGRAFÍA	119
	ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

El hombre ha intentado tecnificar los procesos de producción de alimentos para lograr facilitar su consumo con la seguridad de que estos han pasado por un proceso de elaboración que garantiza altos estándares de calidad. Muchos dulces y postres son producidos en masa a nivel mundial a través de procesos automatizados y controlados logrando incursionar en el mercado internacional.

La cocada es un dulce conocido a nivel nacional además de países como Perú y México, entre otros, y cada país guarda su tradición y su modo de fabricación. En el caso colombiano estos dulces son de origen costeño debido a que el coco es una fruta de la región. En la empresa “*La Ubaté LTDA*” hacen la cocada crespita que es hecha con panela y coco, y la blanca que lleva leche, azúcar blanca y coco. Las dos se hacen con la base del arequipe.

Dar a conocer la cocada colombiana a nivel mundial es la visión de la empresa PRODUCTOS RIMAR LTDA, que tiene gran experiencia en la distribución de este tipo de alimentos y que ahora quiere incursionar en nuevos campos, pero necesita lograr producir este dulce en serie por medio de un sistema automatizado y controlado, asegurando los estándares de calidad necesarios para su exportación.

Este proyecto pretende aplicar los conocimientos de la ingeniería mecatrónica para dar solución a las exigencias de un cliente ofreciendo un sistema óptimo, seguro y económico.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

Existen múltiples fábricas en el ámbito mundial como “Distribuidora Rioplatense S.L.” en España o la empresa “Comercializadora México Dulce S.A.” en México entre otras, que producen cocadas para exportación pero debido a que la elaboración de las cocadas sigue un proceso artesanal y su receta continúa siendo un secreto bien guardado por los fabricantes, no es lo mismo probar una cocada elaborada en el Perú, en México o en España.

Si se desea elaborar las cocadas manteniendo los procesos tradicionales con base en el arequipe, nada impide la incursión en el mercado internacional y en la implementación de un proceso de producción novedoso, que muy pocas empresas en Colombia han implementado.

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La empresa PRODUCTOS RIMAR LTDA necesita un sistema automático de producción de cocadas que sea capaz de producir a razón de 30 a 35 unidades por minuto debido a que el estándar de producción que se maneja actualmente en la planta no cubre la demanda requerida y solicito dicha producción además de solicitar que cada una de estas debe pesar no más de 25 gr y tener una forma circular de 5 cm de diámetro aproximadamente.

El diseño debe contar con un tablero de control con botones y pilotos para garantizar las paradas y puestas en marcha de la máquina además de una pantalla para visualizar las variables más relevantes del sistema, como las temperaturas en puntos específicos y las unidades que se han producido. También dicho sistema debe contar con un proceso de enfriamiento del producto de modo que sea posible manipularlo sin problemas para asegurar una producción con la menor cantidad de paradas posible y que se acomode al presupuesto estipulado para el proyecto.

¿Es posible automatizar un proceso para asegurar una producción continua de 30 a 35 cocadas por minuto asegurando todos los estándares de higiene y calidad que exige PRODUCTOS RIMAR LTDA?

1.3 JUSTIFICACIÓN.

El sistema de producción de cocadas actual se realiza manualmente en la empresa PRODUCTOS RIMAR LTDA, este método de fabricación presenta inconvenientes en el peso, la dosificación y la contaminación durante la manipulación del producto. Por otra parte el sistema de enfriamiento hace que su rendimiento sea muy limitado para los estándares de producción y es aquí donde cobra mayor importancia el diseño de dosificadores automáticos.

La automatización de un proceso de producción de cocadas permite a las empresas de dulces que han optimizado sus sistemas de mercadeo, mayores niveles de producción, más económicos y con tiempos de elaboración mucho más reducidos, lo que representa un aporte novedoso a la ingeniería mecatrónica.

Sin duda esta nueva generación de dosificadores automáticos para alimentos, hacen más digna la labor de los operadores de maquinaria industrial, ya que no se requiere hacer mayores esfuerzos para tripular este tipo de máquinas y así es posible incentivar la inclusión de mano de obra calificada.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general.

Automatizar y construir un sistema de dosificación y enfriamiento para cocadas a base de arequipe y coco.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar y/o seleccionar un sistema de dosificación automático para la melcocha de arequipe y coco con un rendimiento de 30 a 35 porciones/minuto, de 20 a 25 gr cada una.

- Diseñar y seleccionar un sistema de enfriamiento continuo.
- Elaborar el *Layout* de la línea del proceso a controlar.
- Construir un prototipo a escala que muestre el correcto funcionamiento del sistema.
- Diseñar y construir un tablero de control implementando un microcontrolador o un PLC.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

1.5.1 Alcances. Para el proyecto se hará el diseño y construcción de un sistema automático de dosificación de cocadas. La fabricación del equipo a comercializar se llevará a cabo en conjunto con la empresa MAPROAL E.U. quien asumirá la garantía y costos del equipo.

Es importante aclarar que el proyecto consiste específicamente en el diseño y automatización del sistema de dosificado así como el proceso de enfriamiento y otros diseños complementarios que se consideren necesarios para obtener el producto en condiciones higiénicamente manipulables.

1.5.2 Limitaciones. El presupuesto para el proyecto corre por cuenta de la negociación entre las empresas MAPROAL E.U. (proveedor) y PRODUCTOS RIMAR LTDA (acreedor). El proyecto debe ajustarse a dicho presupuesto y a las herramientas e insumos proporcionados por la empresa proveedora MAPROAL E.U. por lo cual el proceso de diseño y selección de dispositivos debe disponerse a las condiciones exigidas.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

La melcocha de arequipe y coco debe mantenerse a determinada temperatura antes de ser dosificada y luego en la banda debe ser enfriada así que estos procesos poseen tiempos determinados que requieren ser controlados y calculados, este proceso de diseño es de gran importancia en el proyecto.

El análisis que se debe hacer consiste en conocer a que temperatura deben salir las cocadas, del proceso que hace la máquina, si son dosificadas a una alta temperatura, además para ser removidas deben estar a una temperatura mínima en la que se encuentren secas. Para determinar estas variables, es posible hacer diferentes tipos de análisis y llegar a conclusiones iguales, pero el más confiable es el que sugiere Frank Incropera, en su libro: Fundamentos de transferencia de calor, donde se hace un análisis de intercambio de calor entre dos medios (el refrigerante y el refrigerado), y de esta forma se involucran todas las variables físico-químicas de el proceso.

Análisis térmico de un intercambiador de calor. El objetivo de un análisis térmico de un intercambiador de calor es el de ser capaces de expresar la cantidad total de calor transferido q , del fluido caliente al fluido frío, en términos del coeficiente global de transferencia de calor, el área de transferencia de calor A y las temperaturas de entrada y salida de los fluidos caliente y frío.

Un balance de energía da como resultado:

[Energía perdida por el flujo caliente]= [Energía ganada por el flujo frío]

Donde:

$$q = \dot{m}_c * C_c * (T_{c_i} - T_{c_o}) = \dot{m}_a * C_a * (T_{a_o} - T_{a_i})$$

$\dot{m}_c$ = Flujo másico del refrigerado [Kg / seg]

C_c = Calor específico a presión constante del refrigerado [J / Kg* °K]

T_{c_i} = Temperatura de entrada de las cocadas del refrigerado [°K]

T_{c_o} = Temperatura de salida de las cocadas del refrigerado [°K]

$\dot{m}_a$ = Flujo másico del refrigerante [Kg / seg]

C_a = Calor específico a presión constante del refrigerante [J / Kg* °K]

T_{a_i} = Temperatura de entrada de las cocadas del refrigerante [°K]

T_{a_o} = Temperatura de salida de las cocadas del refrigerante [°K]

q = Transferencia de calor [watt]

El producto $(m \cdot c)$ aparece con frecuencia en el análisis de intercambiadores de calor y es denominado: Capacidad calorífica C . $C = (m \cdot c)$

Existen dos metodologías de análisis térmico de intercambiadores de Calor.

1. Método F-LMTD
2. Método ϵ - NTU

A continuación se presenta el análisis F-LMTD

Diferencia De Temperatura Media Logarítmica.

$$LMDT = \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_1)}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

Los intercambios de calor, dependiendo del sentido del flujo, se clasifican en Flujo paralelo y Flujo contracorriente, en donde varían los resultados de la ecuación anterior dependiendo el caso.

Coeficiente Global de Transferencia de Calor. A diferencia de los procesos estudiados anteriormente, la temperatura superficial o los flujos de calor no son especificados para los intercambiadores de calor. Esta complicación es resuelta mediante la utilización del Coeficiente Global de Transferencia de Calor, que se debe calcular con base a parámetros de materiales y montaje. Este coeficiente es definido en términos de la resistencia térmica total de la transferencia de calor entre dos fluidos o sólidos.

$$U = h + h_f \left[\frac{w}{m^2 \cdot K} \right]$$

Y a su vez el coeficiente global de transferencia de calor se ve involucrado en la ecuación:

$$q = U * A_T * \Delta T_m$$

Que es la ecuación general para un proceso de intercambio térmico.

Donde:

q = Transferencia de calor entre el aire y las cocadas [watt]

A_T = Área de transferencia de calor [m²]

U = Coeficiente global de transferencia de calor [watt / m² °K]

ΔT_m = Cambio de temperatura media [°K]

La variable **h** es el coeficiente de convección térmica, entre fluido y solido o fluido y fluido. Por otro lado **h_f** es el factor de “encrustamiento”, que muchos autores sugieren como corrección teórica teniendo en cuenta el desgaste de las superficies de intercambio de calor a futuro.

El coeficiente de convección térmica es una variable muy complicada de calcular con exactitud, pero la siguiente ecuación es la sugerida por Frank Incropera.

$$h = \overline{Nu_L} \cdot \frac{k}{L}$$

Donde:

k = Conductividad térmica del aire [$W/m \cdot ^\circ K$]

$\overline{N_{u_L}}$ = Numero de Nusselt local

h = Coeficiente de convección [$W/m^2 \cdot ^\circ K$]

L = Longitud de la ruta de flujo [m]

Hay varias formas de determinar el número de Nusselt, una de ellas es la **experimental**, la cual da lugar a correlaciones empíricas y otra mediante el **modelaje matemático** que implica la resolución de las ecuaciones diferenciales que gobiernan el fenómeno fluido-dinámico y el fenómeno térmico.

El proceso experimental es costoso, pero a la vez es sencillo porque no requiere conocer a fondo las ecuaciones que rigen el proceso. En cambio la técnica de simulación numérica es relativamente económica, ya que cambiar una condición del proceso, por ejemplo una temperatura, implica solamente teclear un dato en la computadora.

Obviamente el resultado teórico será confiable en la medida que el modelo matemático reproduzca al proceso real.

Sin duda el procedimiento más sencillo y más recomendado si se va a llevar a cabo un proceso de diseño es la especulación mediante ecuaciones que varios han planteado para diferentes casos.

Correlaciones de Convección Forzada. El propósito de esta sección es presentar una colección de las relaciones más usadas para la determinación del Número de Nusselt por convección forzada. Algunas de estas relaciones tienen bases teóricas y otras son completamente experimentales. En ciertas circunstancias, más de una ecuación será presentada, en donde se señalará la más recomendable. Las correlaciones para convección forzada presentan la siguiente relación funcional:

$$Nu = f(Re, Pr)$$

Donde:

Nu : Número de Nusselt

Re : Número de Reynolds, UL / ν

Pr : Número de Prandtl, $Pr = \nu / a$

El número de Reynolds ya es familiar así que dedicaremos las próximas líneas a comentar el significado del número de Prandtl, Pr

Interpretación del número de Prandtl. El número de Prandtl, es un número a-dimensional que involucra a la viscosidad cinemática del fluido con su difusividad térmica. A continuación se presentan valores característicos del número de Prandtl para diversos fluidos:

Fluido	Pr
Metales líquidos	
Sodio	0,011
Mercurio	0,0196
Bismuto	0,0142
Gases	
Aire	0,70
Dióxido de carbono	0,75
Monóxido de carbono	0,73
Helio	0,68
Hidrogeno	0,70
Agua	4,6
Fluidos viscosos	
Aceite de motor	3400
Glicerina	3060

Numero de Nusselt. Como se menciona anteriormente, el número de nusselt (local o promedio), se puede calcular de múltiples formas, pero teóricamente se puede obtener mediante las siguientes ecuaciones dependiendo del caso.

Flujo laminar:

$$N_{u_x} = 0.332 * R_e^{1/2} * Pr^{1/3} \quad \left| \begin{array}{l} 0.6 < Pr \leq 60 \\ R_e < 5 * 10^5 \end{array} \right.$$

$$\overline{N_{u_L}} = 0.667 * R_{e_L}^{1/2} * Pr^{1/3} \quad \left| \begin{array}{l} 0.6 < Pr \leq 60 \\ R_e < 5 * 10^5 \end{array} \right.$$

Flujo promedio mixto-turbulento:

$$\overline{N_{u_L}} = [0.037 * R_{e_L}^{0.8} - 872] * Pr^{1/3} \quad \left| \begin{array}{l} 0.6 < Pr \leq 60 \\ R_e \geq 5 * 10^5 \\ 5 * 10^5 > R_{e_L} > 10^7 \end{array} \right.$$

Flujo local turbulento:

$$N_{u_x} = 0.0296 * R_{e_x}^{0.8} * Pr^{1/3} \quad \left| \begin{array}{l} 0.6 < Pr \leq 60 \\ R_{e_x} > 5 * 10^5 \end{array} \right.$$

El número de Reynolds es calculado con base al análisis respectivo de mecánica de fluidos, al igual que otras variables de flujo.

3. METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de los objetivos del proyecto es necesario realizar cálculos y aplicar modelos matemáticos referentes al tema, que serán retroalimentados por medio de experimentación para llegar así al diseño más óptimo. De acuerdo con lo anterior y a las políticas establecidas por la universidad el enfoque de la investigación es **Empírico-analítico**.

3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB / SUB-LÍNEA DE FACULTAD/ CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA

De acuerdo a lo establecido por el programa de ingeniería mecatrónica, su propósito es “Formar ingenieros que respondan a las necesidades del entorno, capaces de realizar procesos de la investigación, diseño, desarrollo y aplicación de sistemas mecatrónicos en la industria... a través de la aplicación de los conocimientos adquiridos en las áreas de mecánica, electrónica, teoría del control, automatización y de la computación flexible”¹. De acuerdo a la implementación de los conocimientos de ingeniería aplicados en este proyecto el campo temático al que pertenece es la **Automatización de procesos**.

Debido a que se implementaron procesos de manejo electrónico de los datos, diseño mecánico y diseños de automatización para lograr un sistema eficiente la sub-línea de la facultad a la que se suscribe el proyecto es a la **Instrumentación y control de procesos**.

En relación con el Proyecto Educativo Bonaventuriano (PEB) “En la actualidad, la comunidad académica reconoce que la investigación es una función sustantiva, junto con la proyección social y el bienestar institucional. La intención es que el pensar y el actuar de la comunidad académica se asocie con la investigación formativa y básica y que su labor esté regulada por los procesos sociales

¹ UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA. Programa de ingeniería mecatrónica. Propósito General del Programa de Ingeniería Mecatrónica, [En línea]. Bogotá sf. [citado en 12 de junio de 2009]. Disponible en: versión HTML. http://www.usbbog.edu.co/index.php?option=com_content&task=view&id=233&Itemid=229

en el marco del desarrollo científico y tecnológico nacional e internacional”². La línea de investigación de USB o línea institucional es la de **Tecnologías actuales y sociedad**.

3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para la investigación la principal fuente de investigación además de las pruebas experimentales, son los textos y manuales más adecuados para elaborar el correcto diseño teórico. Además se tendrán presentes diferentes fuentes como: revistas especializadas en Ingeniería, seminarios de investigación con participación de docentes y estudiantes, etc.

Fuentes Primarias

- Textos de ingeniería basados en la teoría del análisis de transferencia de calor, diseño de ventiladores industriales y mecánica de fluidos, entre otros.
- Internet como fuente de catálogos de fabricantes, fotos y comentarios de proyectos similares.
- Mediciones con instrumentos (metro, multímetro, cronometro, termómetro, dinamómetro, etc.)
- Modelado y/o simulación con software (*Solid Edge, Proteus, Fluidsim*, etc.)
- Experiencia

Fuentes Secundarias

- Proyectos de grado de ingeniería mecatrónica en la sub-línea de investigación de automatización.
- Revistas de ingeniería.

²Ibid., [En línea]. Bogotá, sf. [citado 12 de junio de 2009]. Disponible en: versión HTML.
http://www.usbbog.edu.co/index.php?option=com_content&task=view&id=233&Itemid=229.

4. DESARROLLO INGENIERIL

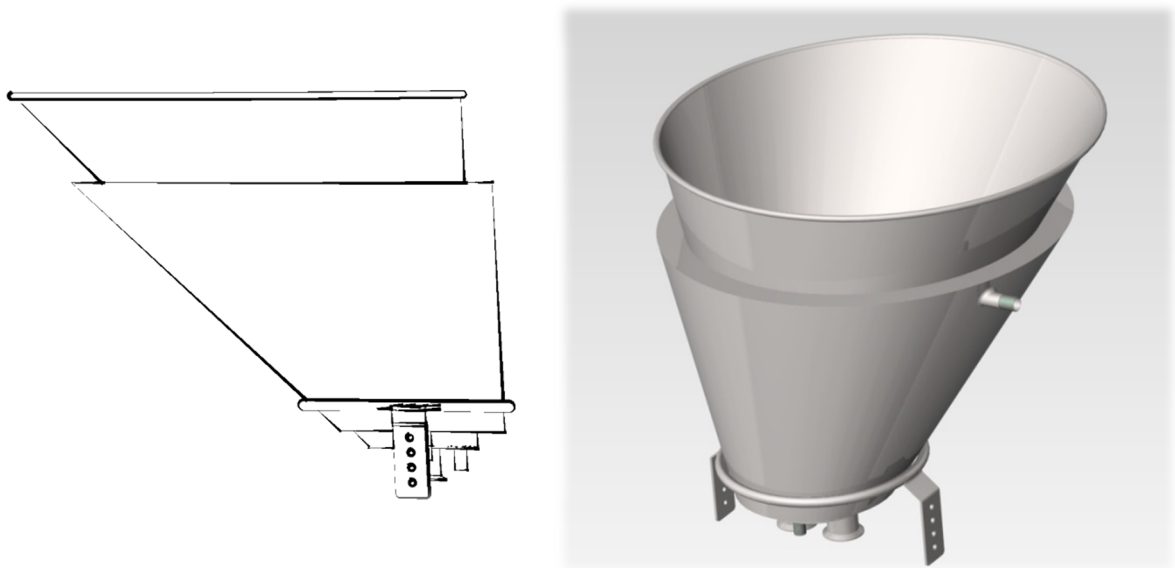
4.1 CONDICIONES INICIALES

Para el inicio del proyecto el cliente Productos RIMAR LTDA, facilitó algunos materiales y dispositivos con que el ya contaba, así que, con el ánimo de reducir costos, solicitó sean utilizados para la construcción. Estos insumos proporcionados dan las primeras condiciones para el desarrollo ingenieril.

A continuación se da una descripción de los materiales proporcionados:

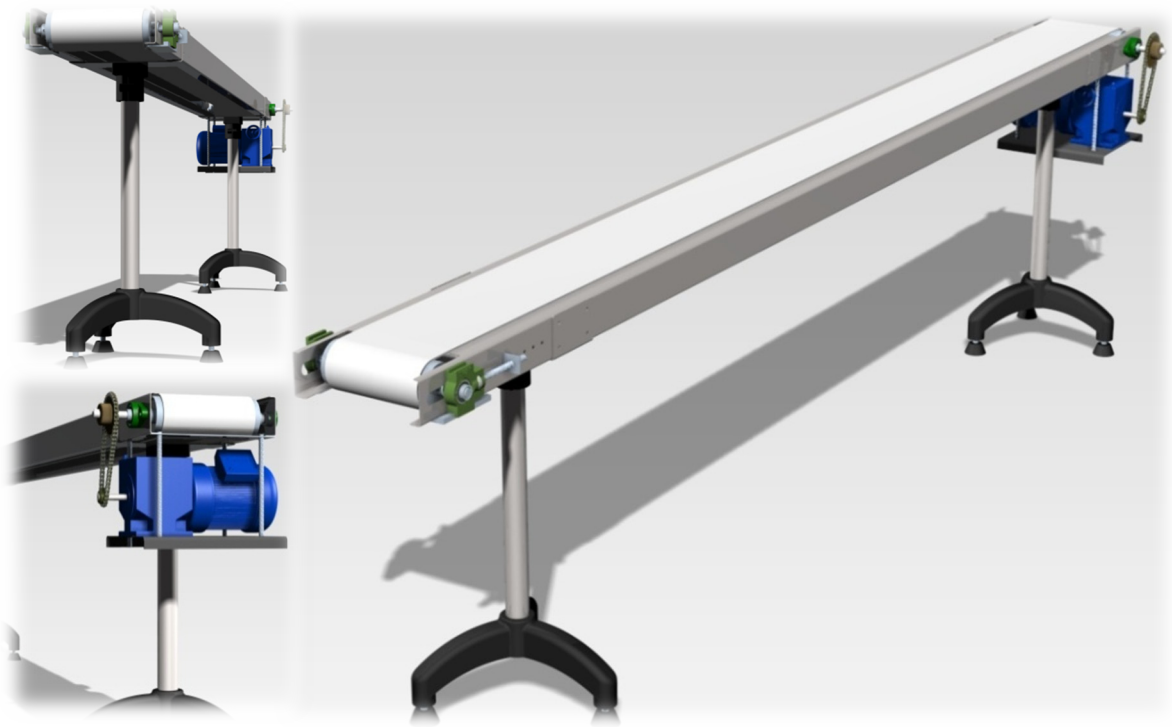
- Una tolva inclinada de doble camisa fabricada en acero inoxidable sanitario AISI 304 calibre 16. Ver planos anexo A.

Figura 1. Tolva inclinada



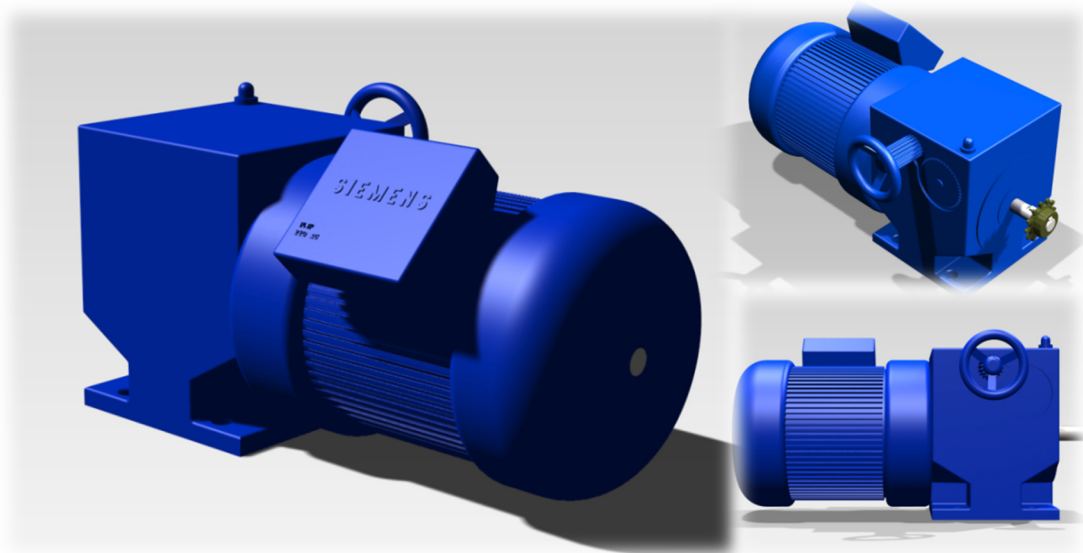
- Una banda transportadora con estructura fabricada en acero inoxidable AISI 304 calibre 16, con dos puntos de apoyo trípodes fabricados en poliamida y acero inoxidable estructural, además patas niveladoras y soportes para el motor.

Figura 2. Banda Transportadora



- Un motor trifásico (220VAC) con potencia de $\frac{1}{4}$ HP para movimiento de banda, caja de reducción y variador mecánico de velocidad entre 8 y 90 RPM marca Siemens (para ver cálculos ver capítulo 4.2.2).

Figura 3. Motor para la banda

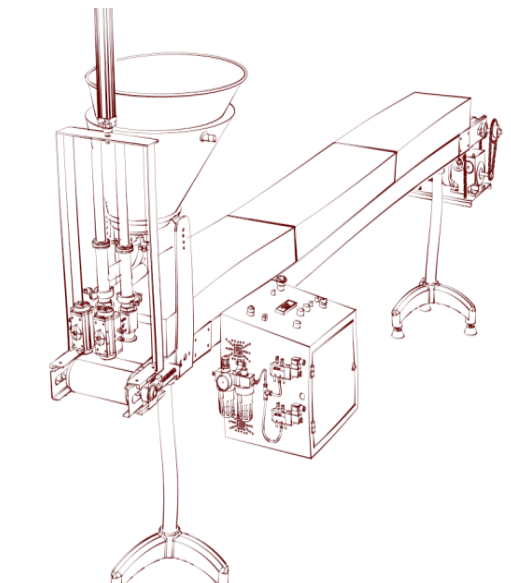


4.2 PARÁMETROS

4.2.1 Parámetros de diseño. Para iniciar el diseño es preciso conocer las características físico-químicas de la materia prima (mezcla de arequipe y coco), que se va a someter al dosificado, las cuales fueron proporcionadas por el empresario acreedor de la máquina (ver cuadro 1).

Además de esto se debe iniciar modelando un bosquejo aproximado de la apariencia que se desea de la máquina, según las exigencias y los parámetros que el empresario solicitó (dimensiones, forma de alimentación, funcionalidad, etc).

Figura 4. Boceto inicial



Cuadro 1. Características de la mezcla a 76 grados centígrados

Variable	Símbolo	Valor comercial	Valor SI
Temperatura de Figuración	T_f	76 °C	76 °C
Densidad	ρ	$1210 \frac{Kg}{m^3}$	$1210 \frac{Kg}{m^3}$
Viscosidad Dinámica	μ_D	26000 C Poises	$26 \frac{Kg}{m \cdot seg}$
Viscosidad Cinemática	μ_c	-	$21.49 \times 10^{-3} \frac{m^2}{Seg}$
Peso específico	γ	-	$11870.1 \frac{Kg}{m^2 s g^2}$
Concentración	Brix	70 ° Brix	-
Calor específico	C_p	-	$3002 \frac{J}{Kg \cdot ^\circ k}$

Entendidas las características del producto y los dispositivos con los que ya se cuentan, se procede diseñar según se mencionó en la metodología y se muestra a continuación:

- **Diseño mecánico del dosificador:** Se pretende hacer un análisis empírico - analítico acerca de la mecánica del producto y su interacción con los dispositivos que se seleccionaron para formar el dosificador.
- **Diseño y/o selección del sistema de enfriamiento:** Un producto figurado a alta temperatura, requiere un proceso de enfriamiento capaz de bajar su temperatura en un corto periodo de tiempo para poder ser evacuado de una banda transportadora sin inconvenientes. Un análisis térmico del producto permite el diseño de un sistema de enfriamiento con aire.
- **Automatización del proceso:** Basados en la norma GEMMA se diseña el proceso para llevar a cabo una producción óptima además del respectivo tablero de control.
- **Diseño electrónico:** Con un diseño más enfocado al detalle se desarrolla un *hardware* y un *firmware*³, capaces de interactuar con los sensores y actuadores de la máquina para hacer realidad el ciclo de automatización previsto.

4.2.2 Parámetros de producción. Como se mencionó anteriormente el principal objetivo es garantizar una producción continua a una velocidad aproximada entre 30 y 35 unidades por minuto, entonces, si la máquina se diseña para trabajar 8 horas diarias:

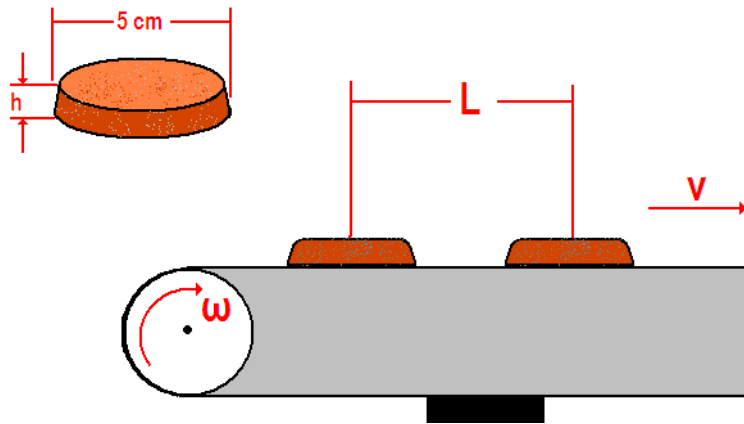
$$V_{Produccion} = 35 \frac{unidades}{minuto} = 0.583 \frac{unidades}{seg} = 2100 \frac{unidades}{hora} = 16800 \frac{unidades}{dia}$$

³ *Firmware, en informática, rutinas de software almacenadas en memoria de sólo lectura (ROM). A diferencia de la memoria de acceso aleatorio (RAM), la memoria de sólo lectura permanece intacta incluso cuando no existe un suministro de energía eléctrica. Las rutinas de inicio de la computadora y las instrucciones de entrada/salida de bajo nivel se almacenan como firmware.*

MICROSOFT CORPORATION. *Firmware*. [software]. Microsoft Encarta2009©. 1993-2008. Reservados todos los derechos.[citado en: 5 noviembre de 2009].

Es necesario saber si el rango de velocidades que ofrece el motor de la banda es adecuado. Si la banda mide 3.5m de largo, se solicitó que las cocadas tuvieran un diámetro de 5cm y es necesario dejar una distancia L entre los centros de las cocadas para evitar unidades defectuosas.

Figura 5. Dimensionado del producto



La distancia L escogida para el diseño es de 10cm, con esto habrá una distancia de 5cm entre los extremos de las cocadas. Esta separación es lo suficientemente cómoda para que los operarios puedan retirar las unidades de la banda sin dañarlas.

Por otro lado, ya que la banda es suficientemente ancha para llevar a cabo un ciclo con 2 dosificadores, es decir producir 2 unidades de forma simultánea dejando un espacio considerable de 5cm (ver figura 6). Con estos datos es posible calcular el tiempo de cada ciclo.

ND = número de unidades simultáneas

t= Tiempo de cada ciclo.

$$ND = t * V_{Produccion}$$

$$2 \text{ unidades} = t * \left(0.583 \frac{\text{unidades}}{\text{seg}} \right)$$

$$t = 3.43 \text{ seg}$$

Es decir, cada ciclo de máquina va a durar 3.43 seg.

La velocidad lineal a la que debe ir la banda para asegurar la producción continua:

$$V_{Banda} = \frac{L}{t} = \frac{\text{Distancia entre cocadas}}{\text{tiempo de producción}} = \frac{0.10m}{3.43 \text{ seg}} = 0.0291 \frac{m}{seg}$$

Midiendo el radio del rodillo de la banda transportadora, este es de 4,5cm. Con este se puede calcular la velocidad angular a la que se debe girar el motor.

$$\omega = \frac{V_{Banda}}{r} = \frac{0.0291}{0.045} = 0.648 \frac{rad}{seg} = 6.19 \text{ RPM}$$

Como se observó en las características del motor la velocidad mínima que ofrece (después de la reducción) es de **8 RPM**, es decir se debe utilizar esta velocidad y re-calcular el tiempo que debe durar cada ciclo.

Entonces:

$$\mathbf{8 \text{ RPM} = 0.837 \frac{rad}{seg}}$$

$$V_{Banda} = \omega * r = 0.837 \frac{rad}{seg} * 0.045 \text{ m} = 0.0377 \frac{m}{seg}$$

Para obtener el verdadero tiempo de cada ciclo:

$$t = \frac{L}{V_{Banda}} = \frac{0.1m}{0.0377 \frac{m}{seg}}$$

$$t = 2.65 \text{ seg}$$

Como se observa, cada ciclo de máquina debe durar 2.65 segundos utilizando el motor de la banda a 8 RPM dejando un espacio entre centros de cocadas de 10cm.

Teniendo la velocidad requerida en el motor de la banda es necesario verificar si la potencia de ¼ HP es suficiente para la aplicación. Para esto es necesario revisar las fuerzas que actúan en sobre el rodillo con el fin de llegar la potencia total.

- **Par Torsor de la banda T_B**

Para hallar el para torsor de la banda es necesario calcular la fuerza de tensión de la banda, para esto se aplica la teoría de la catenaria que se define:

$$d = \frac{3 * L^2 * w}{2F_i}$$

Donde:

d= deformación o altura de la catenaria

L= Distancia entre centros de los rodillos de la banda

w= peso por unidad de longitud

F_i = Fuerza de tensión de la banda

Para obtener las variables requeridas desconocidas:

✓ **“d” deformación o altura de la catenaria:** esta se obtiene realizando la medición física directamente en la banda para una mayor exactitud.

Al realizar la medición con referencia la línea tangente a la parte inferior del rodillo:

$d=10mm = 0.39$ pulgadas.

✓ **“w” peso por unidad de longitud:** Según el material de la banda y el largo de esta:

Largo de la banda transportadora 6 mts, debido a que en la medida se tiene en cuenta el tramo que pasa por debajo del chasis.

Los 6 metros pesan aproximadamente 9 kg, medidos con una báscula en el taller es decir que:

$$\frac{9 \text{ Kg}}{6 \text{ mt}} = 1.5 \frac{\text{Kg}}{\text{mt}}$$

Pero además hay que tener en cuenta que la banda va a llevar sobre ella el peso de las cocadas. Debido a que máximo habrán 60 cocadas sobre la banda (como se explicará en el capítulo 4.4.2) y cada cocada tiene una masa de 25 gramos

$$60 \text{ unidades} * 25 \frac{\text{gramos}}{\text{unidad}} = 1500 \text{ gramos} = 1.5 \text{ Kg}$$

Es decir las 60 cocadas que van sobre la banda pesarán máximo 1.5 kilos. Distribuyendo el peso de las cocadas en los 6 metros de banda:

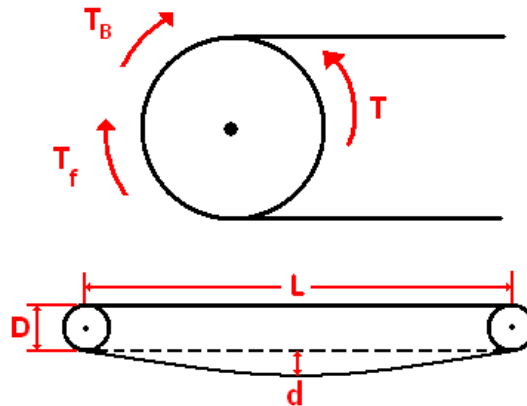
$$\frac{1.5 \text{ Kg}}{6 \text{ mts}} = 0.25 \frac{\text{kg}}{\text{mt}}$$

Es decir que el peso por unidad de longitud total es de:

$$w = 0.25 \frac{\text{kg}}{\text{mt}} + 1.5 \frac{\text{Kg}}{\text{mt}} = 1.75 \frac{\text{Kg}}{\text{mt}} = 1.18 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}}$$

El peso de la banda es $w = 1.18$ libras por pie.

Figura 6. Torques en el rodillo.



Conociendo las variables necesarias es posible despejar la tensión de la banda F_i de la ecuación:

$$d = \frac{3 * L^2 * w}{2F_i}$$

Despejando:

$$F_i = \frac{3 * L^2 * w}{2d}$$

Reemplazando:

$$F_i = \frac{3 * (9.84)^2 * 1.18}{2 * 0.39} = 439 \text{ Lbf} = 1952.8 \text{ N}$$

Fuerza de tensión de la banda

Para bandas planas la tensión de la banda y el par de torsión están relacionados mediante la ecuación:

$$F_i = \frac{T_B}{D} * \frac{e^{(f\theta)} + 1}{e^{(f\theta)} - 1}$$

Donde:

F_i = fuerza de tensión calculada de la banda

T_B = Par de torsión

D = Diámetro del rodillo medido físicamente sobre el rodillo

f = Coeficiente de fricción de la banda dado según el material y el espesor de 0.25 pulgadas es de 0.7⁴.

θ = Ángulo de contacto

Como se observa para hallar el par de torsión solo hace falta conocer el ángulo de contacto θ que esta dado por la ecuación:

$$\theta = \pi - 2 \sin^{-1} \left(\frac{D_1 - D_2}{2C} \right)$$

Donde:

D_1 y D_2 = Diámetros de los rodillos de la banda.

C = distancia entre centros de los rodillos.

Reemplazando:

$$\theta = \pi - 2 \sin^{-1} \left(\frac{9cm - 9cm}{2 * 300cm} \right) = \pi$$

El ángulo de contacto θ es igual a π

Calculando el par de torsión:

$$T_B = \frac{F_i * D}{e^{(f\theta)} + 1} * e^{(f\theta)} - 1$$

Reemplazando:

⁴ SHIGLEY, Joseph E. y MISCHKE, Charles R. Diseño en ingeniería mecánica. México: McGrawHill, 2002. Sexta edición p.1069. Tabla 17-2.

$$T_B = \frac{1952,8 * 0,09}{e^{(\pi * 0,7)} + 1} * e^{(\pi * 0,7)} - 1$$

Fuerza de torsión generada por la tensión de la banda es:

$$T_B = 140.66 Nm$$

• **Torque de fricción en el rodamiento T_f :** se calcula además el torque necesario para vencer la fricción en el rodamiento para determinar si este es considerable o no. Este está dado por la ecuación:

$$T_f = 0.5 * \mu * F_i * d$$

Donde:

F_i = Fuerza de tensión de la banda calculada = 1952,8 N

μ = coeficiente de rozamiento para engranajes rígidos de bolas. = 0.0015

d = Diámetro de la superficie de rodadura del rodamiento utilizado = 0.029 m

Reemplazando, se obtiene el **Torque de fricción en los rodamientos.**

$$T_f = 0.5 * 0.0015 * 1952,8 * 0.029$$

$$T_f = 0.042 Nm$$

Para obtener el torque total en el eje de rotación se hace la sumatoria de troques:

$$\sum T_{eje} = J * \alpha$$

T_{eje} = torque total

J = momento polar de inercia del rodillo

α = aceleración angular

Para obtener el momento polar de inercia de forma más precisa se utiliza el software SOLID EDGE aprovechando el modelado realizado para la pieza teniendo en cuenta que el rodillo está fabricado en acero inoxidable A304.

$$J = I_{xx} + I_{yy} + I_{zz} = 0.02256 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 + 0.0052 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 + 0.02256 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 = 0.05 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Para obtener la aceleración angular:

$$\alpha = \frac{\text{velocidad angular}}{\text{tiempo}} = \frac{\omega}{t}$$

Figura 7. Torques en el rodillo

Como se había calculado la velocidad angular es de:

$$\omega = 0.84 \text{ rad/seg}$$

Como se necesita que la banda alcance esta velocidad de forma instantánea aproximadamente se estima un tiempo de respuesta cercano a cero:

$$t \approx 0.2 \text{ seg}$$

Volviendo a la sumatoria de Torques:

$$T - T_B - T_f = J \frac{\omega}{t}$$

Reemplazando:

$$T = \frac{0.84}{0.2} + 140.66 + 0.042$$

$$T \approx 141 \text{ Nm}$$

- **Torque total en el eje de rotación**

Para hallar la potencia necesaria del motor:

$$P_{eje} = T * \omega_{eje}$$

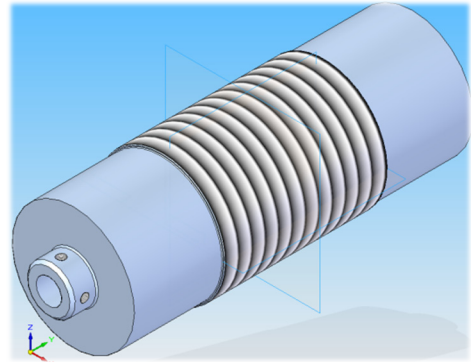
$$P_{eje} = (141 \text{ Nm}) * \left(0.84 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}\right)$$

$$P_{eje} = 118,44 \text{ watt} \approx 0.16 \text{ HP}$$

Para una eficiencia en la transmisión del 90%

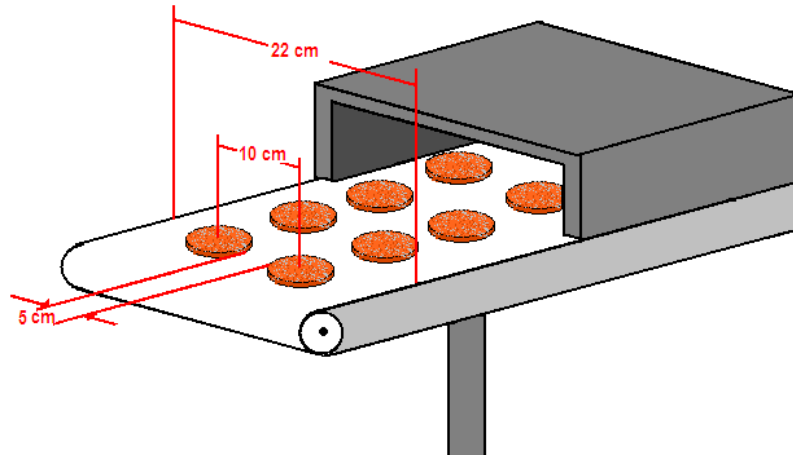
$$P_{motor} = \frac{118,44 \text{ watt}}{0.9} = 131.6 \text{ Watt} \approx 0.17 \text{ HP} \text{ **potencia necesaria en el motor**}$$

Como se especificó en el capítulo 4.1 el motor proporcionado entrega una potencia de 0.25 HP es decir que si cumple con las características adecuadas para la aplicación.



Por otro lado, debido a que el acreedor de la máquina solicitó que las cocadas tengan un diámetro de 5 cm y un peso de 25 gr (0.025 kg) aproximadamente, es necesario calcular el volumen de cada cocada para poder conocer la cantidad de materia prima que se requiere para la producción:

Figura 8. Producción de unidades



$$V_{cocada} = \frac{\text{masa}}{\text{densidad}} = \frac{0.025 \text{ kg}}{1210 \text{ Kg/m}^3} = 2.06 \times 10^{-5} \text{ m}^3 = 20.6 \text{ cm}^3$$

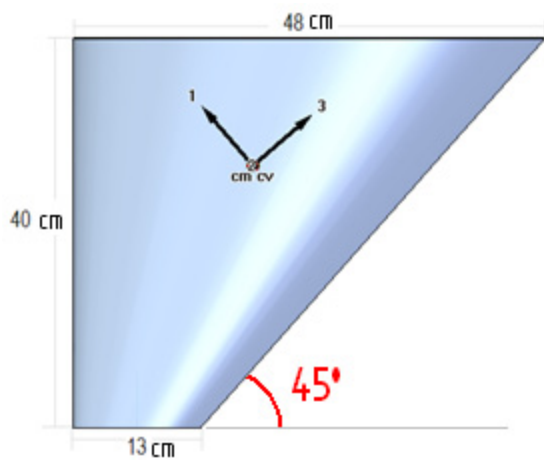
Si se considera que cada cocada tiene un volumen de 20.6 cm^3 y se producen 16800 unidades en un día de trabajo:

$$V_{produccion} = 2.06 \times 10^{-5} \text{ m}^3 * 16800 \frac{\text{unidades}}{\text{dia}} = 0.347 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

4.3 DISEÑO MECÁNICO DEL DOSIFICADOR

4.3.1 Análisis de la tolva. Para el sistema se cuenta con una tolva inclinada cuya capacidad máxima es de 40 Kg, para fluidos con una densidad de 1210 Kg/m^3 y tiene las dimensiones que aparecen en la figura 5 en centímetros y en los planos del anexo A.

Figura 9. Dimensiones de la tolva.



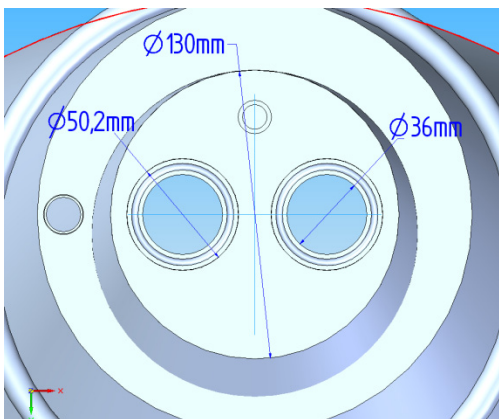
Características de la tolva:

$$V_{\text{Tolva}} = \frac{\pi}{3} * h * (R_1^2 + R_1 R_2 + R_2^2)$$

$$V_{\text{tolva}} \approx 0.0330578 \text{ m}^3 = 33.05 \text{ Lt}$$

Debido a que no se debe llenar hasta el borde se dejan 5 cm de seguridad, es decir se llena hasta una altura de 35 cm.

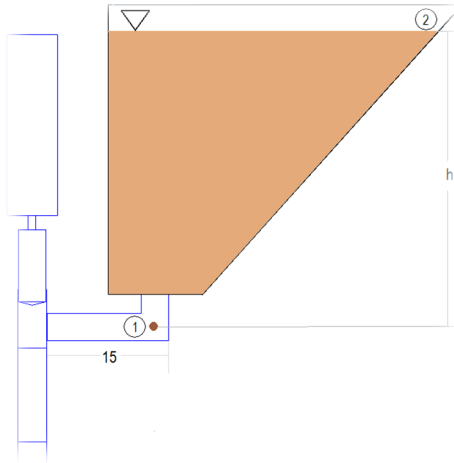
Figura 10. Vista inferior de la tolva.



Debido a que en la parte inferior de la tolva cuenta con un diámetro de 13 cm y se requieren dos salidas con el mayor diámetro posible además es necesario incluir abrazaderas tipo *clamp* que permitan el fácil despiece. Por esta razón el tamaño comercial más apropiado de la tubería a utilizar es de 1½" (36mm interno) ya que una tubería comercial de mayor diámetro no daría cabida a dos dosificadores simultáneos como se calculó en el capítulo 4.2.2.

4.3.2 Análisis estático de mecánica de fluidos.

Figura 11. Análisis de fluidos.



Para conocer el comportamiento del fluido a través de la tubería de salida de la tolva se realiza el análisis de *Bernoulli* encontrando así la velocidad de la mezcla y sus pérdidas.

$$\Sigma \text{presiones} = Cte$$

$$\cancel{P_1} + \frac{1}{2} \rho V_1^2 + \cancel{\gamma z_1} = \cancel{P_2} + \frac{1}{2} \rho V_2^2 + \gamma z_2$$

$$\frac{1}{2} \rho V_1^2 = \gamma z_2$$

$$\text{Donde: } z_2 = h \approx 35 \text{ cm}$$

$$\gamma = (1210 \text{ Kg/m}^3 * 9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$\gamma = 11870.1 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2 \text{s}^2}$$

Despejando la velocidad a la que el fluido saldría de la tolva en condiciones ideales:

$$V_1 = \sqrt{\frac{\gamma z_2}{\frac{\rho}{2}}} = \sqrt{\frac{2 * 11870.1 * 0.4}{1210}} = 2.801$$

$V_1 = 2.801 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$; Velocidad a la que llega la mezcla a la tubería.

Se puede ver que la velocidad es bastante alta, pero es necesario calcular las pérdidas para saber si esta es la velocidad real a la que el fluido se desplaza, gracias a su presión hidrostática.

- **Pérdidas en la tubería.** Para calcular las pérdidas primarias se uso la ecuación de Darcy ⁵:

$$\Delta P_{tubería} = \frac{128L\rho Q\mu_c}{\pi D^4} [Pa]$$

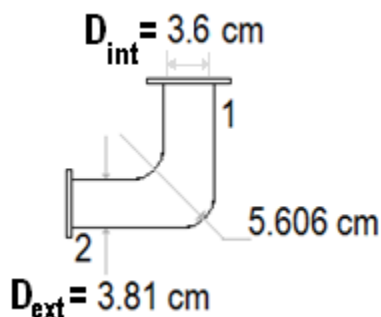
Donde:

L= Longitud del tubo	=	0.15 m
ρ = Densidad de la mezcla	=	1210 Kg/m ³
D= Diámetro interno tubo	=	0.036 m = 3.6 cm
Q= Caudal = V*A= 2.8014*($\pi/4$)(0.036 ²) =		2.85x10 ⁻³ m ³ /sg
μ_d = Viscosidad Dinámica	=	26000 cpoises – 26 kg/m*sg
μ_c = Viscosidad Cinemática	=	21.49x10 ⁻³ m ² /sg

Reemplazando $\Delta P_{tubería} = 269654.71 Pa \approx 2,7 Bar$

- **Pérdidas en el codo:**

Figura 12. Codo 90°



Las pérdidas en el codo están dadas por: $\lambda' P_2 = \lambda' \frac{V^2}{2g} \gamma$

Donde: V= Velocidad del producto

λ' = Coeficiente de pérdidas secundarias accesorios

γ = Peso Específico Mezcla.

⁵ DIVISIÓN DE INGENIERÍA CRANE. Flujo de fluidos. En válvulas accesorios y tuberías. México: Mc Graw Hill, 1987. p. 1-7 a 1-9

Para calcular el coeficiente de pérdidas en accesorios λ' se debe obtener el coeficiente de pérdida de carga λ en un codo.

$$\text{Relación} = \frac{\text{Radio corvatura}}{\text{Diametros}} = \frac{R}{D} = \frac{5.606\text{cm}}{3.81\text{cm}} \approx 1.5$$

Debido a que la relación R/D es aproximadamente 1.5, de acuerdo a las tablas para pérdidas secundarias en accesorios⁶, el coeficiente de pérdida en un codo tipo *clamp* es igual a:

$$\lambda' = 14\lambda$$

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad Re = \frac{DV}{\mu_c}$$

$$Re = \frac{0.036 * 2.62}{21.49 \times 10^{-3}} = 43.83$$

$$\lambda = \frac{64}{43.83} = 1.458$$

$$\lambda' = 14 * 1.458 = 20.41$$

Las pérdidas en el codo son entonces:

$$_1P_2 = 20.41 * \frac{(2.62)^2}{2 * 9.81} * 11870.1 = 84780.3 \text{ [Pa]} \approx 0.85 \text{ Bar}$$

• **Pérdidas totales.** Según el análisis de mecánica de fluidos, en la tubería se pierden la suma de las pérdidas en el tubo con las pérdidas en el codo. En total:

$$269654.71 \text{ Pa} + 84780.3 \text{ Pa} = 354434.99 \text{ Pa} \approx 3.55 \text{ Bar}$$

Al calcular la presión hidrostática del producto a la salida de la tolva, que está dada por:

$$P = \gamma Z_2 \text{ [Pa]}$$

Reemplazando:

⁶ MUNSON, Bruce R., *et al.* Fundamentos de mecánica de fluidos. México: Limusa Wiley, 1999. p. 491. Tabla 8.2.

$$P = 11870.1 * 0.35 = 4154.535 \text{ Pa} \approx \mathbf{0.415 \text{ Bar}}$$

Esta es la presión a la que cae el producto de la tolva a la tubería (presión estática).

Debido a que las pérdidas de presión totales (3.55 Bar) fueron mayores que la presión hidrostática ejercida por la mezcla (0.415 Bar), se concluye que es necesaria una fuerza externa que permita extraer el producto de la tolva contrarrestando las perdidas del sistema, es decir, el fluido no es capaz de desplazarse sin la ayuda de una fuerza externa debido a su alta viscosidad.

4.3.3 Análisis dinámico de mecánica de fluidos. Luego del análisis estático del comportamiento del fluido es necesario diseñar un sistema de dosificado de la mezcla de acuerdo a los datos obtenidos.

- **Alternativa 1. Bomba dosificadora de alimentos:** una opción relativamente costosa, pero eficiente, ya que este tipo de dosificadoras que funcionan bombeando producto tienen velocidades de producción muy altas en comparación con otros tipos de dosificadoras, pero su inconveniente reside en que el producto puede sufrir atascamientos en los mecanismos internos, además de que su limpieza es complicada, y probablemente no se obtenga la forma correcta de las cocadas debido a su velocidad y estructura interna.

Figura 13. Bomba dosificadora de alimentos.



Tiene una gran ventaja con relación a otras dosificadoras, y es que el sistema de accionamiento es bastante sencillo y eso ahorraría bastante tiempo de diseño y dinero.

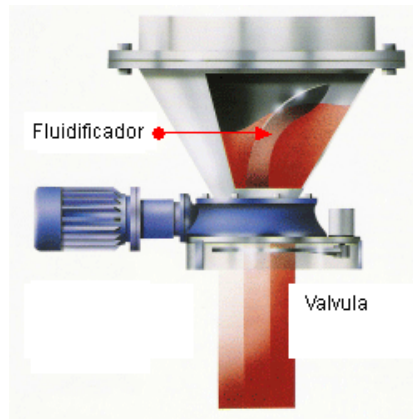
Fuente: Olx.⁷

⁷ OLX. Dosificadoras. [En línea], Cali. sf. [citado en 13 de Abril de 2010]. Disponible en: versión HTML. <http://cali.olx.com.co/bombas-centrifugas-en-acero-inoxidable-para-alimentos-tranferencia-de-leche-en-camiones-iid-40151302>

- **Alternativa 2. Dosificadora vibratoria:** Muy usada para productos sólidos en polvo, pero es posible usarla para otro tipo de fluidos. Presenta una gran ventaja y es que el cuello por donde se dosifica es relativamente ancho según varían los diseños, pero el gran inconveniente es que para fluidos de alta viscosidad y estructura pegajosa como el arequipe, podrían presentarse desequilibrios en el peso y tamaño del producto.

Otra ventaja es que trabaja a altas velocidades y su método de accionamiento no es tan complicado.

Figura 14. Dosificadora vibratoria.



Fuente: Novindustria ⁸

- **Alternativa 3. Dosificadora de pistón.** Una alternativa bastante usada en la industria de los alimentos es el dosificado por medio de pistones neumáticos, ya que su gran ventaja es que garantiza que las unidades queden bastante uniformes debido a que el dosificado depende de la carrera de un pistón. Uno de los inconvenientes es que requiere de un sistema automático con sensores que le permita llevar a cabo un ciclo, además de que las velocidades de producción son poco menores a los de las anteriores alternativas.

Su limpieza puede llegar a ser bastante sencilla si se fabrica con uniones tipo *clamp* o con *bridas*, y es posible dosificar casi cualquier fluido (dependiendo del diseño).

⁸ NOVINDUSTRA. *Sistemas de dosificado*. [En línea], Brasil. sf. [citado en 15 de Abril de 2010]. Disponible en: versión HTML. <http://www.novindustria.com/index.php?id=39&L=3>

Figura 15. Dosificadora de pistón.



Fuente: Citalisa⁹

Para arrancar el análisis, se opta por la alternativa 3, ya que hay más seguridad en cuanto a la forma y cantidades dosificadas en cada ciclo, que son de gran importancia en el proyecto, aun cuando se requiere un sistema electrónico con sensores y finales de carrera.

Como se calculó en el capítulo 4.2.2 la velocidad de producción debe ser de 2.65 segundos, pero es suficiente 1 segundo en el ciclo de bajada y 1 segundo en el ciclo de subida, por consiguiente 0.65 segundos de espera y conmutación de actuadores para sincronizar el ciclo de dosificado con la velocidad de la banda.

De acuerdo a esto el pistón debe recorrer 0.31 metros en 1 segundo dado que el montaje de los accesorios tiene dicha medida (ver figura 16) y el tiempo es el adecuado para lograr la forma correcta de cocadas de 5 cm de diámetro.

⁹ CITALSA. Dosificadora. [En línea], Medellín. sf. [citado en 13 de Abril de 2010]. Disponible en: versión HTML. http://www.citalisa.com/files/products/big/dosificadora_y_decorador_unifiller_cake_-o-matic_09001004.jpg

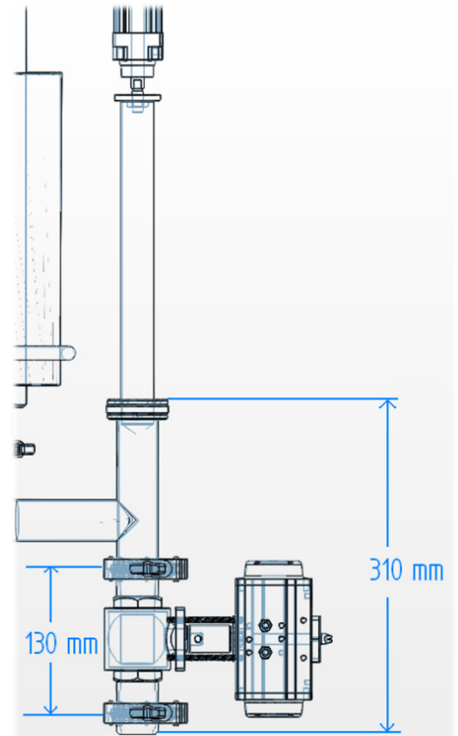
Figura 16. Montaje dosificador.

La velocidad del pistón debe ser:

$$V = \frac{L}{t} = \frac{0.31m}{1 seg} = 0.31 m/seg$$

Esta es también la velocidad a la que se desea que el producto se extraiga de la tolva.

Ya habiendo obtenido la velocidad a la que debe ser succionada la mezcla a través de la tubería, es necesario volver a hacer el análisis de *Bernoulli* y calcular las pérdidas para saber cuál es la verdadera fuerza que debe ejercer el pistón para poder succionar este viscoso fluido.



$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 + \gamma z_1 - P_{1-2}^T = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 + \gamma z_2$$

Por tanto las pérdidas primarias a esta velocidad se calculan mediante la ecuación de *Darcy* como se muestra a continuación.

$$\Delta P_{tuberia} = \frac{128L\rho Q\mu_c}{\pi D^4} [\text{Pa}]$$

Teniendo en cuenta que $L=15,1\text{cm}$ y $D = 3,6\text{cm}$ (longitud y diámetro de la tubería INOX, ver planos de anexo A y G), la caída de presión en la tubería es:

$$\Delta P_{tuberia} = \frac{128*(0.151)*(1210)*\left(0.31*\frac{\pi}{4}*0.036^2\right)*(21.49*10^{-3})}{\pi*(0.036^4)} = 30095.94 Pa \approx 0.3 Bar$$

También es necesario re-calcular las pérdidas secundarias como se hizo en el análisis estático, que como se vio anteriormente, es un codo tipo *clamp* (ver figura 12).

$$Re = \frac{0.036 * 0.31}{21.49 \times 10^{-3}} = 0.5234$$

$$\lambda = \frac{64}{0.5234} = 122.25$$

$$\lambda' = 14 * 122.25 = 1711.56$$

La caída de presión en el codo es:

$${}_1P_2 = 1711.56 * \frac{0.31^2}{2 * 9.81} * 11870.1 = 101121.6 \text{ [Pa]} \approx 1.01 \text{ Bar}$$

Sumando las pérdidas en la tubería y el codo obtenemos:

Pérdidas Totales: 30095.94 Pa + 101121.6 Pa = **131217.54 Pa $\approx$ 1.31 Bar**

Volviendo a la ecuación de *Bernoulli*, se reemplaza para hallar el valor de P_1 , (presión necesaria del pistón)

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 - P_{1-2}^T = \gamma Z_2$$

$$P_1 + \frac{1}{2} * 1210 * 0.3125^2 - 131217.54 = 11870.1 * 0.35$$

Despejando P_1 se obtiene:

$$P_1 = \frac{33828247885037}{250000000} = 135312.99 \text{ Pa}$$

$$P_1 \approx 1.35 \text{ Bares}$$

* La presión de succión que debe ejercer el pistón a el fluido debe ser ≥ 1.35 Bares.

4.3.4 Dosificador. Como se observó en el montaje de la figura 10. Se diseña un montaje adecuado para asegurar la succión de la mezcla con el pistón y evitar derrame de producto. Por lo que se seleccionaron los siguientes dispositivos a usar en el montaje:

Figura 17. Tubería y accesorios INOX.

➤ **Tubería Inoxidable.** El producto pasa de la tolva al dosificador por medio de una tubería compuesta por un codo, una T y terminaciones tipo *clamp* para facilitar el despiece y la limpieza. La tubería usada es de 1 ½" de diámetro como se mencionó en la sección 4.3.2, y está fabricada en acero inoxidable AISI 304 para alimentos.

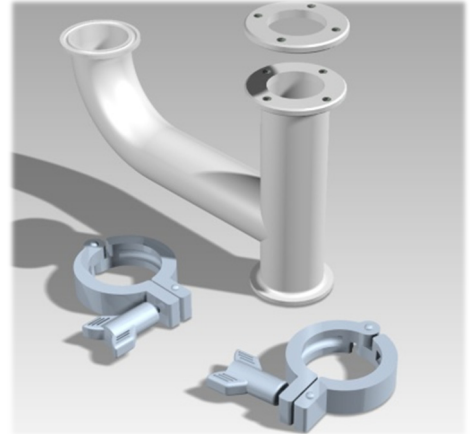


Figura 18. Émbolos y boquillas

➤ **Émbolo plástico y Boquilla.** El cilindro pistón que realiza el trabajo de succión y descarga, lleva sujetado en su vástago dos émbolos en material *empack*. Este plástico sanitario es quien tiene el contacto directo con la mezcla, pasa a través de la tubería y la válvula de bola, hasta impactar con una boquilla del mismo material y evacua el producto hacia la banda. Por esta razón este émbolo debe tener la misma longitud del montaje del dosificador.

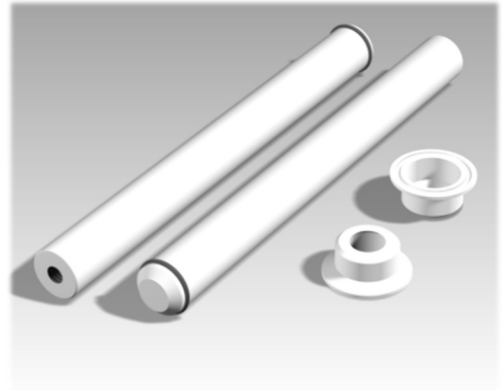
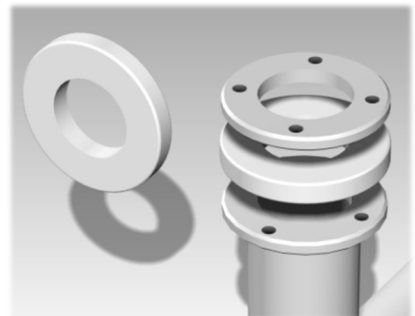


Figura 19. Empaques sanitarios

➤ **Empaques sanitarios.** Para asegurar la succión y evitar el derrame de producto por la parte superior del dosificador,



se implementan empaques sanitarios fabricados en EPDM¹⁰ para alimentos. Se usan también empaques *O' ring* 26 x 3 mm, en el extremo inferior de cada émbolo para asegurar el correcto arrastre del producto a través de la tubería.

4.3.5 Selección del cilindro-pistón de empuje. Para seleccionar el pistón neumático se tienen en cuenta las fuerzas que actúan sobre el émbolo como se muestra en el diagrama de cuerpo libre de la figura 20.

Figura 20. Diagrama de cuerpo libre

Donde:

F_a = Fuerza aplicada por el pistón

F_f = Fuerza ejercida por el fluido

f = Fuerza de Fricción entre el émbolo y el empaque.

- **Cálculo de F_a**

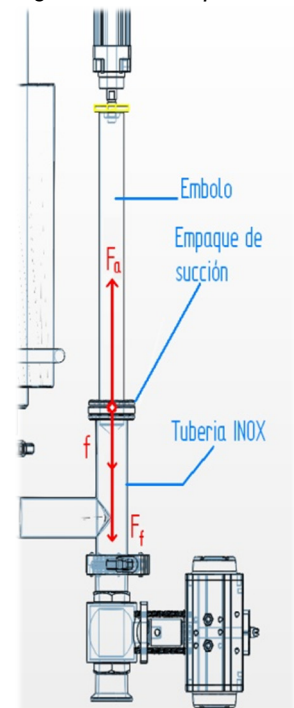
Según el principio de pascal para una presión de 1.35 Bar =135312.99 Pa

La presión se define:

$$P = \frac{F_f}{A_{tubo}}$$

Si la presión es **P=135312.99** pascales y el Área transversal del tubo es $1.02 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ para un diámetro interno de 3,6 cm (1 ½").

$$F_f = 137.73 \text{ N}$$



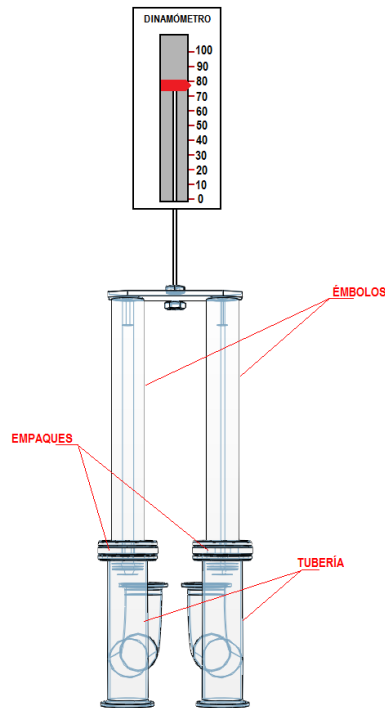
¹⁰ El caucho de etileno propileno dieno o EPDM (Etileno Propileno Dieno tipo M ASTM) se obtiene como un tercer monómero, y resulta especialmente útil para el sellado de líquidos hidráulicos

WIKIPEDIA. Caucho etileno-propileno, [En línea], [citado en 15 de junio de 2009]: Disponible en: versión HTML. http://es.wikipedia.org/wiki/Caucho_etileno-propileno-dieno.

- **Cálculo de f**

La fuerza de rozamiento f entre el émbolo y el empaque sujetado a las bridas de la tubería, se obtuvo de forma experimental con un dinamómetro:

Figura 21. Experimento para cálculo de fuerza f



Sujetando el dinamómetro en el extremo superior de los émbolos y tirando hacia arriba de ellos en un tiempo de 1 segundo hasta llegar al extremo superior, se encontró que la fuerza necesaria para vencer la fricción es de: 77.4 Newton, aproximadamente 80 N.

Es decir: **$f = 80 \text{ Newton}$.**

Haciendo sumatoria de fuerzas verticales, se obtiene:

$$\sum F_y = m * \vec{a}$$

Debido a que se requiere un movimiento constante en la subida y bajada de los émbolos la aceleración se aproxima a cero; **$a=0$** . Así la ecuación queda:

$$F_a - F_f - f = m * \vec{a}$$

Debido a que la aceleración es demasiado pequeña por que la velocidad es muy baja, y la masa del los émbolos no excede los 0.6Kg, se deprecia ya que no llega a ser mayor a 1 N.

$$F_a = 137.73 + 80 = 217.73 \text{ N}$$

Es decir, la máxima fuerza que debe hacer el pistón es de 217.73 N, en la succión.

- **Dimensiones del cilindro.** Dado que el compresor entrega una presión neumática de 5 Bar= 500000 Pa, habiendo calculado ya la F_a y teniendo en cuenta que las dos (2) boquillas dosificadoras se manejan con un solo pistón se obtienen las dimensiones necesarias del mismo.

$$P_{Neu} = \frac{2F_a}{A_{pistón}}$$

$$A_{pistón} = \frac{2 * 217.73 \text{ N}}{500000 \text{ Pa}} = 8.7 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{pistón} = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$D = \frac{\sqrt{21773}}{2500\sqrt{\pi}} \approx 0.0332999967613 \text{ m} \approx 3.33 \text{ cm}$$

* Se escoge un cilindro-pistón con un diámetro comercial de 3.2 cm y una carrera de 31 cm.

Figura 22. Cilindro seleccionado



- **Caudal neumático para el cilindro:**

Está dado por: $Q = \frac{Volumen}{Tiempo}$

Es decir que la ecuación del caudal de aire queda:

$$V_{cil} = \frac{\pi}{4} D^2 L$$

D= Diámetro

L= Longitud del cilindro

Reemplazando obtenemos:

$$V_{cil} = \frac{\pi}{4} * 0.032^2 * 0.31$$

$$V_{cil} = 2.49 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

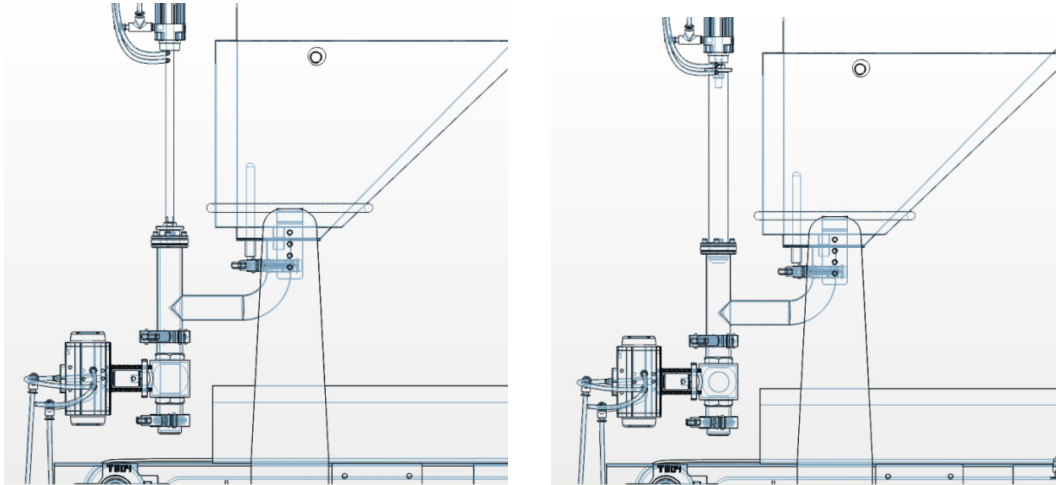
Calculando el caudal neumático:

$$Q = \frac{2.49 \times 10^{-4} \text{ m}^3}{1 \text{ seg}} = 2.49 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sg}$$

Es decir, el cilindro dosificador consume aproximadamente 0.9 m³/hora de aire.

4.3.6 Selección del actuador de apertura de válvula de bola. Para poder llevar a cabo la secuencia de dosificado de la mezcla, no basta con el pistón dosificador ya que para poder succionar se necesita otro actuador que genere vacío mientras se realiza la succión. Debido a esto se hace necesario colocar una válvula de paso libre (ya que el pistón pasa a través de ella) que permanezca cerrada durante el proceso de succión y abierta en el proceso de empuje del producto hacia la banda (ver figura 23).

Figura 23. Succión y empuje del pistón con apertura y cierre de válvula

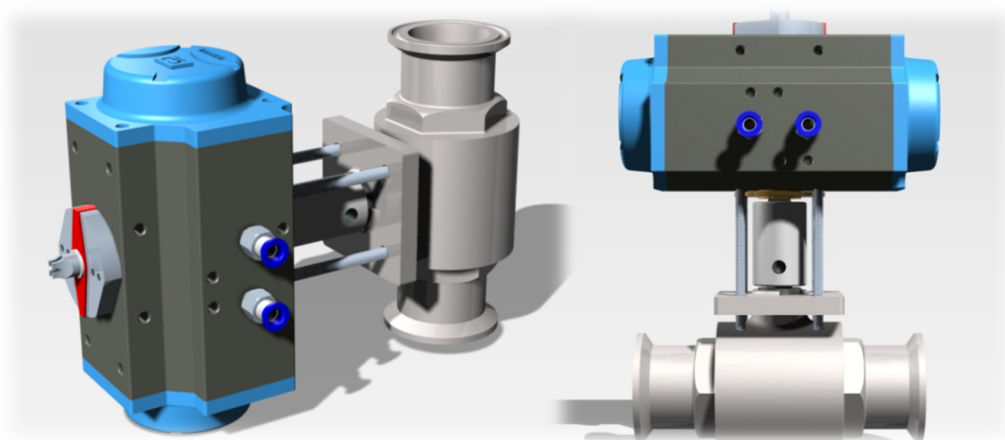


Dicha válvula debe ser sanitaria y de bola (para garantizar el paso libre) y debe ser accionada por medio de un mando neumático.

De acuerdo al diseño realizado con la tubería de 1 ½" de diámetro, la válvula de bola es de este mismo diámetro. Se implementa el actuador rotativo escogido según hoja de especificaciones proporcionada por la compañía *Automacion Vignola Industrial* (ver anexo B).

Se selecciona un actuador DA de 52mm sugeridos por el fabricante para válvulas de 1 ½", con un torque aproximado de 22 Nm (a 6 bar) y soporte de presiones neumáticas de hasta 8 bar.

Figura 24. Acople del actuador rotativo a la válvula de bola.



4.3.7 Selección de accesorios neumáticos. En la figura 25 se presenta el diagrama neumático con los accesorios requeridos para el montaje.

Figura 25. Diagrama del circuito neumático

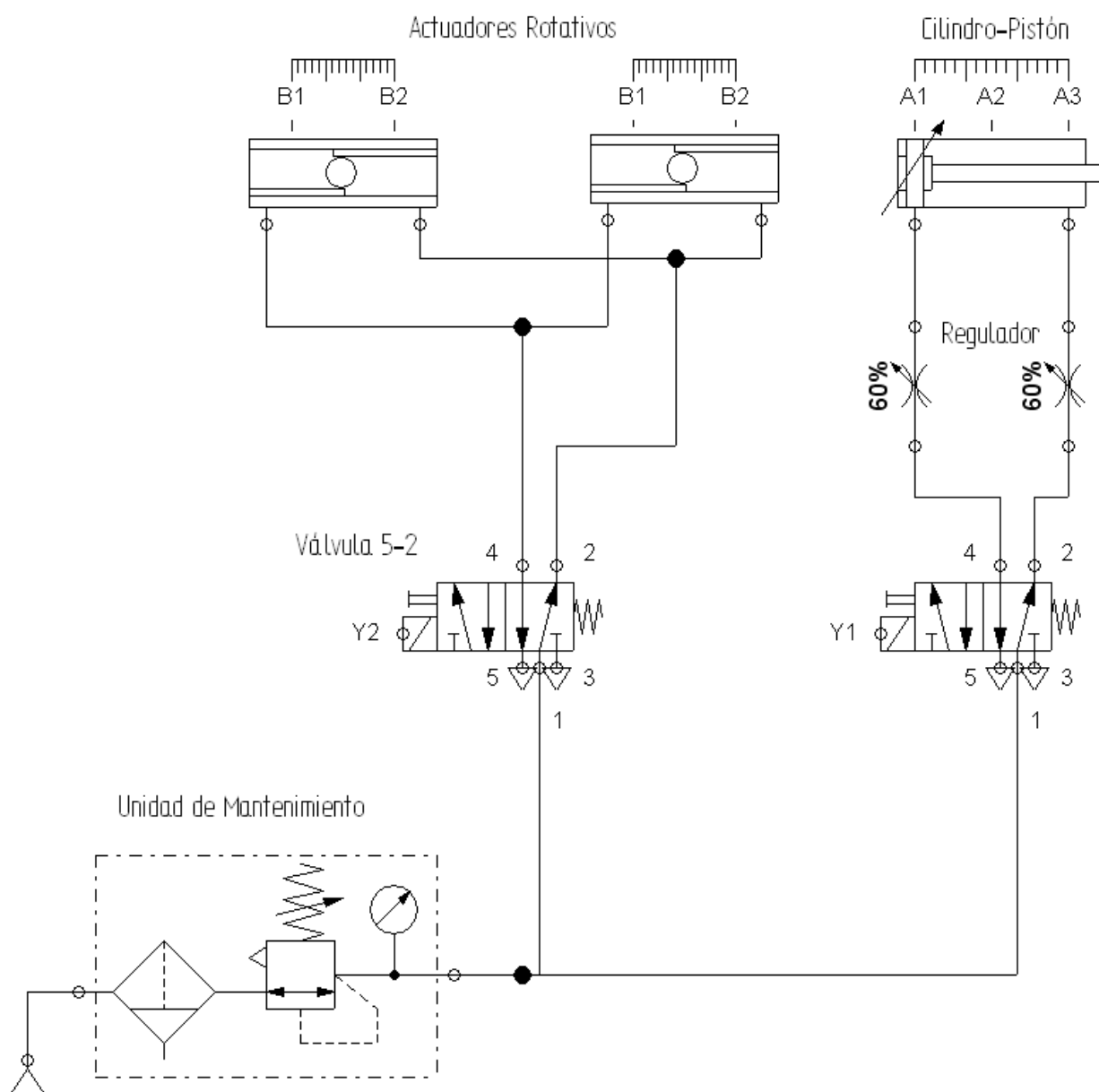


Figura 26. Unidad de Mantenimiento FLR

✓ **Unidad de mantenimiento:** Se usa con el fin de filtrar, regular y lubricar el aire que llega a las válvulas. La presión máxima de trabajo del dispositivo es de 9 Bares y cuenta con un manómetro.

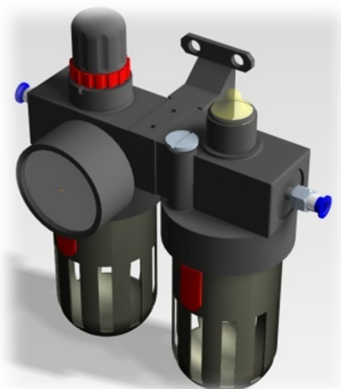
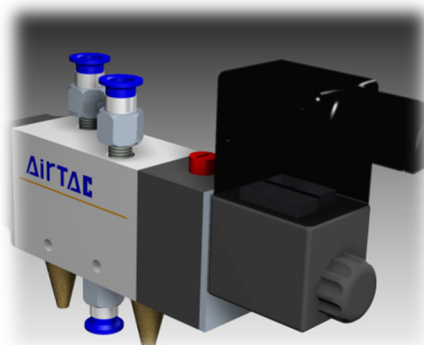


Figura 27. Válvula mono.5-2 Airtac



✓ **Válvulas Electro-neumáticas:** Es necesario usar válvulas 5-2, marca *Airtac*, debido a que los actuadores seleccionados son de doble efecto. El retorno es por muelle para facilitar el modo de accionamiento. Las válvulas son accionadas eléctricamente con 12VDC, ver ficha técnica (Anexo C), modelo figura 27 y esquemático figura 25.

Figura 28. Válvula reguladora de aire

✓ **Válvulas Reguladoras y Racores:** Se usan con el fin de calibrar la velocidad de ascenso y descenso del pistón. Se usa un diámetro de conexión de 6mm al igual que todos los racores y mangueras del sistema.

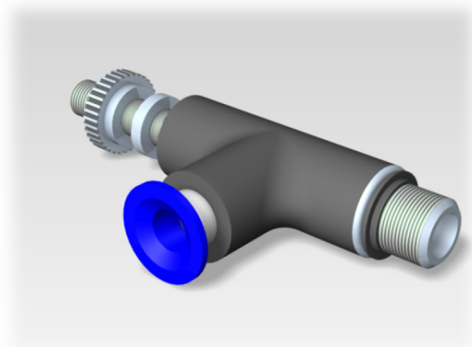
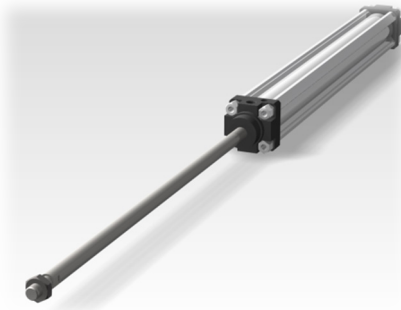


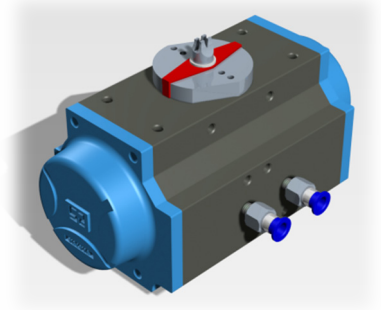
Figura 29. Cilindro pistón



✓ **Cilindro-Pistón:** Cumple la función de succión y dosificado de la mezcla. Es necesario seleccionarlo de doble efecto debido a que el esfuerzo que debe hacer en la carrera de vuelta es demasiado alto para lograr la succión con un retorno con resorte. Las dimensiones fueron calculadas en la sección 4.3.5.

Figura 30. Actuador rotativo

✓ **Actuadores Rotativos:** Para la apertura y cierre de las válvulas de bola sanitarias, se usan estos actuadores de doble efecto que son capaces de emitir un giro de 90° asegurando la apertura completa de la válvula. Ver sección 4.3.6. y figura 30.



4.4 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Para realizar el diseño del sistema de enfriamiento es necesario tener en cuenta que este debe ajustarse al corto presupuesto proporcionado y al comportamiento térmico del producto elaborado en casa ya que no se proporcionó mezcla por parte de la empresa Productos RIMAR LTDA, para realizar pruebas.

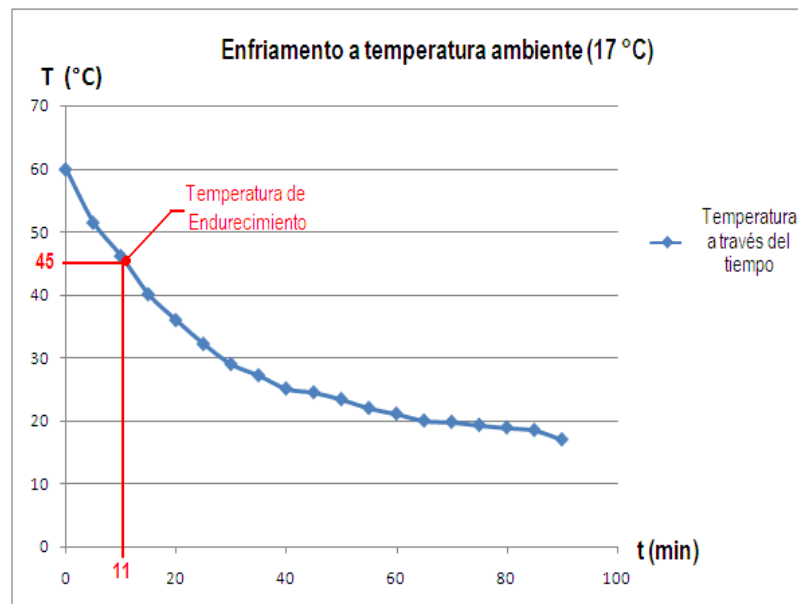
4.4.1 Análisis térmico del producto. Debido a la importancia de conocer el comportamiento térmico del producto es necesario preparar una mezcla casera de arequipe con una alta concentración de azúcar y un porcentaje de coco para que se aproximara a la mezcla real y con base a esta se obtienen los datos del tiempo de enfriamiento bajo diferentes condiciones.

El primer experimento consiste en tomar el tiempo que le toma a una sola cocada enfriarse al ser dejada a la temperatura ambiente. Los datos se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Enfriamiento del producto.

Datos a temperatura ambiente 17°C		
	tiempo	Temperatura
	0	60
	5	51,5
	10	46,2
	15	40,1
	20	36
	25	32,2
	30	29
	35	27,2
	40	25,1
	45	24,5
	50	23,4
	55	22
	60	21,1
	65	20
	70	19,8
	75	19,3
	80	18,9
	85	18,5
	90	17

Figura 31. Gráfica de enfriamiento a temperatura ambiente.



Después de este primer análisis se encuentra la temperatura a la que la cocada ya está seca (**45°C**), aunque no haya enfriado completamente. Es importante resaltar que al dejar enfriar la cocada completamente sobre la misma superficie esta se pegará y no se podrá levantar, para poder evitar esto el sistema de refrigeración se diseña para llevar la mezcla a una temperatura de 40 a 45 grados centígrados.

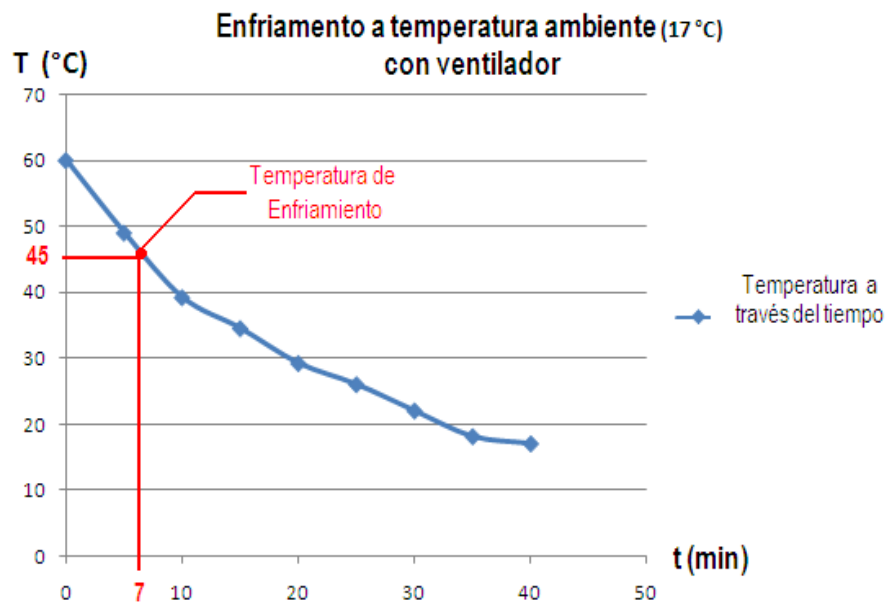
Además, en este primer análisis, se observa que la cocada tarda 90 minutos para llegar a la temperatura ambiente y cerca de 11 minutos para alcanzar los 45°C. Debido a que las cocadas duran en la banda aproximadamente 1.75 minutos, el sistema de refrigeración debe reducir de 11 minutos a 1.75 minutos el tiempo de secado.

Se realiza un segundo experimento similar al primero, pero esta vez se enfrió una cocada con un ventilador que le brindaba un caudal de aire de aproximadamente 4 CFM (pies cúbicos por minuto), a la misma temperatura ambiente de 17 °C. Se obtuvieron los datos del cuadro 3.

Cuadro 3. Datos con ventilador.

Datos a temperatura ambiente 17°C con ventilador	
tiempo	Temperatura
0	60
5	49
10	39,2
15	34,5
20	29,2
25	26
30	22
35	18,1
40	17

Figura 30. Gráfica enfriamiento con ventilador



Analizando los datos obtenidos en el segundo experimento se observa como un ventilador de poca capacidad reduce el tiempo de enfriamiento en un 56,6% y la cocada alcanza los 45°C en 7 minutos aproximadamente.

De los análisis anteriores se concluye que la mejor forma de aproximarse al presupuesto dado es utilizar un ventilador con la capacidad suficiente para todas las cocadas que van por la banda de forma simultánea y para un mejor aprovechamiento del aire, este se canalizó por medio de túneles a lo largo de la banda transportadora. Cabe aclarar que el experimento de enfriamiento con el ventilador de 4 CFM se llevo a cabo con una sola cocada, y lo que se debe hacer es un análisis para llegar a un resultado similar, pero con la producción total de cocadas y en las condiciones en las que van a estar.

4.4.2 Selección del ventilador de enfriamiento. Como se mencionó anteriormente un método muy económico y fácil de implementar para remover calor (refrigerar), a menudo es el uso de dispositivos capaces de producir el flujo de un fluido a través del área que se desea refrigerar.

Sin duda los ventiladores son idóneos para procesos de enfriamiento forzado en la industria ya que como muchos autores de libros de transferencia de calor afirman, el intercambio de calor entre dos cuerpos o sustancias está directamente relacionado con la rata de flujo y presión con la que los mismos se mueven.

Entendido esto, hay que recordar que “un ventilador es una bomba de gas o una turbo-máquina de fluido generadora para gases”¹¹, para nuestro caso el aire. De esta forma para seleccionar un ventilador apropiado y poder reducir la temperatura de las cocadas que avanzan a lo largo de la banda, se requieren los dos parámetros más importantes de una turbo-máquina desde el punto de vista de la mecánica de fluidos; la presión estática y el caudal.

Para poder obtener la presión estática y el caudal necesarios se debe hacer un análisis profundo de transferencia de calor entre las cocadas y el aire que circula a través del túnel. Dicho análisis se puede iniciar con la ecuación general de un proceso de intercambio de calor:

¹¹ AMPUDIA ECHEVERRY, Danilo. Ventiladores y diseño de ductos. Cali: Universidad del Valle. Departamento Mecánica de Fluidos y Ciencias Térmicas, 1987, p. 1.

$$q = U * A_T * \Delta T_m$$

Donde:

q = Transferencia de calor entre el aire y las cocadas [watt]

A_T = Área de transferencia de calor [m²]

U = Coeficiente global de transferencia de calor [watt / m² °K]

ΔT_m = Cambio de temperatura media [°K]

Muchas de las variables de la anterior ecuación son aún desconocidas, pero es posible obtener q por medio de la ecuación:

$$q = \dot{m}_c * C_c * (T_{c_i} - T_{c_o})$$

Donde:

$\dot{m}_c$ = Flujo másico de las cocadas [Kg / seg]

C_c = Calor específico a presión constante [J / Kg* °K]

T_{c_i} = Temperatura de entrada de las cocadas [°K]

T_{c_o} = Temperatura de salida de las cocadas [°K]

Si cada cocada pesa aproximadamente 25 gr (0.025Kg) y la velocidad de producción es $35 \frac{cocadas}{min}$:

$$\dot{m}_c = \left(35 \frac{cocadas}{min} * \frac{0.025 kg}{1 cocada} * \frac{1 min}{60 seg} \right) = 0.01458 \frac{Kg}{seg}$$

Es decir, el flujo másico de cocadas a través del túnel es de $0.01458 \frac{Kg}{seg}$

En un experimento realizado, según se pudo investigar en fuentes virtuales, el comportamiento del calor específico del arequipe varía según la concentración, es decir, el porcentaje de sólidos de la mezcla. Asumiendo un 42% de sólidos a 70° Brix, el calor específico es aproximadamente:

$$C_c \approx 3000 \frac{J}{Kg * °K}$$

Como se mencionó anteriormente las cocadas caen a la banda transportadora a una temperatura $T_{ci} = 60^{\circ}\text{C}$ (333°K) y se desea que salgan al otro lado de la banda a una temperatura promedio de $T_{co} = 45^{\circ}\text{C}$ (316°K), que es a la temperatura a la que ya tienen una textura solida y es posible removerlas de la banda sin mayor inconveniente.

El calor necesario para enfriar tal flujo de cocadas es:

$$q = 0.01458 \frac{\text{Kg}}{\text{seg}} * 3000 \frac{\text{J}}{\text{Kg} * ^{\circ}\text{K}} * (333^{\circ}\text{K} - 316^{\circ}\text{K})$$

$$q = 656.1 \text{ watt}$$

Otra de las variables de la ecuación para procesos de intercambio de calor es ΔT_m , la cual es posible obtenerla con el cambio de temperatura media logarítmica, así:

$$\Delta T_m \approx LMDT$$

$$LMDT = \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_1)}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

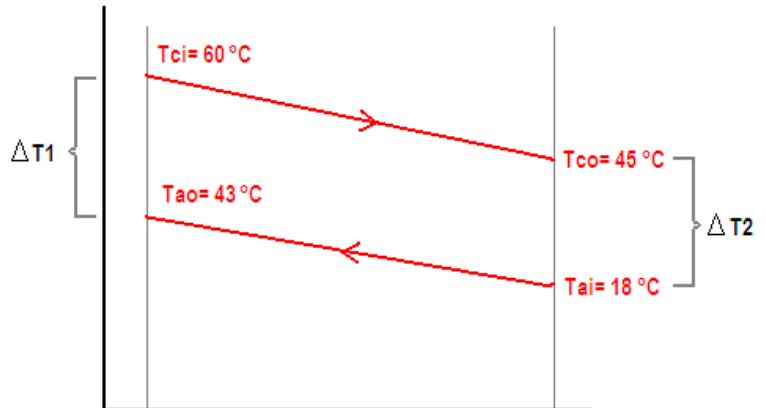
$$\Delta T_2 = T_{ci} - T_{ao} = 60^{\circ}\text{C} - 43^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 17^{\circ}\text{C} = 290^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta T_1 = T_{co} - T_{ai} = 45^{\circ}\text{C} - 18^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 27^{\circ}\text{C} = 300^{\circ}\text{F}$$

Figura 33. Gráfica de análisis de temperaturas



En la gráfica se puede apreciar la diferencia de temperaturas ΔT_1 y ΔT_2 , modeladas en contracorriente, es decir, el flujo del aire va contrario al flujo de las cocadas a lo largo de la banda, esta decisión se toma debido a que se obtienen mejores resultados de disminución de temperatura media logarítmica (LMDT).

$$LMDT = \frac{(300^{\circ}\text{K} - 290^{\circ}\text{K})}{\ln\left(\frac{300^{\circ}\text{K}}{290^{\circ}\text{K}}\right)}$$

$$LMDT \cong 294^{\circ}K$$

$$\Delta T_m = 294^{\circ}K$$

Por otro lado, en la ecuación de transferencia de calor, A_T es el área de contacto entre el aire y las cocadas por lo tanto es posible calcular el área superficial de una cocada y multiplicarla por la cantidad de cocadas que hay en la banda en el momento del intercambio de calor.

La cantidad de cocadas que caben sobre la banda transportadora si esta mide 3.0m y la distancia entre centros de cocadas es de 10cm (como se vio en el capítulo 4.2.2) es:

$$NC = 2 \left(\frac{L_{banda}}{L} \right)$$

Donde:

NC = Número de cocadas sobre la banda.

L_{banda} = Longitud útil de la banda.

L = Distancia entre cocadas.

$$NC = 2 \left(\frac{3 \text{ m}}{0.1 \text{ m}} \right) = 60 \text{ unidades}$$

Aproximadamente 60 unidades hay a lo largo de 3 metros de banda.

Entonces:

$$A_c = \frac{\pi}{4} * D_c^2 + \pi * D_c * h$$

$$A_c = \frac{\pi}{4} * (0.05m)^2 + \pi * (0.05m) * (0.008m)$$

$$A_c = 0.0032 \frac{m^2}{cocada}$$

$$A_T = 0.0032 \frac{m^2}{cocada} * 60 \text{ cocadas}$$

$$A_T = 0.193m^2$$

Para obtener el coeficiente global de transferencia de calor U , que es el término que hace falta en la ecuación de intercambio de calor se usa:

$$U = h + h_f \left[\frac{w}{m^2 \circ K} \right] \quad (0)$$

Y a su vez para un flujo lineal y turbulento del aire se tienen las ecuaciones:

$$h = \overline{N_{uL}} \cdot \frac{k}{L} \quad (1), \quad R_e = \frac{L * \vec{V}}{\mu_a} \quad (2), \quad \vec{V} = \frac{Q}{A_{tunnel}} \quad (3)$$

Donde:

h_f = Factor de encrustamiento [$W/m^2 \circ K$]	k = Conductividad térmica del aire [$W/m \circ K$]
$\overline{N_{uL}}$ = Numero de Nusselt local	L = Longitud de la ruta de flujo [m]
$\vec{V}$ = Velocidad del aire [m / seg]	Q = Caudal de aire [m ³ /seg]
μ_a = Viscosidad cinemática del aire [m ² /seg]	Pr = Numero de prandlant
A_{tunnel} = Área transversal del túnel [m ²]	h = Coeficiente de convección [$W/m^2 \circ K$]
R_e = Numero de Reynolds del flujo de aire	

Reemplazando la velocidad de la ecuación (3) en la ecuación (2):

$$R_e = \frac{L * Q}{\mu_a * A_{tunnel}}$$

El número a-dimensional de Nusselt $\overline{N_{uL}}$, sin duda, es una de las variables más complicadas en los análisis de transferencia de calor debido a la multiplicidad de ecuaciones que se pueden utilizar en función del número de Reynolds y el número de Prandlant (Pr), que para el caso del aire es de 0.7. Para este caso en particular, es preciso usar la ecuación de Nusselt promedio para flujo mixto-turbulento, ya que la viscosidad del aire es demasiado pequeña y la velocidad del aire alta.

$$\overline{N_{uL}} = [0.037 * R_e^{0.8} - 872] * Pr^{1/3} \quad \text{Si y solo si:} \quad \begin{cases} 0.6 < Pr \leq 60 \\ R_e > 5 * 10^5 \end{cases}$$

Reemplazando la ecuación del número de Reynolds en la ecuación anterior se tiene:

$$\overline{N_{uL}} = \left[0.037 * \left(\frac{L * Q}{\mu_a * A_{tunnel}} \right)^{4/5} - 872 \right] * Pr^{1/3}$$

Reemplazando en la ecuación (1) para dejar la ecuación en términos de h:

$$h = \left(\left[0.037 * \left(\frac{L * Q}{\mu_a * A_{tunnel}} \right)^{4/5} - 872 \right] * Pr^{\frac{1}{3}} \right) * \frac{k}{L}$$

Y también en la ecuación (0), para dejar la ecuación en términos de Q:

$$U = \left(\left[0.037 * \left(\frac{L * Q}{\mu_a * A_{tunnel}} \right)^{4/5} - 872 \right] * Pr^{\frac{1}{3}} \right) * \frac{k}{L} + h_f$$

Ya en este punto de la ecuación se puede ver que las únicas variables que no se tienen son U y Q, así que se despeja en función de Q con:

$$L = 3 \text{ m}$$

$$k = 0.032 \text{ W/m}^\circ\text{K}$$

$$A_{tunnel} = (0.095\text{m} * 0.24\text{m})$$

$$h_f = 0.0004 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$A_{tunnel} = 0.0228\text{m}^2$$

$$\mu_a = 2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{seg}$$

Reemplazando:

$$U = \left(\left[0.037 * \left(\frac{(3) * Q}{(2 \times 10^{-5}) * (0.0228)} \right)^{4/5} - 872 \right] * (0.7)^{\frac{1}{3}} \right) * \frac{(0.032)}{3} + 0.0004$$

$$U = 15.82 * Q^{4/5} - 8.26 \left[\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K} \right]$$

Volviendo a la ecuación de intercambio de calor:

$$q = U * A_T * \Delta T_m$$

Reemplazando todas las variables despejadas:

$$(656.1 \text{ W}) = \left(15.82 * Q^{\frac{4}{5}} - 8.26 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K} \right) * (0.193\text{m}^2) * (294^\circ\text{K})$$

Despejando Q se obtiene:

$$Q = 1.33 \frac{m^3}{seg} \cong 2784 \frac{pies^3}{min} = 2784 CFM$$

Así se concluye que se requieren 2784 CFM de aire para ventilar la producción de cocadas que estén sobre la banda transportadora.

De acuerdo a la ecuación de continuidad, el calor que ceden las cocadas es el mismo que absorbe el aire, por lo tanto para hallar el flujo másico del aire $\dot{m}_a$.

$$q = \dot{m}_c * C_c * (T_{c_i} - T_{c_o}) = \dot{m}_a * C_a * (T_{a_o} - T_{a_i})$$

$$656.1 W = \dot{m}_a * \left(716.53 \frac{J}{kg \cdot ^\circ K} \right) * (316^\circ K - 291^\circ K)$$

$$\dot{m}_a = 0.0365 \frac{kg}{seg}$$

Para poder hallar la presión necesaria del aire, al pasar por el túnel, se usa la ecuación de los gases ideales:

$$PQ = \dot{m}_a * R_o * T_{a_i}$$

$$P * \left(1.33 \frac{m^3}{seg} \right) = \left(0.0365 \frac{kg}{seg} \right) * \left(287 \frac{J}{kg \cdot ^\circ K} \right) * (291^\circ K)$$

$$P = \frac{870963}{380} \approx 2292 Pa$$

Teniendo ya la presión necesaria en la descarga de la turbina y el caudal calculados se necesita seleccionar el tipo de ventilador más adecuado, para esto es necesario conocer su presión estática que se define como “La presión compresiva existente en el seno del fluido y sirve para vencer los rozamientos y otras resistencias ofrecidas al paso del aire o gas”¹².

¹² AMPUDIA ECHEVERRY, Danilo. Ventiladores y diseño de ductos. Cali: Universidad del Valle. Departamento Mecánica de Fluidos y Ciencias Térmicas, 1987, p. 11.

Según la ecuación de Bernoulli:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 + \gamma Z_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 + \gamma Z_2$$

$$P_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2$$

$$P_1 = 2298,21 \text{ Pa} + \frac{1}{2} \left(1,2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \left(\frac{1,33 \text{ m}^3/\text{Seg}}{(0,24 \text{ m})(0,09 \text{ m})} \right)^2$$

$$P_1 = 6090,17 \text{ Pa}$$

La presión estática está definida por: $P_s = |P_2 - P_1|$

$$P_s = |2298,21 \text{ Pa} - 6090,17 \text{ Pa}|$$

$$P_s = 3791 \text{ Pa} \cong 15,25 \text{ in } H_2O$$

Teniendo los datos necesarios: Caudal de aire necesario, presión estática, velocidad del rodete (es la misma del motor), Se procede a calcular la velocidad específica que está dada por la ecuación:

$$N_s = \frac{N\sqrt{Q}}{P_s^{\frac{3}{4}}}$$

Donde: N= Velocidad del rodete (motor) [RPM]

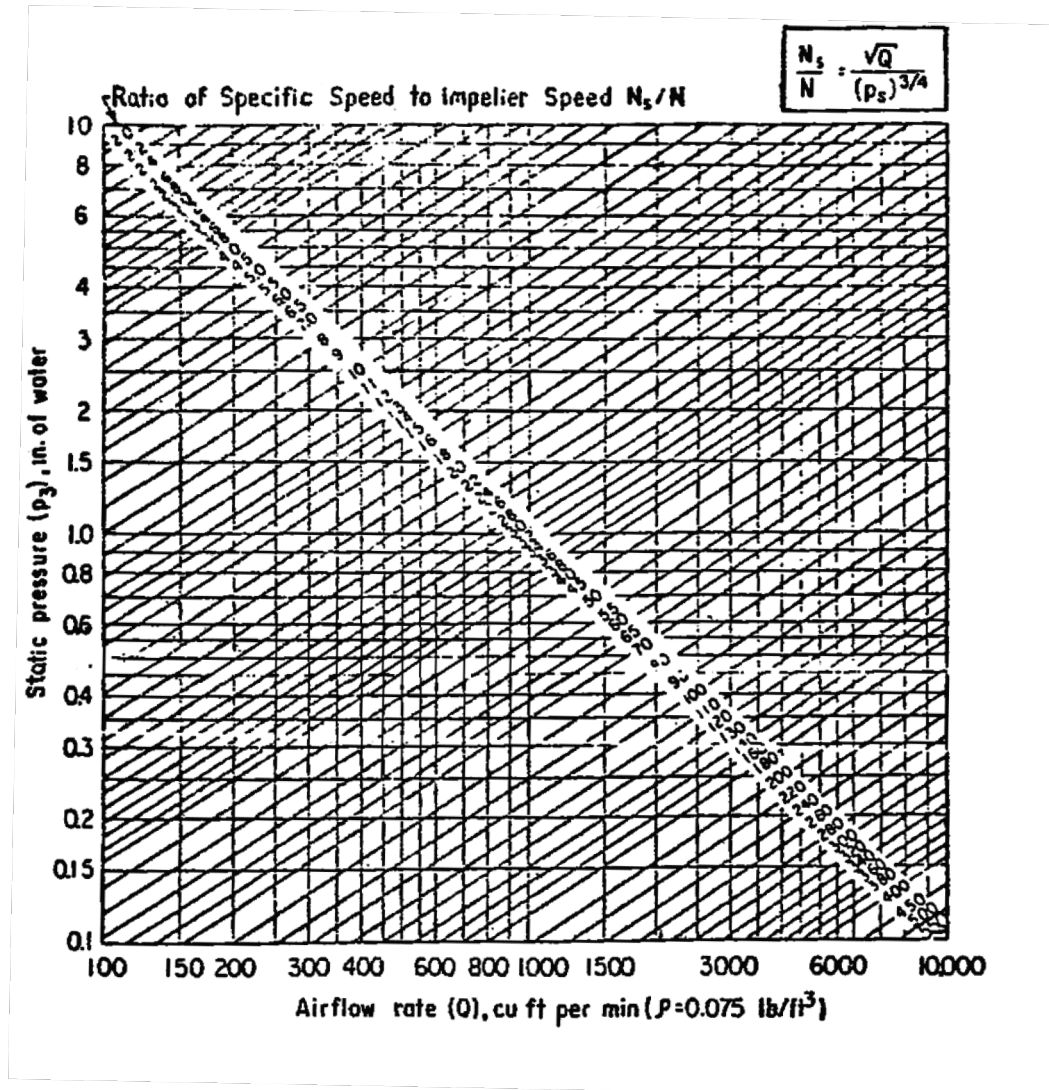
Q= Caudal de aire [CFM]

P_s = Presión estática [in H_2O]

N_s = Velocidad específica [RPM]

También se puede utilizar el nomograma de la figura 27.

Figura 34. Nomograma de velocidad específica.



Fuente: Ventiladores y diseño de ductos

Reemplazando en la ecuación:

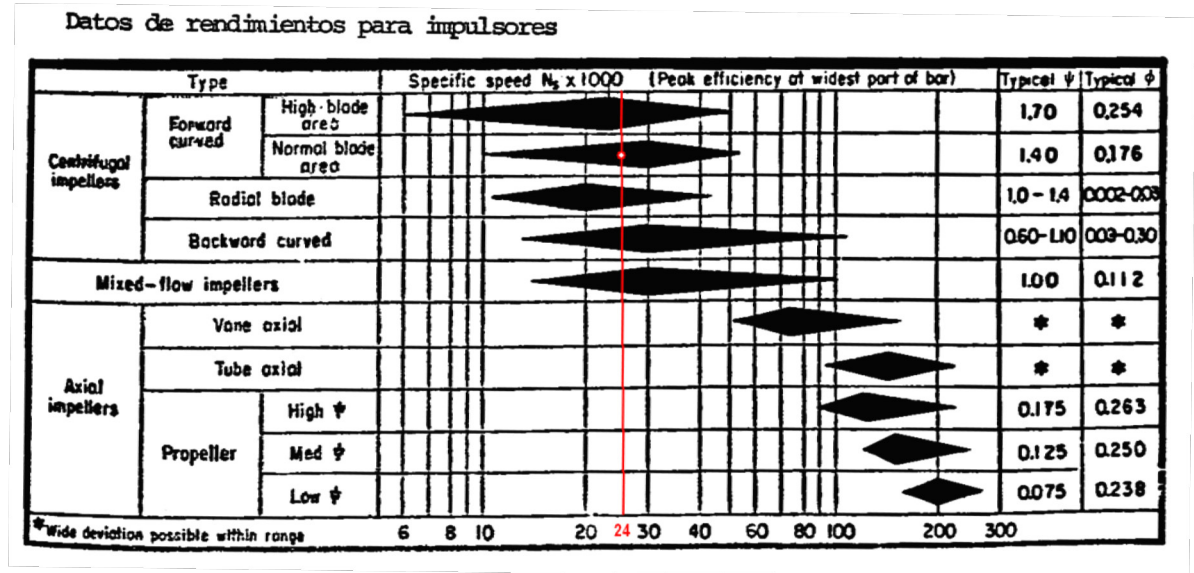
$$N_s = \frac{3600\sqrt{2784}}{(15,25)^{\frac{3}{4}}}$$

$$N_s \cong 24614 \text{ RPM}$$

Conociendo ya la velocidad específica se selecciona el tipo de rodete más apropiado para esta aplicación utilizando la tabla de la figura 35. Esta tabla indica los tipos de rodetes que operan a alta

eficiencia a la velocidad específica calculada. La parte más ancha del rombo indica el punto de eficiencia máxima.

Figura 35. Cuadro de selección de ventiladores.



Fuente: Ventiladores y diseño de ductos

Como se observa en la tabla, varios tipos de rodets pueden ser adecuados para la aplicación así que basándose en otros factores como economía y más comunes en el mercado se seleccionó un **Ventilador de tipo centrífugo de álabes normales curvados hacia adelante.**

Conociendo el tipo de rodete a utilizar, se calculan las dimensiones requeridas para el mismo tales como diámetro y el ancho.

El diámetro mínimo del rodete esta dado por la ecuación:

$$D = \frac{1,53 \times 10^4}{N} \sqrt{\frac{P_s}{\psi}}$$

Donde: D= Diámetro del rodete [Pulgadas]

N= Velocidad del rodete (Motor) [RPM]

P_s = Presión estática [in H₂O]

Ψ = Coeficiente de presión dado por el cuadro de la figura 28

Reemplazando los valores:

$$D = \frac{1,53 \times 10^4}{3600} \sqrt{\frac{15,25}{1,4}}$$

$$D = 14,03 \text{ Pulgadas} \cong 35,6 \text{ cm}$$

El ancho mínimo del impulsor centrífugo con álabes curvados hacia adelante o de flujo mixto esta dado por:

$$W = \frac{175 Q}{\phi N D^2}$$

Donde: W= Ancho del impulsor [Pulgadas]

Q= Caudal de aire [Pies³/min]

N= Velocidad del rodete [RPM]

D= Diámetro calculado [Pulgadas]

ϕ = Coeficiente de flujo dado por el cuadro de la figura 28

Reemplazando:

$$W = \frac{175 (2784)}{(0.176)(3600) (14,03)^2}$$

$$W = 3,9 \text{ Pulgadas} \cong 9,91 \text{ cm}$$

Teniendo las dimensiones y características más relevantes para la selección de un ventilador industrial, se revisan los catálogos de diferentes fabricantes y se puede escoger una turbina centrífuga tipo MB28-11, siendo la más cercana a los cálculos teóricos, (ver catálogo anexo D).

Según las características del catálogo del anexo D, el motor para la turbina tiene una potencia de 750 W y produce un caudal de aire de 3600m³/h (2100 CFM). Para conocer las dimensiones concretas del ventilador ver los plano del anexo D.

Figura 36. Rodete doble.

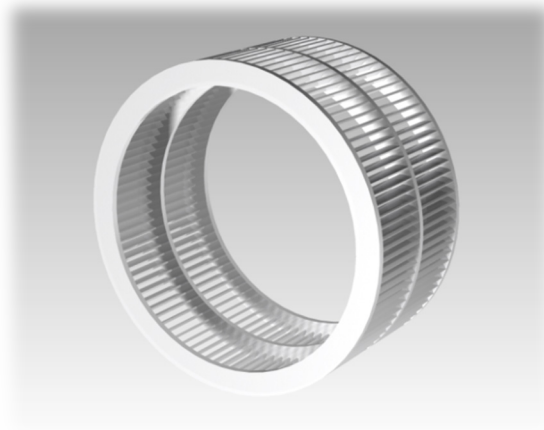
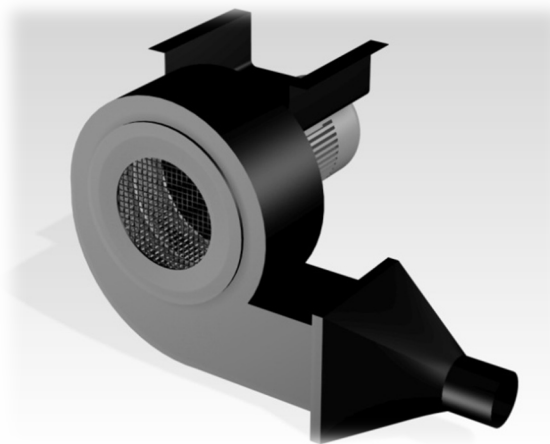


Figura 37. Ventilador centrífugo



4.5 AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO

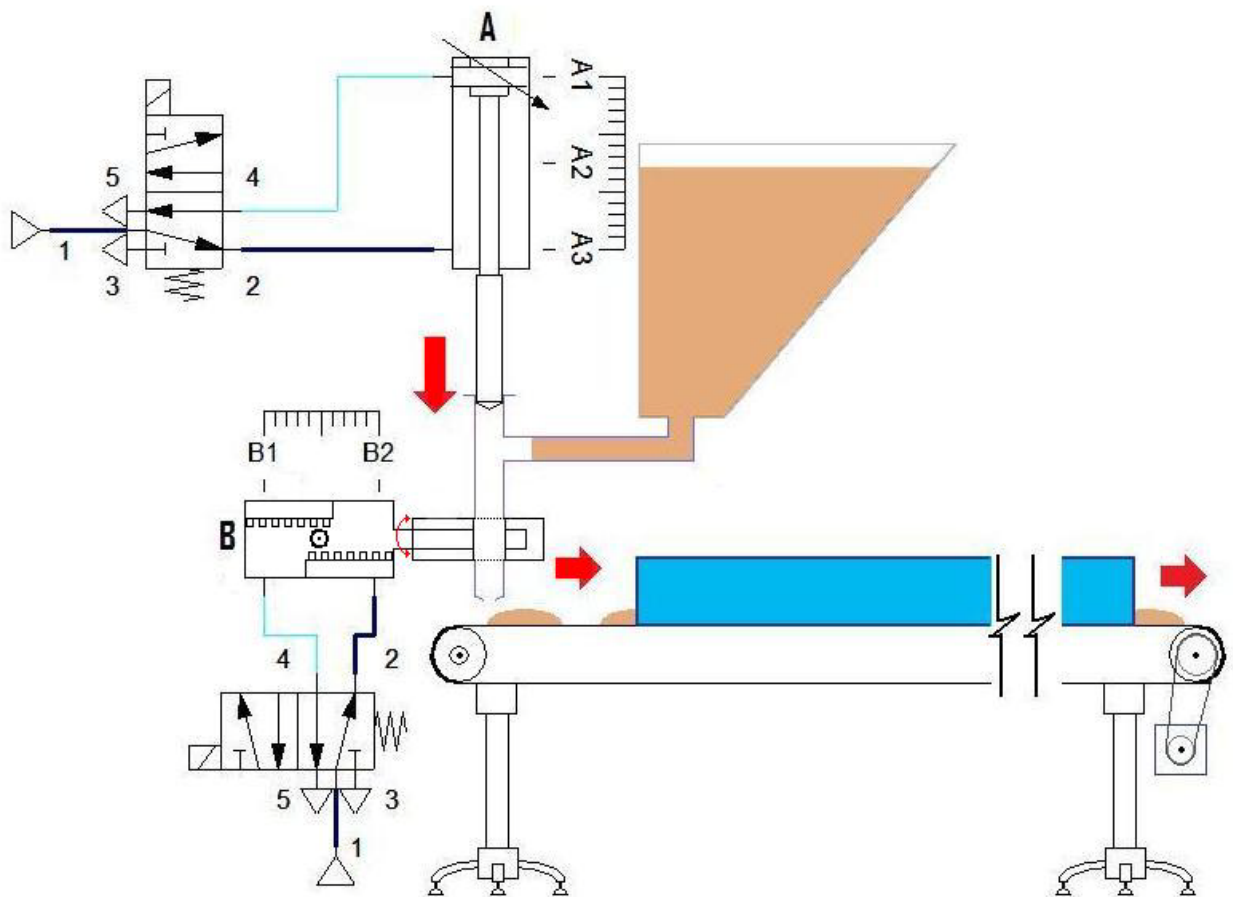
4.5.1 Funcionamiento general del sistema. Teniendo completo el diseño mecánico del dosificador por medio de mandos neumáticos se procede a diseñar el algoritmo necesario para accionar el sistema de forma automática.

La primera parte consiste en entender la secuencia exacta del proceso como se muestra en la figura 38.

A = Cilindro Pistón

B= Actuador Rotativo

Figura 38. Esquema de la máquina y elementos de automatización.



- **Secuencia.**

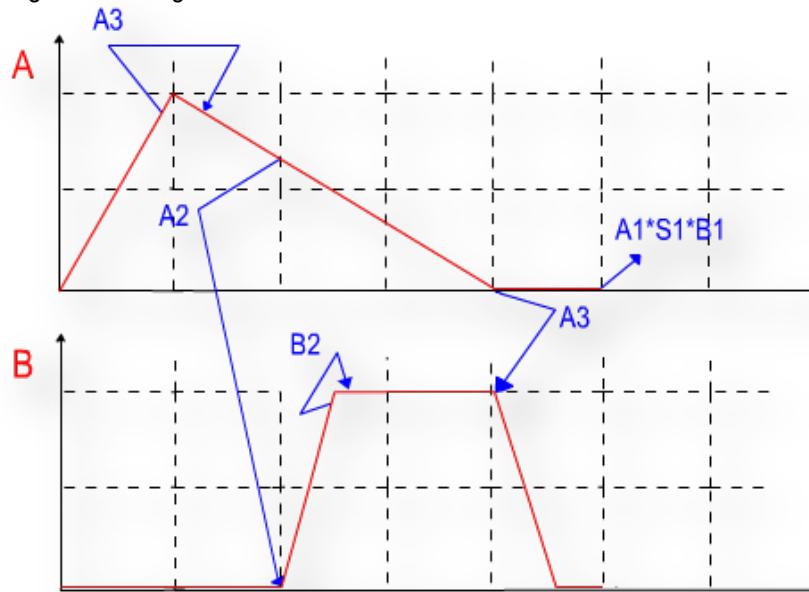
- ✓ Inicialmente la mezcla de arequipe y coco se encuentra en la tolva manteniéndose caliente por medio de vapor que re-circula a través de la camisa de la tolva. Los actuadores **A** y **B** se encuentran adentro y los sensores **A1** y **B1** están activos.
- ✓ Accionando el pulsador “MARCHA” el cilindro **A** inicia el recorrido bajando y pasando a través de la válvula de bola hasta llegar al sensor **A3**, empujando así la mezcla sobre la banda transportadora.
- ✓ Al activarse el sensor **A3** el pistón se devuelve pasando a través de la válvula de nuevo.

- ✓ Si el sensor **S1** se activa indicando la detección de producto se incrementa el contador de unidades en **2**.
- ✓ Al activarse **A2** El actuador rotativo se acciona hasta activarse **B2** para cerrar la válvula de bola e iniciar el proceso de succión.
- ✓ Al accionarse **A1** el cilindro habrá llegado a su fin y el actuador rotativo **B** comienza a girar hasta accionar el final de carrera **B1** para abrir la salida.
- ✓ A medida que las unidades van siendo dosificadas en la banda transportadora, estas van siendo enfriadas a través de un túnel por el que corre aire, finalizando el proceso con el producto listo para ser manipulado por un operador. Se inicia nuevamente el ciclo.

• Diagrama de Fases.

Como es bien conocido en un diseño de automatización en un diagrama de fases se pueden observar los diferentes estados de los actuadores a través del tiempo con las respectivas señales de los sensores, como se muestra en la figura 39.

Figura 39. Diagrama de fases.



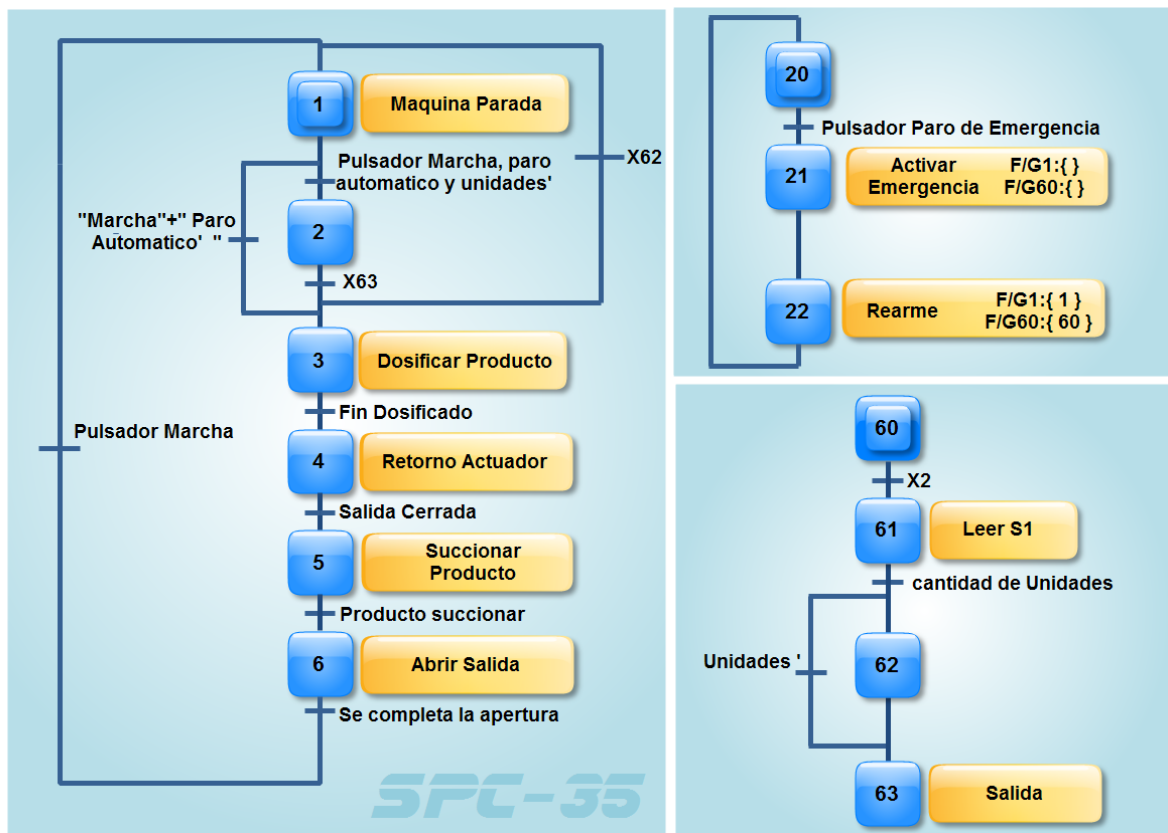
- ✓ Los actuadores **A** y **B** se encuentran adentro (**A-** y **B-**), los sensores **A1** y **B1** están activos.
- ✓ El cilindro **A** inicia el recorrido (**A+**) hasta llegar al sensor **A3**.

- ✓ Al activarse **A3** el cilindro se devuelve (**A-**).
- ✓ Si el sensor **S1** se activa se incrementa el contador de unidades en **2**.
- ✓ Al activarse **A2** El actuador rotativo se acciona (**B+**) hasta activarse **B2**.
- ✓ Al accionarse **A1** el actuador rotativo **B** comienza a entrar (**B-**) hasta **B1**.
- ✓ Se inicia nuevamente el ciclo con los sensores **A1** y **B1**.

4.5.2 Grafcet de proceso funcional y tecnológico

- **Grafcet funcional.** Este esquema se realiza con el fin de tener una idea generalizada del funcionamiento de la planta y así poder analizar con detalle todos los posibles estados de la máquina, pero cabe aclarar que este esquema no es idóneo para llevar a cabo la programación del dispositivo ya que no interactúa con variables sino con estados, por lo cual es necesario traducir estos esquemas a diagramas de flujo o diagramas UML, que son más usados en la programación.

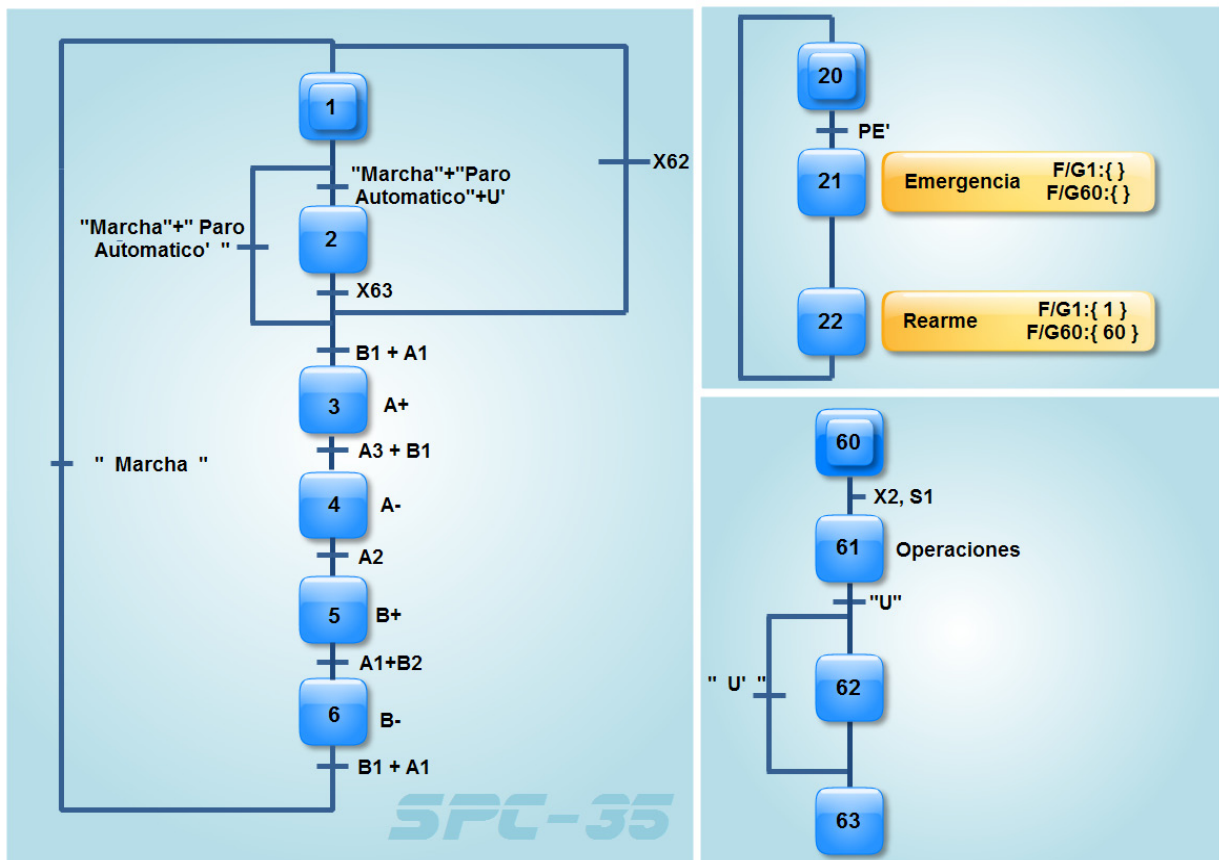
Figura 40. Grafcet funcional.



Al lado izquierdo de la figura 40. Se puede observar el ciclo principal (proceso de producción), al lado superior derecho se observa el ciclo en el que el sistema entra en estado de emergencia y por último en el lado inferior derecho está el esquema para el caso en el que sea accionado el paro automático.

- **Grafcet tecnológico.** Luego de haber analizado los posibles estados y establecer los ciclos necesarios con el Grafcet funcional se elabora el Grafcet tecnológico que permite aclarar el funcionamiento de los actuadores con las respectivas señales de los sensores y los pulsadores.

Figura 41. Grafcet tecnológico.

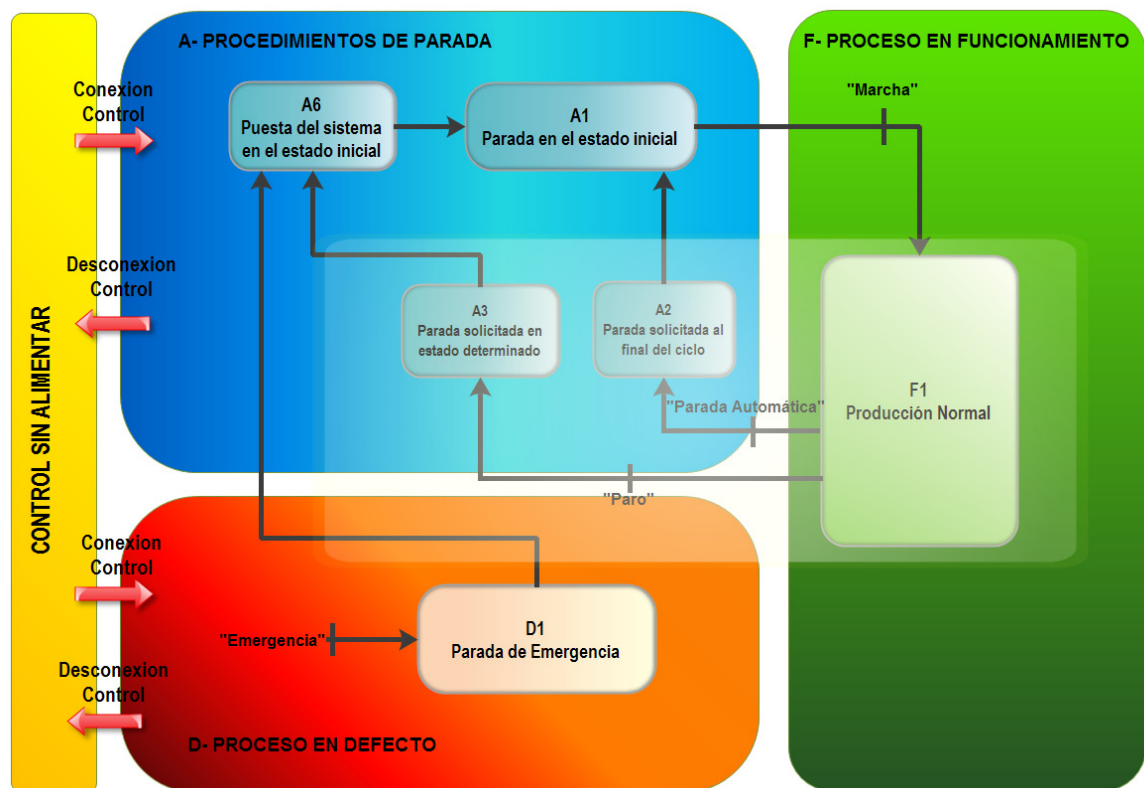


4.5.3 Estados GEMMA aplicados. Es preciso que para procesos de automatización industriales se lleve a cabo un análisis de procedimientos de paradas y puestas en marcha que sugiere la guía GEMMA.

La guía GEMMA procede de los trabajos llevados a cabo durante dos años por la ADEPA (*Agence nationale pour le Développement de la Productique Appliquée à l'industrie*), agencia nacional francesa para el desarrollo de la producción aplicada a la industria. Las siglas GEMMA (*Guide d'Etude des Modes de Marches et d'Arrets*) designan guía de estudio de los modos de marcha y paro. En el contexto de su creación, en 1993, se concibe para que esté en consonancia con las normas de seguridad de la Unión Europea. Bajo la norma nacional francesa UTE C 03-191, se complementa con la representación GRAFCET y pretende dar cabida a una metodología que incluya los modos de marcha y paro del control secuencial¹³.

Para la automatización de esta máquina es necesario prever todos los estados posibles del proceso y utilizar los procedimientos de parada y funcionamiento adecuados para asegurar una producción cíclica, pero con todas las garantías de seguridad. En la figura 42 se puede apreciar el diagrama de estados del proceso teniendo en cuenta los procedimientos **A-D-F** y el control sin alimentar.

Figura 42. Diagrama de estados.



¹³ PONSÁ, Pere Asensio y VILANOVA, Ramón. Automatización de procesos mediante la guía GEMMA. Barcelona: Edicions UPC, 2005, p.37.

Según la guía GEMMA los estados posibles que se seleccionan son:

A1: Es el estado en el que inicia la máquina (reposo).

A2: Esta parada solicitada se hace importante en el momento en el que se requiera programar la máquina para que pare en el momento en el que el operador considere la producción de cierta cantidad de unidades.

A3: Parada en la que en cualquier estado de la máquina, se activa un pulsador en modo de “PARADA” (ver figura 42).

A6: En caso de que la máquina sea detenida en cualquier estado esta regresará a su posición inicial.

F1: Estado en el que la máquina se encuentra en producción normal, se activa cuando se acciona el pulsador “MARCHA” (ver figura 42).

D1: Estado de paro de emergencia solicitado por un operador en cualquier momento.

4.5.4 Conclusiones del proceso automático. Muchas incógnitas acerca del proceso quedan luego de analizar los graficet y el diagrama de estados. Algunas de ellas pueden ser:

✓ **¿Qué ocurre si no hay producto dentro la tolva?**

Si la máquina está encendida y en marcha, realiza el ciclo principal normalmente, sin embargo, al no ser detectado el producto en la banda no habrá conteo de unidades por parte del sensor S1.

✓ **¿Qué pasa si ocurre una emergencia?**

En caso de ser accionado el pulsador de “paro de emergencia” ya sea que la máquina este en marcha o no, detiene el ciclo de forma inmediata y vuelve a la posición inicial y no se permite modificar ninguna de las opciones de producción hasta tanto no sea liberado. Como indicador visual un piloto de color rojo encenderá y apagará de forma intermitente.

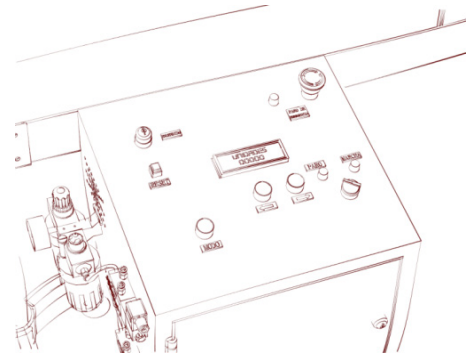
✓ **¿Qué pasa si hay unidades justo donde va a dosificar la máquina?**

No es posible dosificar. Es un caso remoto, dado que la banda esta accionada todo el tiempo y el sensor S1 se encuentre en estado de no detección, el es una condición para que la máquina arranque la producción. Es probable que el sensor requiera limpieza o haya perturbaciones en esta zona de la banda.

4.5.5 Diseño del tablero de control

Para tener claridad de la cantidad de pulsadores, selectores, pilotos y otros accesorios necesarios en un tablero de control capaz de comandar la máquina, sus funciones se mencionan a continuación:

Figura 43. Boceto del tablero.



✓ **Conmutador de llave:** Encendido de la máquina.

✓ **Conmutador entre “inicio” y “Paro”:** Permite al usuario poner en marcha la máquina (se acciona un piloto de color verde) o pararla al final del ciclo (se acciona un piloto de color rojo).

✓ **Pulsador “Modo”:** Se implementa con el fin de dar a la máquina la opción de interactuar con un mando electrónico, capaz de mostrar las variables más relevantes de la producción como la temperatura y la cantidad de unidades.

✓ **Pulsador de enclavamiento “Paro de emergencia”:** Pone la máquina en estado de emergencia (se acciona un piloto de color rojo de forma intermitente).

✓ **Pulsador flecha derecha “=>”:** Incrementa en 20 la cantidad de unidades de la parada automática programada.

✓ **Pulsador flecha izquierda “<=”:** Decrementa en 20 la cantidad de unidades de la parada automática programada.

✓ **Pulsador “Reset”:** La máquina es reiniciada borrando todas las variables y volviendo al estado inicial.

✓ **Display de visualización LCD:** Permite visualizar el estado de la máquina, el contador de unidades, temperaturas en algunos puntos y ver si la parada automática está programada.

Muchas de estas entradas de datos al sistema son necesarias debido a que se piensa en hacer fácil la producción y que los operadores puedan manipular la máquina sin inconvenientes y con gran destreza. Luego de conocer los dispositivos a ubicar en el tablero de control se procede a modelar el pupitre intentando ante todo funcionalidad, practicidad y estética ingenieril. En la figura 44 se puede ver el diseño final del tablero con todos los dispositivos que se mencionaron anteriormente.

Figura 44. Panel del tablero de control.



Figura 45. Modelo del tablero de control.



4.6 DISEÑO ELECTRÓNICO

Con el tablero de control se culmina el diseño de automatización y es necesario empezar una etapa de diseño electrónico de detalle.

4.6.1 Programa de control.

- **Algoritmo de programación y flujo grama.** Conociendo los estados, los actuadores y los sensores necesarios en el sistema, se procede a diseñar el algoritmo de programación elaborando el respectivo diagrama de flujo.

Inicialmente se muestra el flujo grama del ciclo principal (ver figura 47) en el que se observan las diferentes subrutinas a las que el programa irá a medida que testea la señales de los pulsadores. Este es el ciclo donde siempre estará corriendo el programa.

A continuación se presenta en la figura 46 la simbología usada para la elaboración de los diagramas de flujo que permitirá al lector una mejor comprensión de estos.

Figura 46. Convenciones usadas para los diagramas de flujo.

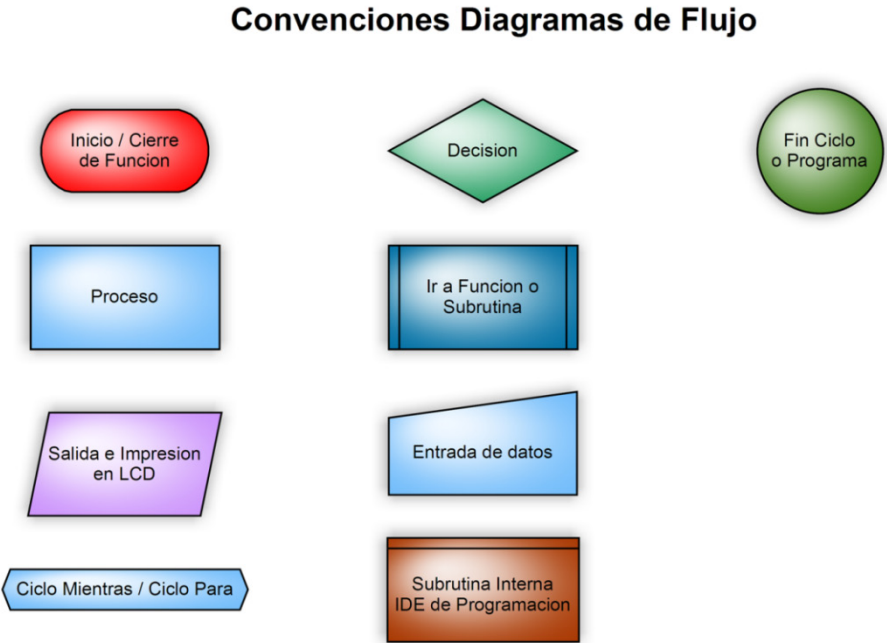
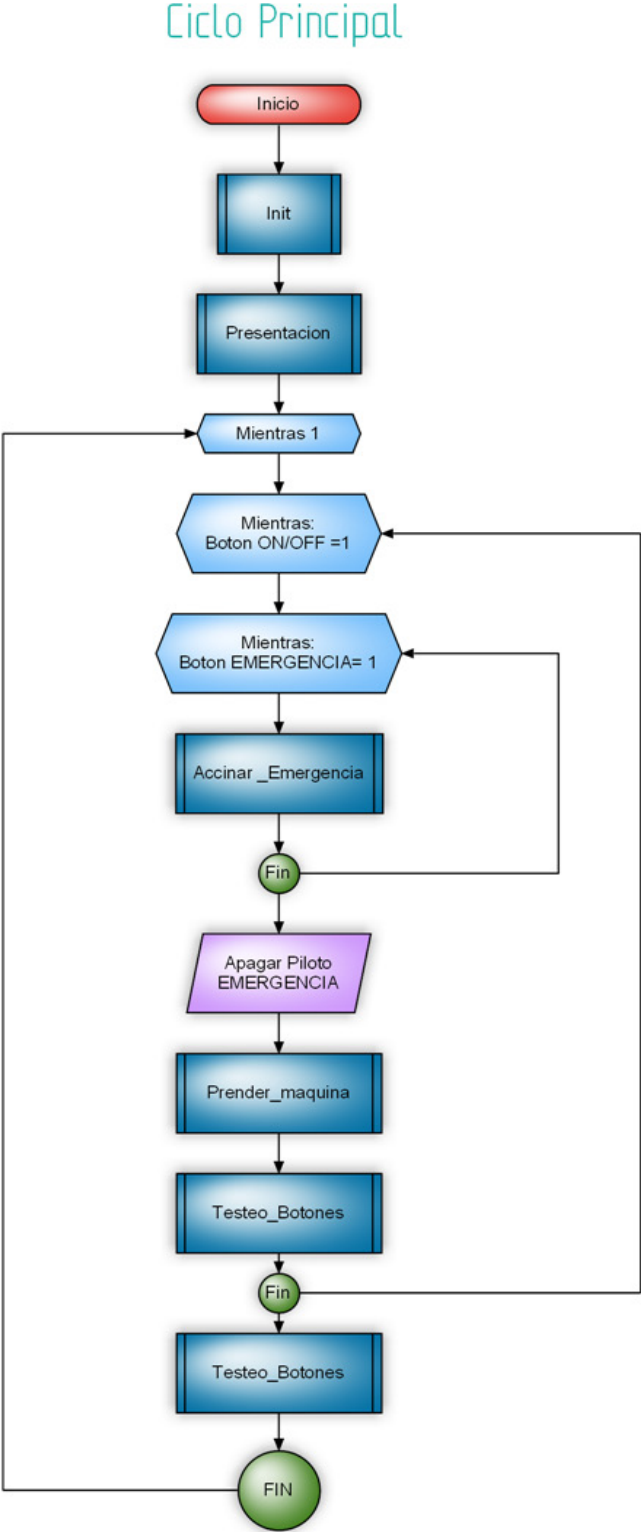
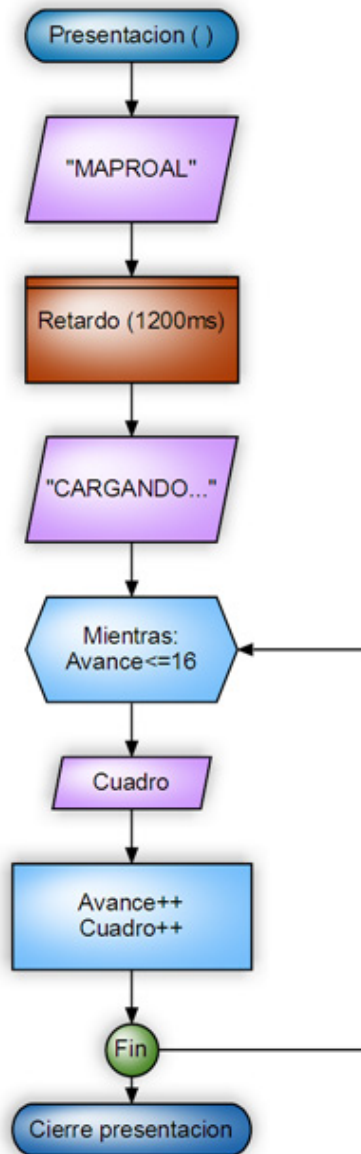


Figura 47. Diagrama de flujo ciclo principal.



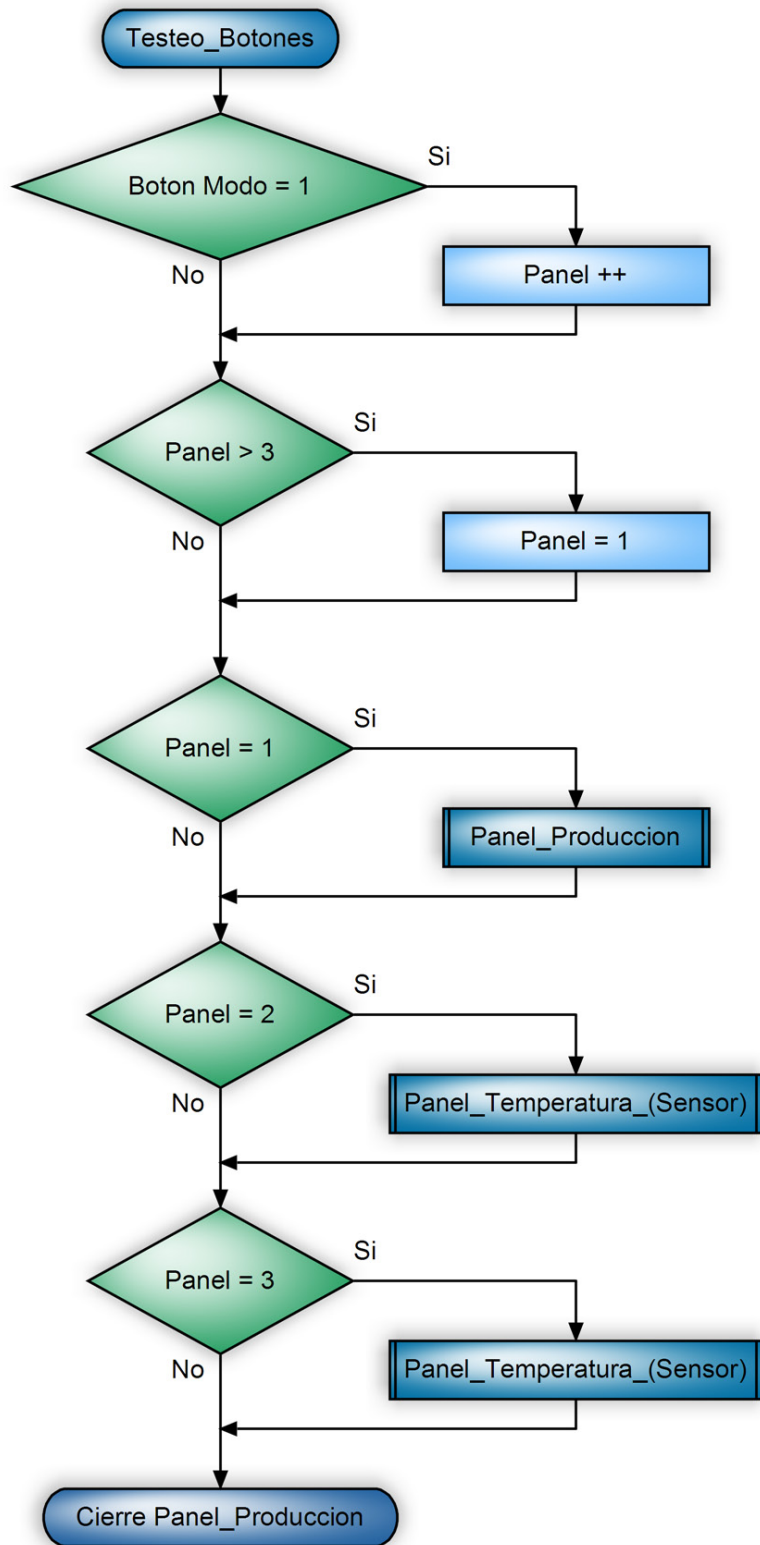
La primera subrutina que llama el CICLO PRINCIPAL es la de PRESTENACIÓN, ver figura 48, en la que se publica en la LCD el nombre de la empresa fabricante y el nombre de la máquina.

Figura 48. Diagrama de flujo subrutina presentación.



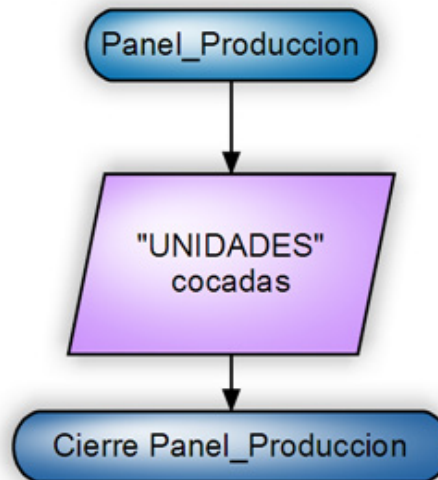
Al terminar el ciclo de presentación, el programa regresa al ciclo principal en donde llama la subrutina TESTEO_BOTONES, allí inicia el testeo de los pulsadores del tablero de control diseñado tal como se muestra en el algoritmo de la figura 49.

Figura 49. Diagrama de flujo Testeo_botones.



Como se explicó en el capítulo 4.5 el botón “MOD0” permite visualizar las variables, como la producción realizada o la temperatura de la mezcla dentro de la tolva. Para mostrar en el panel la producción se usa el algoritmo de la figura 48, donde la sub-rutina PANEL_PRODUCION realiza la publicación de la variable “**COCADAS**”.

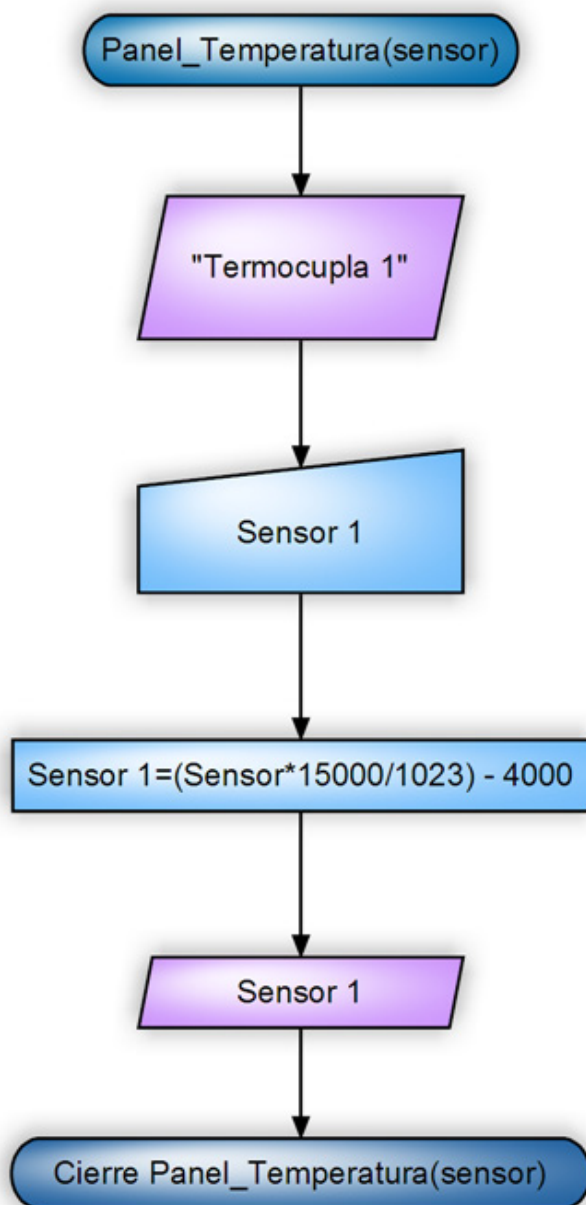
Figura 50. Diagrama de flujo Panel_Produccion.



Para mostrar la temperatura de la mezcla se usa el algoritmo de la figura 51. Donde muestra la publicación de la variable “**SENSOR1**”.

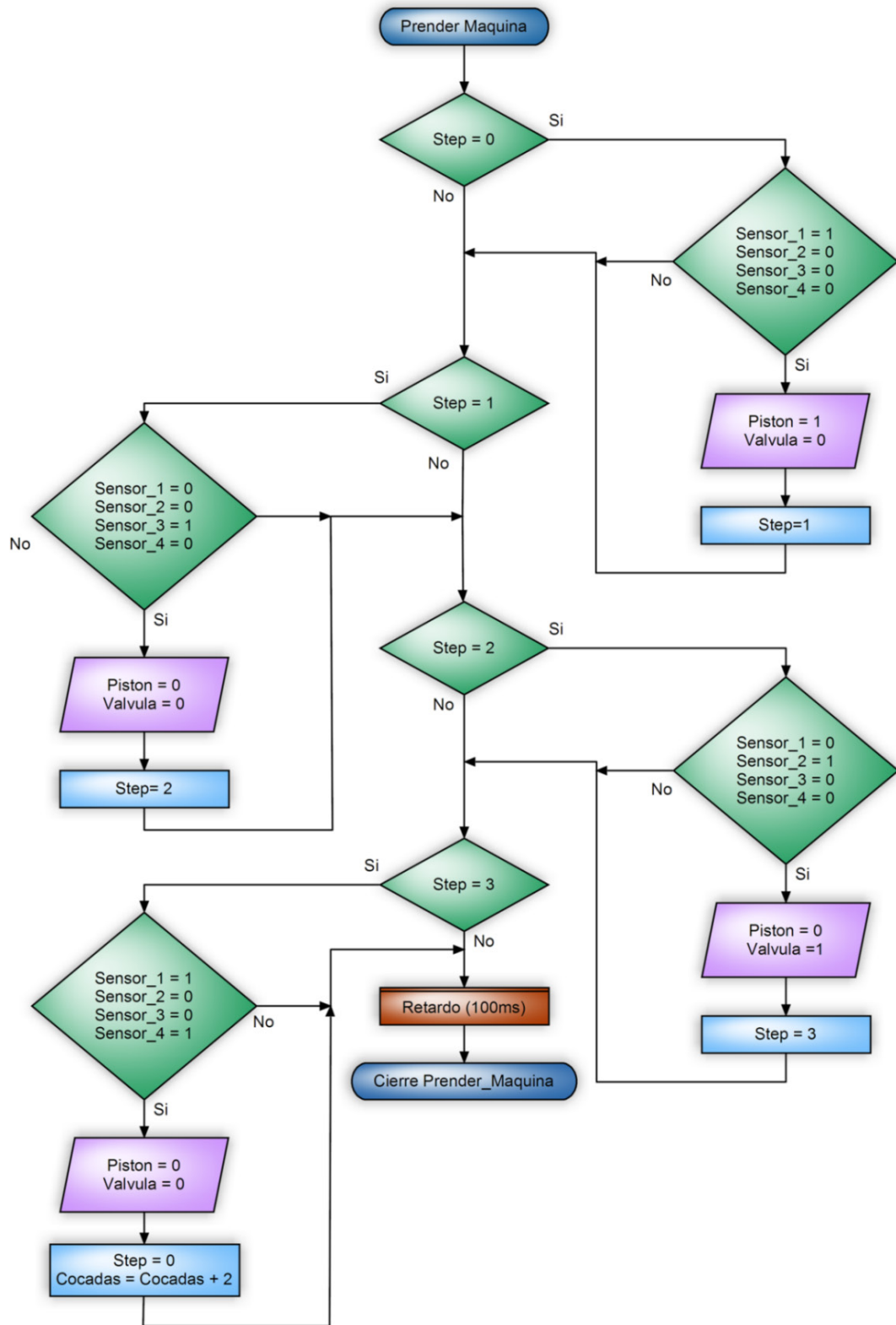
En la subrutina o función Panel_Temperatura(Sensor) se realiza específicamente una operación matemática con la variable (sensor) que captura la señal análoga captada por el dispositivo de control. Dicha operación es lineal debido a que la señal capturada debe ser linealizada, por lo que la variable “sensor” es multiplicada por la constante 15000, que es la cantidad de veces que se amplifica la señal digitalmente y se divide entre 1023, debido a que es la resolución que se desea manejar en la conversión ADC. A este resultado se le suma la temperatura mínima con la que se desea trabajar, para este caso -4000, que equivale a empezar la medición en -40°C, este resultado es el que se asigna a la variable “sensor 1” y se publica en la LCD aproximadamente cada 800mseg.

Figura 51. Diagrama de flujo Panel_Temperatura (sensor).



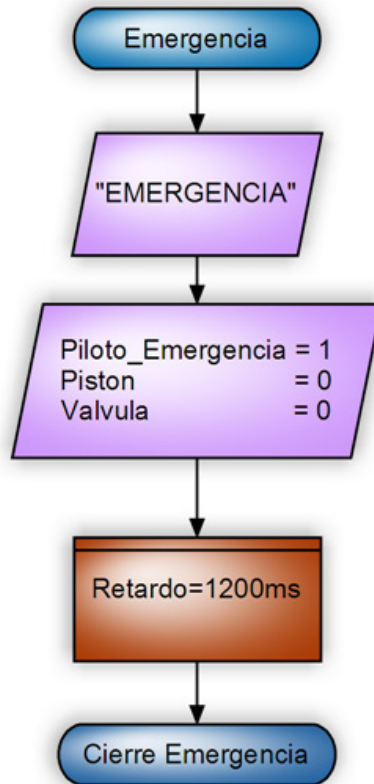
Al iniciar la producción es decir, al mover el interruptor de "PARO" a "MARCHA" el algoritmo del ciclo principal llama a la subrutina PRENDER_MÁQUINA, ver figura 52, en la que los actuadores comienzan a funcionar de acuerdo a las señales de los sensores y al proceso planteado en el diseño de automatización (capítulo 4.5).

Figura 52. Diagrama de flujo Prender máquina.



Al presionar en cualquier instante el pulsador de enclavamiento “PARADA DE EMERGENCIA” el programa llama a la subrutina ACCIONAR_EMERGENCIA, en la que todos los actuadores vuelven a posición inicial y esperan allí hasta que sea desenchavado el pulsador, el algoritmo diseñado se presenta en la figura 53.

Figura 53. Diagrama de flujo Emergencia.



• **Dispositivo y lenguaje de programación.** Teniendo el diseño del algoritmo de programación y conociendo los actuadores y sensores necesarios se hace la selección del dispositivo más apropiado y del lenguaje de programación.

Para sujetarse al presupuesto disponible lo más apropiado es la implementación de un micro controlador y el diseño de un circuito electrónico capaz de interactuar con los actuadores del sistema. Existen varias alternativas de micro-controladores que se pueden seleccionar.

➤ **Alternativa 1. Microcontrolador Freescale 68HC908GP32:** Los micro-controladores de la familia 68HC908 son dispositivos fabricados por Motorola, cuentan con modos de direccionamiento nuevos que facilitan el diseño de compiladores de lenguajes de alto nivel, en cuanto a hardware todos contienen puertos binarios, memorias RAM y FLASH, además de periféricos de uso frecuente en instrumentación y control tales como: Temporizador, convertidor A/D, puerto serie asíncrono e interfaz USB, el GP32 a pesar de ser comercial presenta inconvenientes a la hora encontrar un software de simulación con una licencia económica y un kit de desarrollo asequible. Otra de sus ventajas es que es bastante robusto a perturbaciones por campos magnéticos.

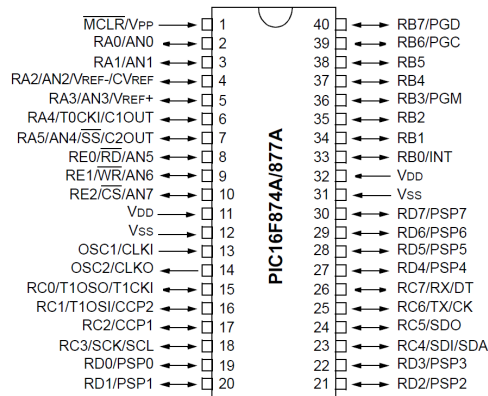
➤ **Alternativa 2. Microcontrolador Microchip PIC 16F877A:** Entre principales características están: Núcleos de CPU de 8/16 bits con Arquitectura Harvard modificada, Memoria Flash y ROM disponible desde 256 bytes a 256 kilobytes, Puertos de E/S (típicamente 0 a 5,5 voltios), Temporizadores de 8/16 bits, Periféricos serie síncronos y asíncronos: USART, AUSART, EUSART, Conversor analógico/digital de 8-10-12 bits, Comparadores de tensión, Módulos de captura y comparación PWM, Controladores LCD, Periférico MSSP para comunicaciones I²C, SPI, y I²S. Su licencia para la simulación en PROTEUS VSM es una de las más económicas del mercado, además de que está incluido en el kit de desarrollo de MIKRO ELECTRONIKA.

➤ **Alternativa 3. Microcontrolador Atmel-AVR ATmega32:** El AVR es una CPU de arquitectura Harvard. Tiene 32 registros de 8 bits, y características muy similares al PIC 16f877 debido a que funcionan bajo la misma arquitectura. Por otro lado una de sus desventajas, es que son más difíciles de conseguir en el mercado a pesar que muchas de las IDE de programación son gratuitas o muy económicas.

A pesar de que las tres alternativas suplen las necesidades del proyecto, se decide descartar la alternativa 3 debido a que estos micro-controladores son de los que menos conocimiento se tiene y son más difíciles de conseguir. Por otro lado la alternativa 1 se descarta debido a que no se cuenta con un kit de desarrollo ni un software de simulación que permita una programación eficiente.

Debido a la disponibilidad del *software* para simulación, el programador y simplicidad en el manejo, se utiliza la alternativa 2, un MICROCONTROLADOR PIC 16F877A.

Figura 54. Microcontrolador PIC 16f877A.



El lenguaje de programación seleccionado es **C** debido a que es un lenguaje de nivel medio-alto, es decir; se logra una fácil programación y es eficiente con el código que produce. **C** al igual que otros lenguajes de programación de nivel medio-alto, es idóneo para la creación de sistemas operativos y desarrollo de *firmware*. En la figura 55 se puede ver el balance de memoria RAM (43%) y ROM (59%) que se usa en la compilación del programa.

Figura 55. Estadísticas de memoria usada.



Estructuración I/O. Luego de Escoger el dispositivo autómeta (PIC 16F877A), se estructuran las entradas y salidas, ver cuadro 5, teniendo en cuenta las especificaciones técnicas del microcontrolador de la siguiente forma:

Cuadro 5. Estructuración de entradas y salidas del microcontrolador.

PUERTO	PIN	BIT	MODO (I/O)	FUNCIÓN	A/D
Puerto A	2	0	Entrada	Termocupla 1	Análogo
	3	1	Entrada	Termocupla 2	Análogo
	4	2	Entrada	Sensor Réflex óptico S1	Digital
	5	3			
	6	4	Entrada	Botón <<	Digital
	7	5	Entrada	Botón >>	Digital
Puerto B	33	0	Entrada	Paro de Emergencia (NC)	Digital
	34	1	Entrada	Conmutador PARO / MARCHA	Digital
	35	2	Entrada	Botón MODO	Digital
	36	3	Entrada	Final de carrera B1	Digital
	37	4	Entrada	Sensor Magnético A1	Digital
	38	5	Entrada	Sensor Magnético A2	Digital
	39	6	Entrada	Sensor Magnético A3	Digital
	40	7	Entrada	Final de carrera B2	Digital
Puerto C	15	0	Salida	Electroválvula 1 (Válvula de bola)	Digital
	16	1	Salida	Electroválvula 2 (Pistón)	Digital
	17	2	Salida	Relé 1	Digital
	18	3	Salida	Relé 2	Digital
	23	4	Salida	Piloto 1	Digital
	24	5	Salida	Piloto 2 (Emergencia)	Digital
	25	6			
	26	7			
Puerto D	19	0	Salida	RW / LCD	Digital
	20	1			
	21	2	Salida	RS / LCD	Digital
	22	3	Salida	E / LCD	Digital
	27	4	Salida	D4 / LCD	Digital
	28	5	Salida	D5 / LCD	Digital
	29	6	Salida	D6 / LCD	Digital
	30	7	Salida	D7 / LCD	Digital
Puerto E	8	0	Entrada	Piloto 3 (Marcha)	Digital
	9	1	Entrada	Piloto 4 (Paro)	Digital
	10	2			

4.6.2 Acondicionamiento electrónico. Debido a que el micro controlador PIC 16F877A funciona a 5 voltios DC y los actuadores del sistema manejan voltajes más elevados es necesario acondicionar sus salidas y las entradas del “micro” con un adecuado circuito electrónico; por otro lado la señal de la termocupla es un voltaje proporcional con la temperatura y en el rango de los mili-voltios, por esta razón es necesario disponer su señal con un circuito y conectarlo al *Conversor Análogo - Digital* del PIC. “En un termopar, la señal de salida es de unos cuantos milivoltios. Si la señal se va a alimentar a un convertidor analógico a digital para después entrar a un microprocesador, será necesario amplificarla en forma considerable a volts en lugar de milivoltios. En la amplificación es muy común utilizar amplificadores operacionales”¹⁴.

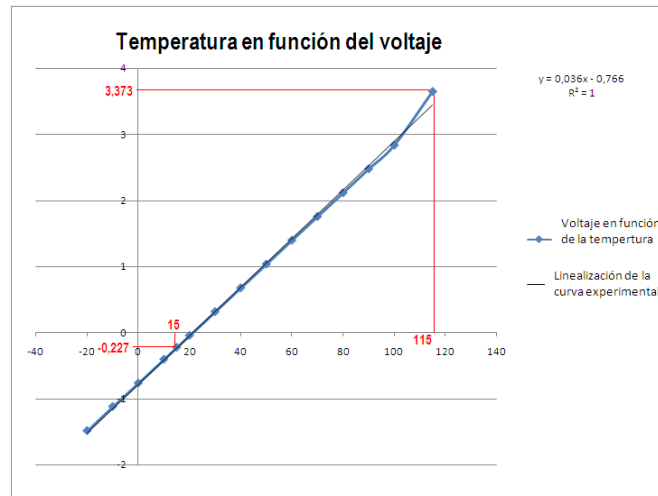
- **Termocupla.** Para testear la temperatura de la mezcla que se encuentra en la tolva se implementa una Termocupla Tipo **K** ya que está maneja una rango de temperatura bastante amplio, entre los -80 y 120 grados centígrados, además tiene un comportamiento aproximadamente lineal.

Cuadro 6. Datos termocupla

TERMOCUPLA TIPO K		
	T (°C)	V(mV)
	-20	-1,489
	-10	-1,122
	0	-0,767
	10	-0,407
	15	-0,227
	20	-0,047
	30	0,313
	40	0,674
	50	1,0333
	60	1,395
	70	1,754
	80	2,113
	90	2,475
	100	2,834
	115	3,647

¹⁴ BOLTON, William. Mecatrónica. Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica. México: Alfaomega, 2006. p. 55.

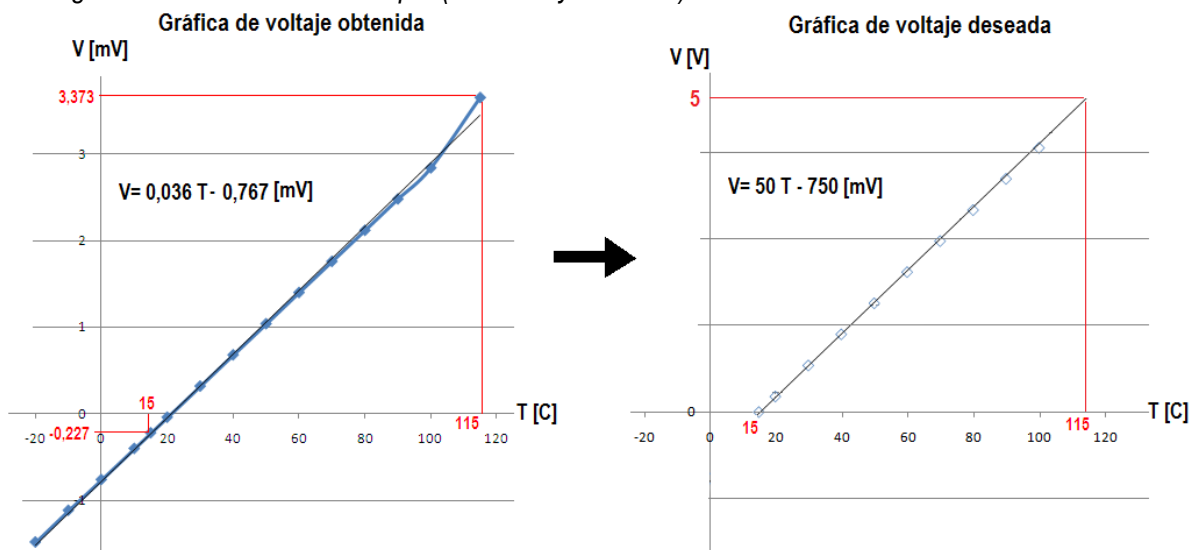
Figura 56. Datos y gráfica de termocupla.



Teniendo la termocupla, se elabora la gráfica de su comportamiento y con ella se obtiene la ecuación linealizada. La grafica obtenida es muy similar al comportamiento de las termocuplas tipo k ilustrado por W.Bolton¹⁵.

Teniendo la gráfica del comportamiento y su linealización $V = 0,036 T - 0,767 \text{ [mV]}$, se desea acondicionar la señal para obtener un voltaje de salida, para un rango de 15 a 115 grados centígrados, de 0 a 5 voltios (0 a 5000 mV), ver figura 57, ya que esta es la entrada que admite el micro controlador para A/D con una resolución de 204 Bits por cada mili-voltio.

Figura 57. Gráfica de termocupla (obtenida y deseada).



¹⁵ Ibid., p. 46. Figura 2.55.

Como se observa en la figura 57 el voltaje deseado es: $V_{deseado} = 50 T - 750 \text{ [mV]}$

Para iniciar el diseño del acondicionador de señal se calcula la ganancia requerida:

$$A_{v_{total}} = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_{in}} = \frac{5000 - 0}{3,373 - (-0,227)} = 1388,88$$

Con una ganancia total de 1388,88 se decide dividirla en 3 etapas ya que es recomendable que la ganancia absoluta no sea mayor a 20: $|A_v| \leq 20$

Así las etapas quedan de la siguiente forma: Etapa 1: $A_{v1} = 20$

Etapa 2: $A_{v2} = 20$

Etapa 3: $A_{v3} = 3,4722$

$$A_{v_{total}} = A_{v1} * A_{v2} * A_{v3} = 20 * 20 * 3,4722 = 1388,88$$

Figura 58. Circuito amplificador inversor

✓ Etapa 1 amplificador inversor:

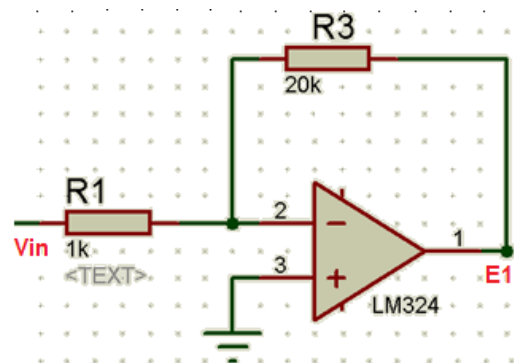
$$A_{v1} = \frac{R3}{R1} = -20$$

$$R3 = 20 * R1$$

Seleccionando $R1 = 1 \text{ K}\Omega$

$$R3 = 20 \text{ K}\Omega$$

Ambas resistencias comerciales.



Para esta primera etapa el voltaje de salida E1 es:

$$E1 = -\frac{R3}{R1} V_{in}$$

Donde $V_{in} = 0.036 T - 0.767 \text{ [mV]}$

Reemplazando: $E1 = -20(0,036 T - 0.767) [mV]$

✓ **Etapa 2 amplificador no inversor:**

Teniendo la primera etapa, el voltaje de salida de esta **E1** es el voltaje de entrada de la segunda etapa.

Figura 59. Circuito amplificador no inversor

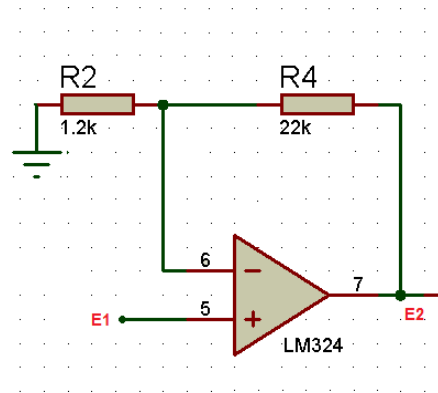
$$A_{v1} = \frac{R2 + R4}{R2} = 20$$

$$R4 = 19R2$$

Seleccionando $R2 = 1.2 K\Omega$

$R4 = 22.8 K\Omega$, Resistencia comercial más cercana

$R4 = 22 K\Omega$.



Con esta segunda etapa el voltaje de salida E2 queda:

$$E2 = 20(E1) = 20(-20(0,036 T - 0.767)) [mV]$$

$$E2 = -14.4 T + 306.8 [mV]$$

✓ **Etapa 3 amplificador sumador:**

La ganancia para esta configuración está dada por: $A_{v3} = \frac{R6}{R5}$ si $R5$ es igual a $R7$.

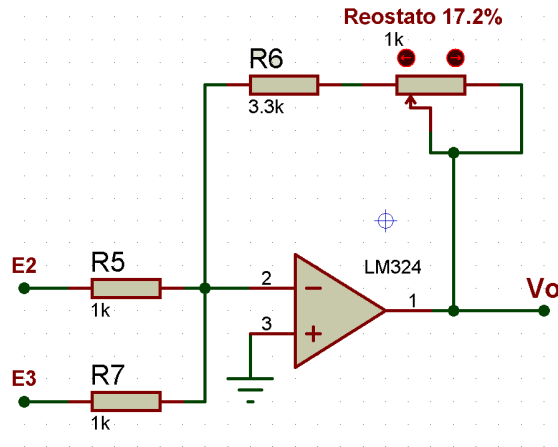
Seleccionando $R5$ y $R7 = 1 K\Omega$:

$$A_{v3} = \frac{R6}{1K\Omega} = 3,4722$$

$$R6 \approx 3,47 K\Omega$$

Para lograr la mayor precisión en el sitio de R6 se utiliza una resistencia de 3,3 K Ω y un reóstato lineal de 1K Ω conectado en serie y calibrado al 17.2%.

Figura 60. Circuito amplificador sumador



El voltaje de salida para esta configuración está dado por $V_o = -A_{v3}(E2 + E3)$, es decir, este además es un circuito inversor.

Conociendo la ecuación del voltaje deseado $V_{deseado} = 50 T - 750 [mV]$ se puede reemplazar para hallar el valor de E3 (ver figura 60).

$$50 T - 750 = -A_{v3}(E2 + E3)$$

$$50 T - 750 = -3.4722((-14.4 T + 306.8) + E3)$$

$$E3 = \frac{-1065.3 + 750}{3.4722} = -90.8 mV$$

Para seleccionar la alimentación del circuito integrado LM324, es conveniente que el máximo voltaje utilizado corresponda al 60% aproximadamente del voltaje de alimentación:

$$\frac{V_{max}}{60\%} = \frac{5 V}{0.6} = 8.33 V$$

Es decir, 8.33 voltios es la mínima alimentación que deben tener los amplificadores. Por tal motivo se alimentan los circuitos integrados amplificadores con 12 Vdc en la pata número 4 y -12 Vdc en la 11, para tener cierto rango de confiabilidad, en caso de una caída ocasional de voltaje.

Se observa que debido al comportamiento inversor del circuito, se debe sumar un voltaje negativo, para obtener este voltaje se utiliza la fuente de -12 Vdc y realizando un divisor de voltaje.

El divisor de voltaje es entonces:

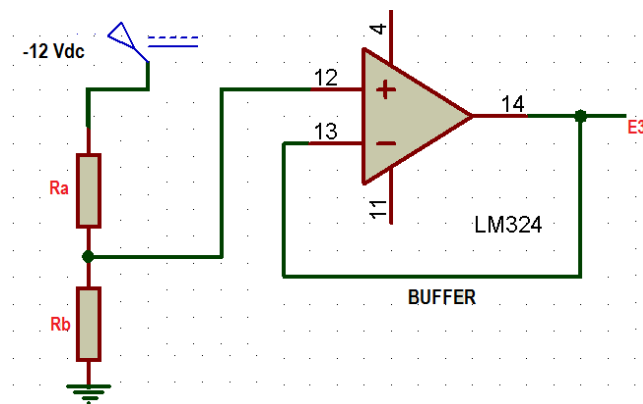
$$E3 = -90.8 = \frac{-12000 \text{ mV} * Rb}{Ra + Rb}$$

Seleccionando $Ra = 1 \text{ K}\Omega$ y reemplazando:

$$-90.8 = \frac{(-12000)Rb}{1000 + Rb}$$

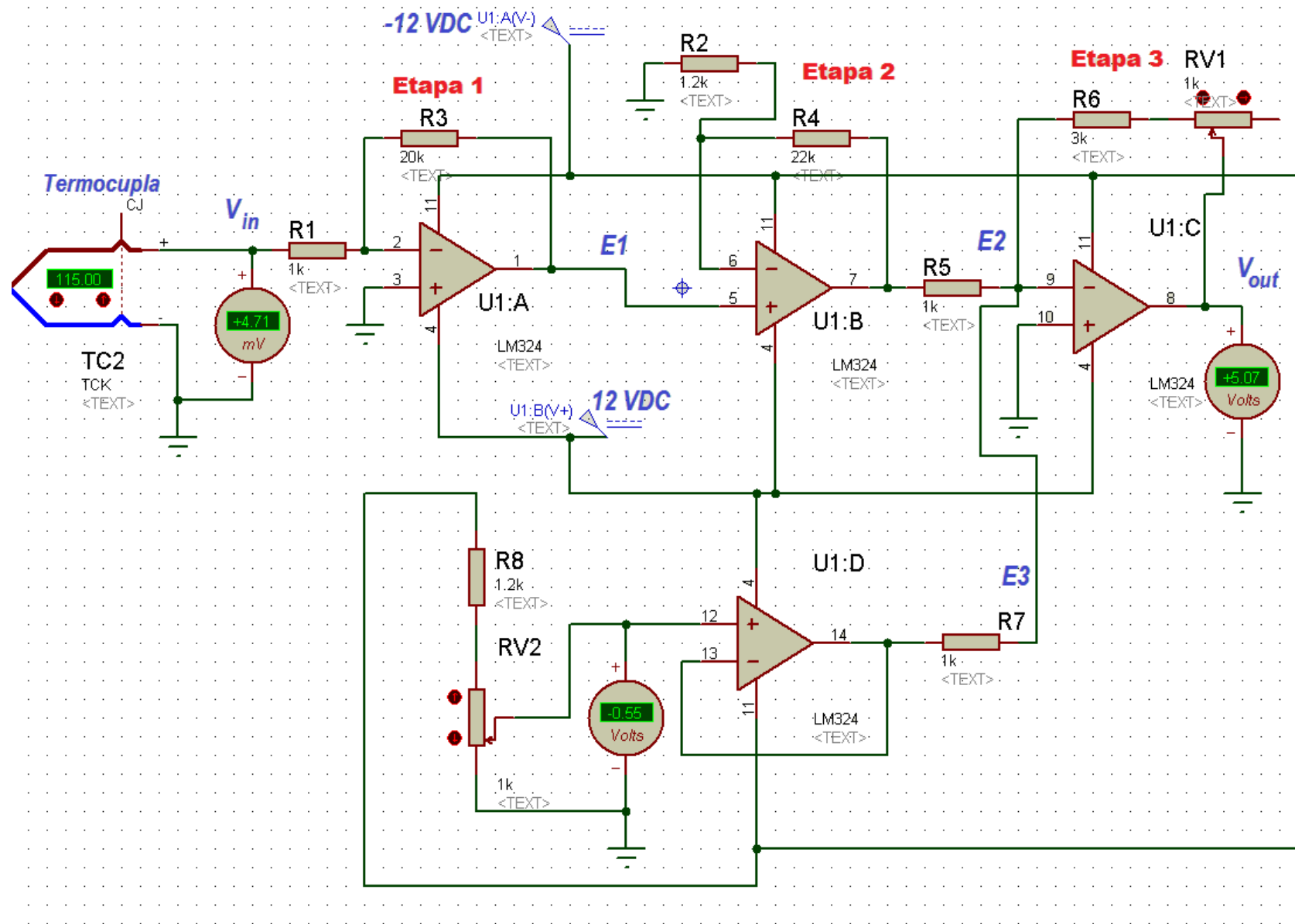
$$Rb \approx 7.62 \text{ }\Omega$$

Figura 61. Circuito divisor y buffer.



Rb se logra con un reóstato lineal para mayor precisión. Además como se observa en la figura 61 el divisor de voltaje lleva su respectivo BUFFER para el correcto acoplamiento de impedancias.

Figura 62. Simulación del circuito completo del acondicionador de señal de la termocupla tipo K.



- **Entradas digitales.**

➤ **Interruptores Industriales.** En la automatización del proceso es necesario implementar pulsadores y conmutadores industriales cuyo circuito de acondicionamiento hacia el microcontrolador se muestra más adelante en este mismo capítulo.

➤ **Sensores Magnéticos.** Como se evidenció en la automatización del proceso se implementan sensores magnéticos tipo interruptor RCI marca *Mindman*, idóneos para funcionar como finales de carrera en cilindros neumáticos. Aunque son mucho más costosos que los finales de carrera de rodillo convencionales es necesario implementarlos debido a que el émbolo plástico que es impulsado por el cilindro tiene contacto directo con la mezcla y no es posible ubicarlos con facilidad en la parte inferior del cilindro para evitar contaminación.

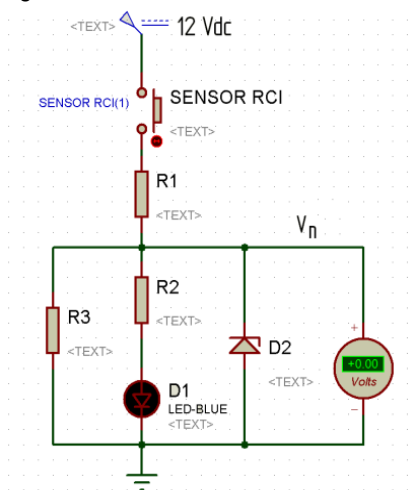
Figura 63. Sensor final de carrera.



Fuente: Compañía Mindman¹⁶

El circuito de acondicionamiento para los sensores RCI y los interruptores se muestra en la figura 64:

Figura 64. Circuito acondicionador de finales de carrera



El microcontrolador PIC 16F877A, quien captura las señales digitales y análogas de todas las entradas que se evidencian en el cuadro 5, trabaja a 5VDC por lo que estas deben ser acondicionadas a dicho voltaje.

Los sensores RCI trabajan con normalidad en un rango de voltajes comprendido entre 6 y 235 VDC/AC por lo que el voltaje que se decide para estos dispositivos es de 12VDC,

¹⁶ MINDMAN. Sensor switch RCI. [En línea]. Taiwan, sf. [citado en 30 de Agosto de 2009]. Disponible en: versión HTML. http://www.mindman.com.tw/en/prod_size.php?itemid=185

porque es un voltaje bajo y el acondicionador de las termocupas es alimentado por este voltaje.

Con el circuito de la figura 62 se pretende diseñar un divisor de voltaje capaz de bajar de 12 a 5 Vdc en el nodo R1 - R2 con protección a sobre voltaje y testigo visual (LED), como es bien sabido un LED estándar verde necesita 2.3 V para encender y consume 15mA aproximadamente, por lo que las resistencias R1, R2 y R3 se calculan de la siguiente forma:

Por ley de Ohm la resistencia R2 debe ser la diferencia de voltajes entre el nodo *n* (*debe haber 5v*) y tierra, dividido entre la corriente que consume el *led*.

$$R_2 = \frac{V_n - V_{diodo}}{I_{diodo}}$$

$$R_2 = \frac{5\text{ V} - 2.3\text{V}}{15\text{mA}} = 180\ \Omega$$

Se usa una resistencia comercial de **R2 = 220 Ω**

La resistencia R1 se calcula resolviendo el circuito por el método de los nodos, despejando el voltaje en el nodo *n* (V_n).

$$V_n = \frac{V_F \cdot [R_2 + (\frac{V_{diodo}}{I_{diodo}})]}{(\frac{V_{diodo}}{I_{diodo}}) + R_1 + R_2}$$

Teniendo en cuenta que el voltaje en el nodo *n* debe ser 5V, que es el voltaje que llega al microcontrolador en modo de entrada.

$$5\text{ V} = \frac{12\text{ V} \cdot [220\Omega + (\frac{2.3\text{V}}{15\text{mA}})]}{(\frac{2.3\text{V}}{15\text{mA}}) + R_1 + 220\Omega}$$

Despejando R1 se tiene:

$$R_1 = \frac{1568}{3} = 522.66\ \Omega$$

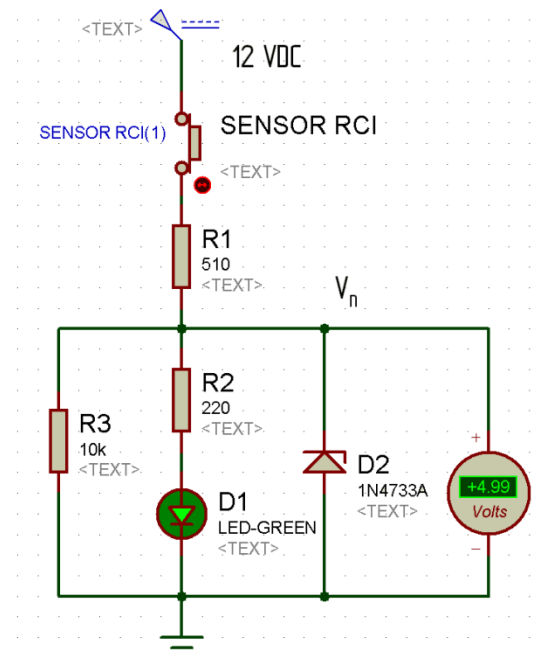
Se usa una resistencia comercial de $R1 = 510 \, \Omega$, debido a que si se usa la de $560 \, \Omega$, se corre el riesgo de perder voltaje. Al usar $R1 = 510 \, \Omega$ se hace necesario usar un diodo *zener* de 5.1 Voltios en paralelo al nodo n , con el fin de implementar una protección por sobre-voltaje, debido a que el microcontrolador es quizás el elemento que más importante de toda la máquina y uno de los más frágiles teniendo en cuenta que trabajará en un ambiente industrial.

Teniendo en cuenta que la corriente que circula por la resistencia R2 no es superior a 20mA se selecciona un **diodo Zener D2= 1N4733A** el cual trabaja a 5.1V y soporta hasta 49mA.

Figura 65. Simulación circuito acondicionador

La resistencia R3 se usa únicamente para hacer conexión a tierra y asegurar que mientras el sensor o interruptor no esté accionado, envíe 0V al nodo n , el valor de la resistencia R3 se escogió de forma que al hacer paralelo con la resistencia R1 y el led D1 no modificara la impedancia en el nodo n , es decir $R3 \gg R1 + R_{diodo}$, por esto $R3 = 10 \, k\Omega$.

En la figura 65. Se puede ver el circuito simulado con todos los dispositivos que se seleccionaron.



- **Salidas digitales.**

Las salidas del sistema son específicamente actuadores y pilotos (excepto por el *display* LCD) como se puede ver en el cuadro 6. Todos estos dispositivos son accionados on-off, el único inconveniente es que la corriente y voltaje que provee el microcontrolador no son suficientes para accionar los actuadores.

En la automatización de procesos industriales normalmente se manejan 24VDC o altos voltajes como 110VAC o 220VAC para el accionamiento de actuadores, Pero debido a que ya se ha

manejado una fuente de 12VDC en el diseño de las entradas al microcontrolador, es conveniente considerar usar el mismo voltaje para esta tarea.

Específicamente las salidas del sistema y sus características se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 6. Características de las salidas del sistema

Dispositivo	Unidades	Marca	Voltaje	Potencia disipada
Válvulas Electro-neumáticas 5/2	2	Air-tac	12 VDC	3 Watt
Relé trifásico 250VAC	1	Autonics	12 VDC	1.6 – 2.2 Watt
Piloto 12mm tipo LED	3	Genérico	12 VDC	33 mWatt

Teniendo en cuenta los anteriores dispositivos a usar, el que más potencia requiere para ser accionado es la Válvula Electro-neumática 5/2, se decide diseñar un amplificador de corriente y de voltaje que supla las necesidades de esta, y podrá ser implementado para todos los demás dispositivos.

Figura 66. Circuito acondicionador para solenoide

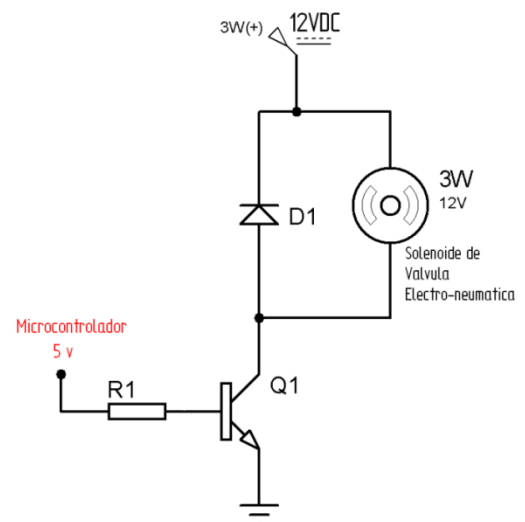
Antes de iniciar el cálculo es necesario conocer la corriente máxima y voltaje que puede proveer un microcontrolador PIC 16F877A en modo de salida.

Según se evidencia en la hoja de especificaciones técnicas del mencionado microcontrolador las condiciones iniciales son:

$$P_{carga} = 3 \text{ W}$$

$$V_{carga} = V_{CE} = 12 \text{ V}$$

$$I_{in}(\text{max}) = 25\text{mA}$$



En la figura 64. Se puede ver el diseño que se implementa con un transistor, el cual permite ganar corriente y al mismo tiempo relevar el voltaje. Así entonces se procede a seleccionar el transistor para trabajar en corte y saturación.

$$I_{carga} = I_c = \frac{3 W}{12 V} = 250 mA$$

Debido a que la ganancia de corriente no es excesiva se puede usar un transistor con un β relativamente bajo, pero con alta disipación de potencia para evitar sobrecalentamientos del dispositivo, en el futuro.

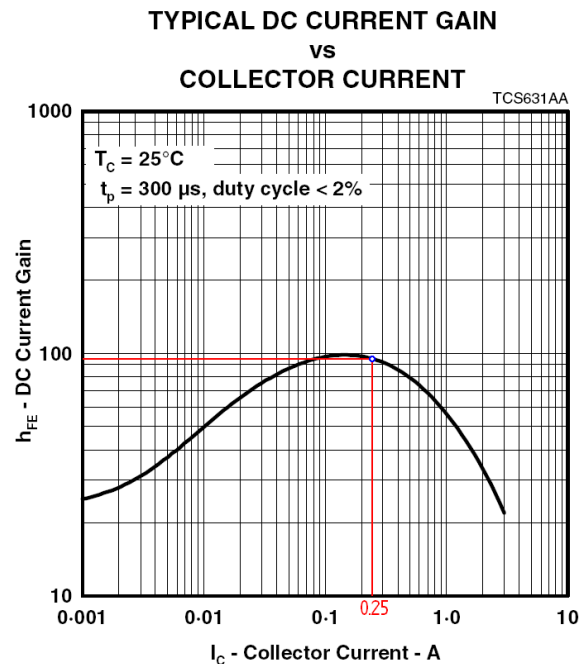
Así pues el transistor seleccionado es el **TIP31C** el cual tiene como características principales.

Figura 67. Gráfica ganancia y corriente de colector

Para conocer el valor aproximado de β_{tran} con las condiciones ya mencionadas y una temperatura ambiente entre 20 y 25°C, se puede ver en la gráfica de la figura 67:

Aproximadamente según la gráfica con una $I_c = 0.25A$, $h_{FE} = \beta_{tran} \approx 96$

Si se desea usar un *factor de sobreexcitación* (F.S) = 3, debido a que no es una aplicación en la cual esté en riesgo la integridad física de los operadores de la máquina pero se requiere cierta fidelidad del dispositivo.



Fuente: Compañía Bourns¹⁷.

$$F.S = 3 = \frac{\beta_{tran}}{\beta_{sat}} = \frac{96}{\beta_{sat}}$$

¹⁷ BOURNS. Tip31 NPN silicon power transistors. [En línea], United States, sf. [Citado en 05 de agosto de 2009]. Disponible en: versión PDF. <http://www.bourns.org/data/global/pdfs/tip31.pdf>

$$\beta_{sat} = \frac{96}{3} = 32$$

Conocida la corriente de colector (I_c) y β_{sat} , se despeja la corriente necesaria en la base del transistor para saturarlo.

$$I_c = \beta_{sat} * I_B$$

$$I_B = \frac{I_c}{\beta_{sat}} = \frac{0.25 A}{32} = 7.81 mA$$

Para conocer el valor de la resistencia R1, se resuelve la malla de la base-emisor del transistor.

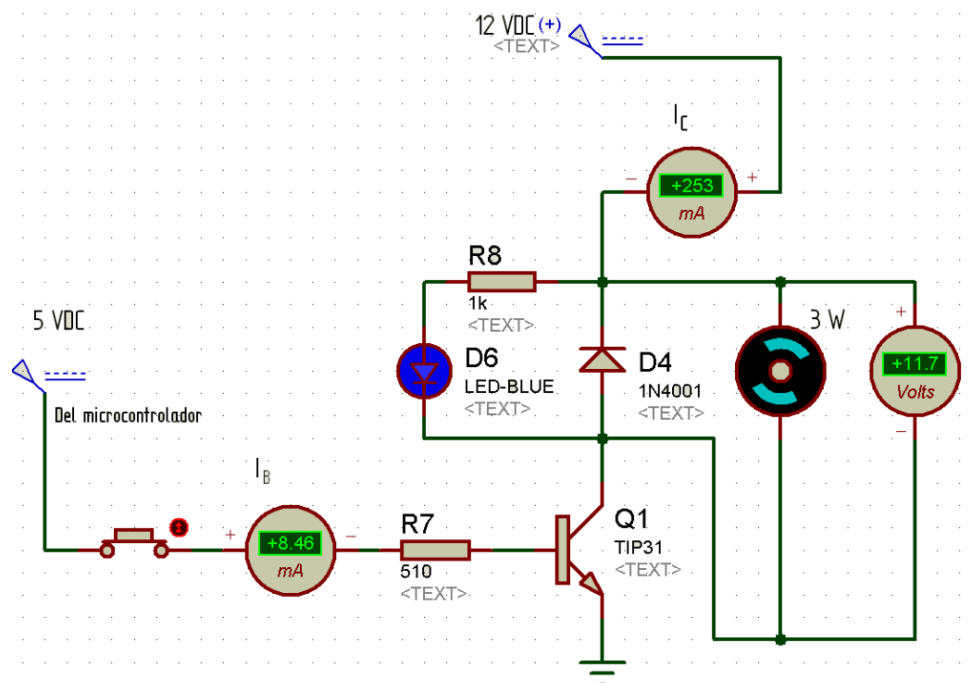
$$0 = 5 V - (I_B * R_1) - 0.7 V$$

$$R_1 = \frac{5 V - 0.7 V}{7.81 mA} = 550,5 \Omega$$

Se selecciono una resistencia comercial de $R_1 = 510 \Omega$

A continuación se muestra el circuito simulado.

Figura 68. Simulación del circuito acondicionador del solenoide de la electro-válvula 5-2.



4.6.3 Simulación, Esquemáticos y PCB

Para finalizar el proceso de diseño se simulan todas las etapas de los circuitos y la programación del microcontrolador. La simulación y diseño del circuito electrónico se lleva a cabo en la *suite* de diseño PROTEUS VSM v7.6, de la empresa *LABCENTER ELECTRONICS*, que permite la generación de PCB con base al esquemático previamente simulado.

PROTEUS VSM es un *software* licenciado con paquetes de diseño académicos y comerciales, que varían su costo dependiendo de la cantidad de herramientas que ofrecen. *LABCENTER ELECTRONICS* se ha encargado de crear *kits* de desarrollo económicos para aquellos diseñadores que solo necesitan ciertas herramientas y no desean pagar más, para este caso en específico que solo se requiere el módulo de simulación para PIC16 (que es uno de los kits más económicos que ofrece de micro-controladores) y la aplicación ARES (para diseño del PCB) con la opción de Auto-ruteado basado en el estándar ANSI IPC 2221, ya que de esta forma se ahorra bastante tiempo en el proceso de diseño, simulación, y esquematizado de el circuito.

Para el diseño de un circuito con las características ya mencionadas se requiere una licencia del *software* bastante sencilla con las aplicaciones *Proteus PCB Design Level 2+*, que permite el diseño del PCB hasta con un número máximo de 2000 patas, *Auto-routimg*, y vista 3D del circuito, entre otras. Viene equipado también con *Proteus VSM Starter Kit for PIC*, que permite la simulación de componentes básicos de electrónica, además del paquete de simulación de los micro-controladores PIC de la familia 16FXXX y algunos de los 18FXXX (ver cotización del software con licencia comercial en el anexo I).

Figura 69. Simulación digital del circuito en PROTEUS VSM.

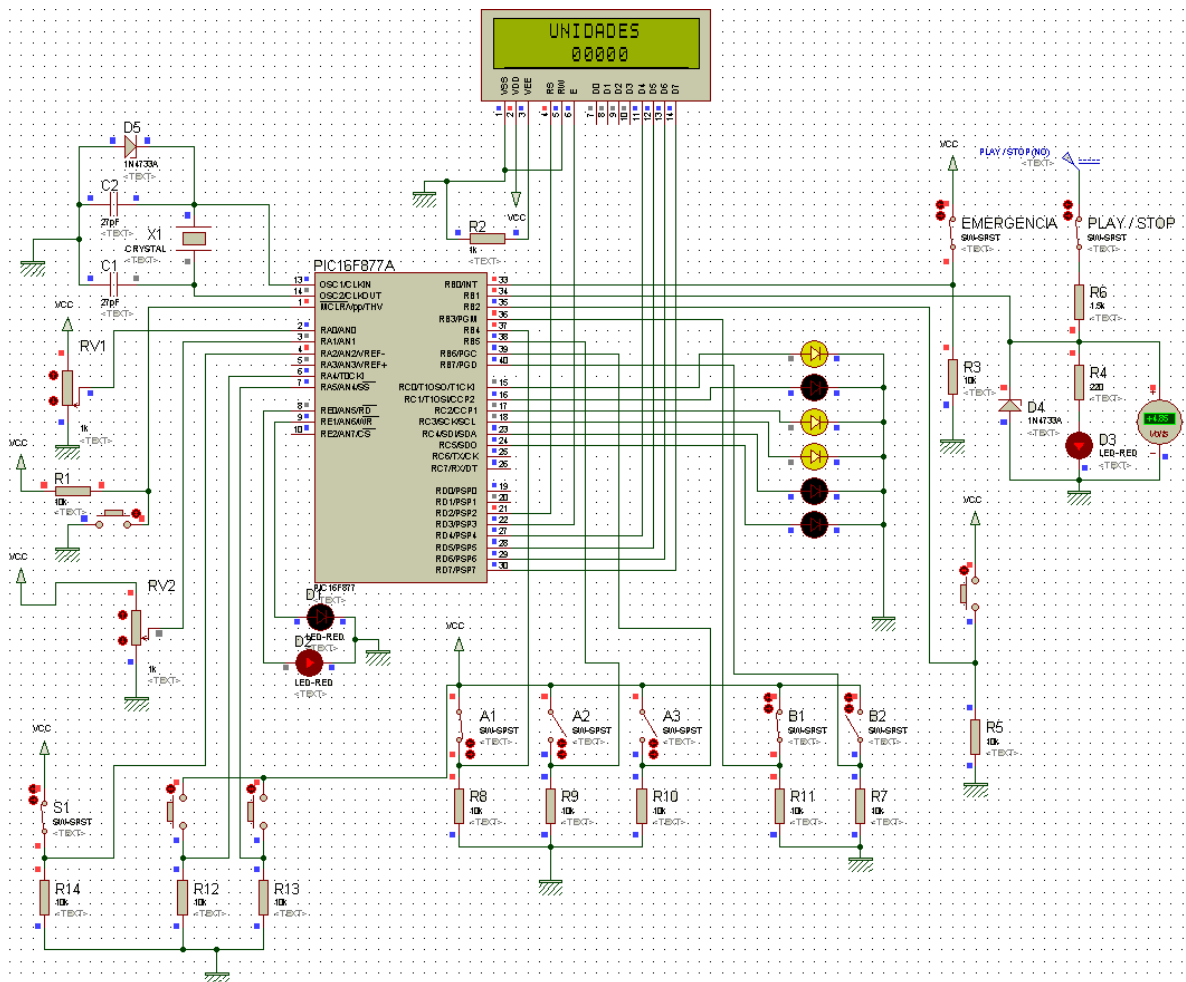
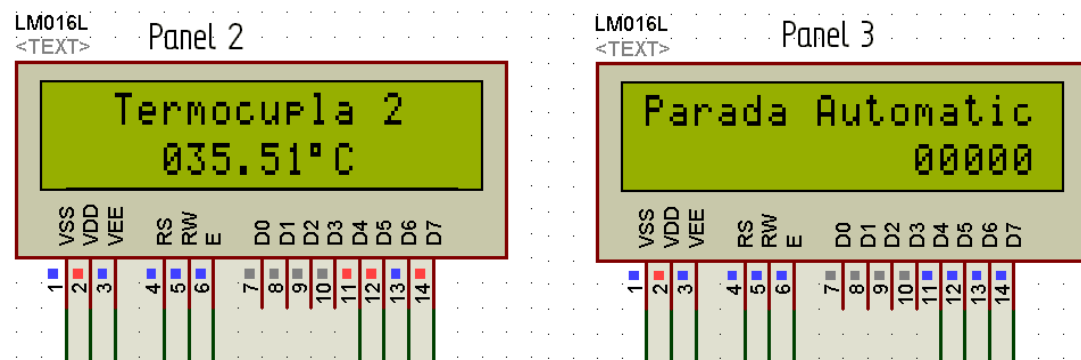


Figura 70. Simulación del programa del microcontrolador.



En

la figura 69. Parte superior, se puede ver la impresión en pantalla del contador de unidades y en la figura 70 la medición una de las termocupas y la visualización de la parada automática.

• **Circuito impreso.** Para facilitar el diseño y la manufactura del PCB (*printed circuit board*) se elabora en dos capas como se muestra en las siguientes figuras, ya que PROTEUS PCB así lo permite. Es necesario también aplicar una capa *antisolder* en cada cara para proteger contra la corrosión y corto-circuito además de aportar estética al circuito y velocidad en el ensamble. La placa aislante del circuito es de fibra de vidrio, ya que tiene propiedades dieléctricas muy favorables para circuitos de más de una cara y el montaje de todos los componentes es *through-hole* (soldados a través de agujeros) ya que no hay componentes de montaje superficial en el circuito.

Para diseñar circuitos impresos existen varias normas que propone la IPC (*Association connecting electronics industries*), donde deben tenerse en cuenta bastantes variables como las condiciones ambientales, mecánicas, electrostáticas, etc. a las que va a estar sometido el circuito. El estándar genérico para el diseño de circuitos impresos ANSI-IPC 2221 propone un cálculo para seleccionar el ancho de ruteado mínimo como se muestra a continuación:

$$a = \frac{A}{L * 1.378} \quad y \quad A = \left(\frac{I_{max}}{K_1 * \Delta T^{K_2}} \right)^{1/K_3}$$

Reemplazando una ecuación en la otra:

$$a = \frac{\left(\frac{I_{max}}{K_1 * \Delta T^{K_2}} \right)^{1/K_3}}{(L * 1.378)}$$

Teniendo en cuenta que la corriente máxima que circula por el circuito es de 0.8A, el cambio de temperatura máximo que se desea en las pistas es de 2°C, el espesor de cada capa conductora es de 1 mils (0.0254mm) y teniendo en cuenta que para rutas externas las constantes son:

$$K_1=0.0647$$

$$K_2=0.4281$$

$$K_3=0.6732$$

Reemplazando los valores en la ecuación:

$$a = \frac{\left(\frac{0.8 A}{0.0647 * (2^\circ\text{C})^{(0.4281)}} \right)^{1/(0.6732)}}{((1 \text{ mils}) * 1.378)}$$

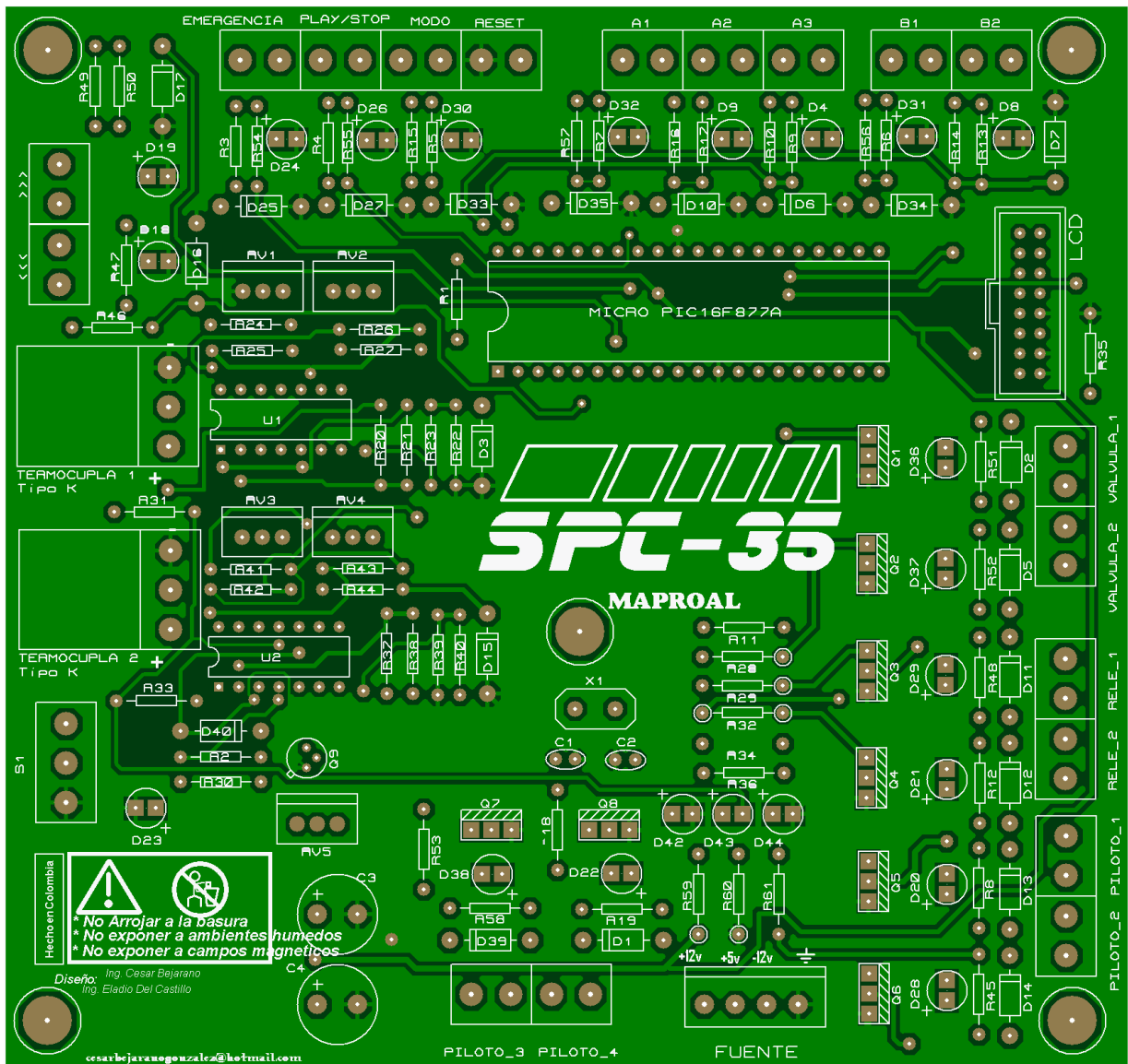
Calculando se obtiene:

$$a = 19.57 \text{ mils} = 0.49\text{mm}$$

El ancho de los caminos debe ser de 20mils, pero como factor de seguridad se decide usarlo de 25mils en las rutas que no tienen inconvenientes de trazado en el *layout*, y de 20mils en aquellas rutas que pasan en medio de las patas de un dispositivo.

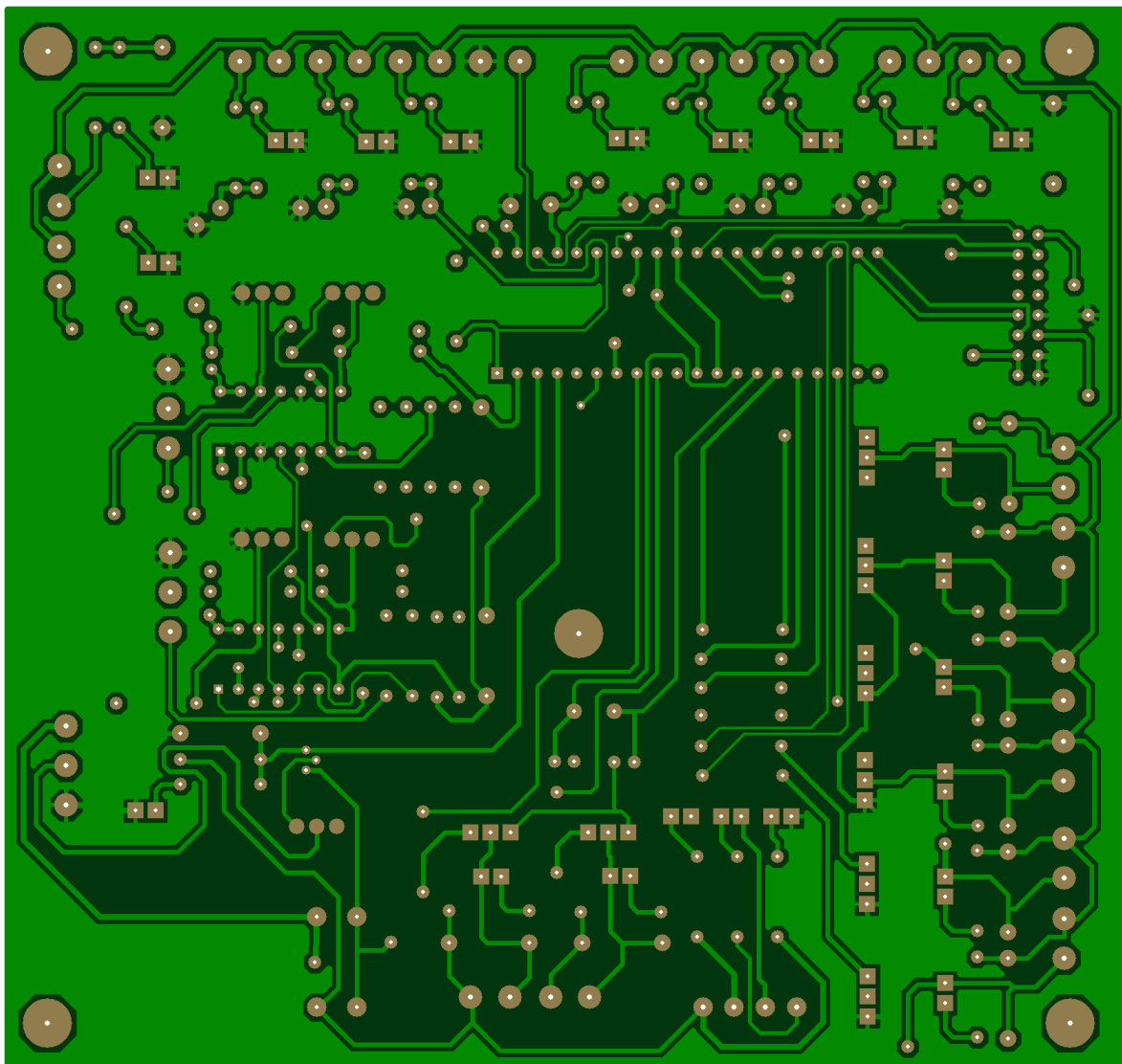
La mayoría de las pistas tanto de la cara inferior como de la superior del circuito fueron trazadas a 25mils (0.635mm) tratando de evitar al máximo ruptura de los caminos y se trazaron con ángulos de cambio de dirección de 45° en la mayor parte de las pistas en que fue posible (como sugiere el estándar), pero haciendo más fácil el trazado de los mismos y teniendo en cuenta que no se manejan en todo el circuito corrientes superiores a los 800mA.

Figura 71. Capa superior del circuito con máscara de componentes.



Por otro lado se crearon *guards* o planos de relleno para las dos caras del circuito como plano GND, es decir, puenteado a tierra para facilitar las conexiones y separado de las pistas a 20mils, que es un espacio suficientemente amplio ya que el estándar sugiere un espacio mínimo de 0.1mm (3.94mils) para circuitos que manejan voltajes inferiores a 15V, con conductores externos y ubicados por encima de los 3050m de altura sobre el nivel del mar.

Figura 72. Capa Inferior del circuito



Por último se muestra en la figura 73 la distribución de los componentes electrónicos y de las entradas y salidas al PCB con su respectiva numeración. Para ver planos y esquemáticos, ver el anexo E.

Figura 73. Distribución de los componentes electrónicos y de las entradas y salidas al PCB

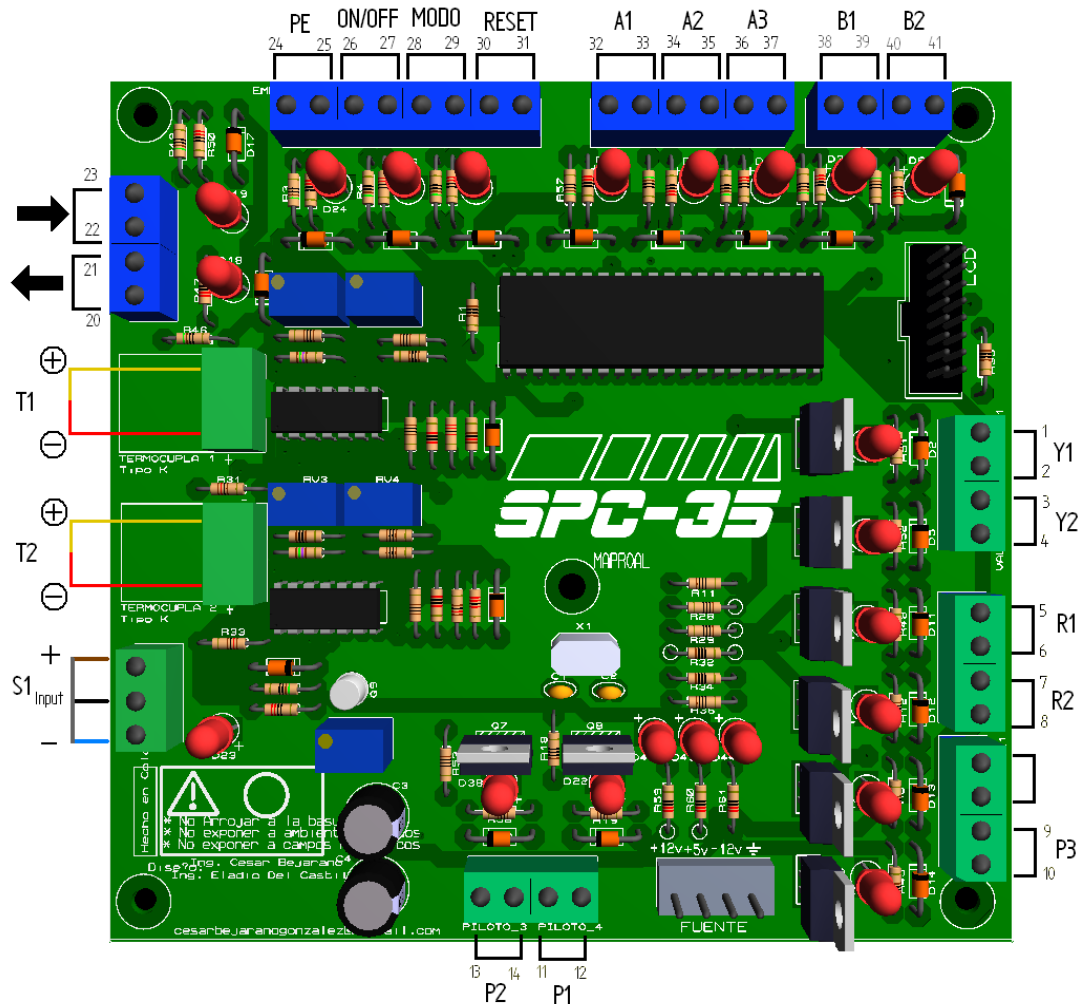
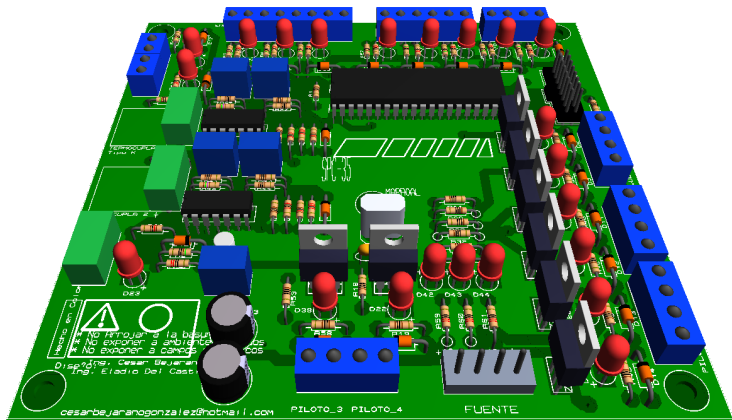


Figura 74. Vista 3D del circuito.



4.6.4 Conexiones eléctricas

- **Selección de dispositivos eléctricos.**

Para finalizar el diseño general que concierne al tablero de control es indispensable seleccionar los dispositivos eléctricos a usar para conmutar los motores eléctricos y proteger los demás componentes del tablero. Por petición del acreedor de la máquina y por motivos de facilidad de conexión la máquina debe funcionar con una red eléctrica trifásica de 220VAC.

Figura 75. Guarda motor

➤ **Guarda-motor de banda transportadora.** El motor de la banda transportadora requiere una protección industrial por sobre corriente. Para seleccionar el guarda-motor de protección se tienen en cuenta las características eléctricas proporcionadas por el fabricante del motor.



Potencia del motor de la banda= $P_m = \frac{1}{4} HP = 186.5 Watt$

Fuente: schneider-electric¹⁸

La ecuación para calcular de la corriente de un motor trifásico es:

$$I_L = \frac{P_m}{\sqrt{3} * U_L * \eta * \cos\varphi}$$

Donde:

P_m = Potencia nominal del motor [vatios]

I_L = Corriente de fase [amperios]

U_L = Voltaje de fase [voltios]

η = Eficiencia del motor

¹⁸ SCHNEIDER-ELECTRIC. Guardamotores GV2 y GV3 de TeSys. [En línea], México, sf. [Citado en 12 de Diciembre de 2009]. Disponible en: versión PDF. <http://www.extranet.schneider-electric.com.mx/opencms/opencms/SchneiderElectric>

$\cos\varphi$ = Factor de potencia del motor

Dado que estas variables se encuentran en la chapa del motor la corriente es:

$$I_L = \frac{186.5 \text{ W}}{\sqrt{3} * 220V * 0.92 * 0.85} = 0.69A$$

Debido a que todos los motores trifásicos elevan el voltaje en el arranque se debe estimar un 25% más de corriente para seleccionar el respectivo guarda motor.

$$I_L = 0.69 \text{ A} * 1.25 \approx 0.8A$$

Se selecciona un guarda motor trifásico con corriente comercial de disparo de **1.6 a 2.5 A**.

➤ **Guarda-motor de ventilador *blower***. El motor del ventilador de enfriamiento requiere una protección industrial por sobre corriente.

Potencia del motor del ventilador *blower* = $P_m = 1 \text{ HP} = 746 \text{ Watt}$

La ecuación para calcular de la corriente del motor trifásico es:

$$I_L = \frac{P_m}{\sqrt{3} * U_L * \eta * \cos\varphi}$$

Dado que estas variables se encuentran en la chapa del motor, la corriente es:

$$I_L = \frac{746 \text{ W}}{\sqrt{3} * 220V * 0.90 * 0.81} = 2.69 \text{ A}$$

Debido a que todos los motores trifásicos elevan el voltaje en el arranque, se debe estimar un 25% más de corriente para seleccionar el respectivo guarda motor.

$$I_L = 2.69 \text{ A} * 1.25 = 3.36 \text{ A}$$

Se selecciona un guarda motor trifásico con corriente comercial de disparo de **4 a 6 A**.

Figura 76. Relé

➤ **Relé.** Como se mencionó en el capítulo 4.5.3, se implementa un relé para accionar los motores trifásicos tanto de la banda como de la turbina de enfriamiento. Para seleccionarlo se tienen en cuenta la corriente y voltaje de cada uno de ellos.



Fuente: Industrias asociadas Ltda.¹⁹

Debido a que el motor de la banda y el del ventilador se conectan en paralelo al relé y teniendo en cuenta la suma de corrientes en el nodo según la ley de Kirchhoff:

$$I_{Rele} = I_{banda} + I_{ventilador}$$

$$I_L = 0.8A + 3.36A = 4.15A$$

Así pues, se seleccionó un relé trifásico (3 contactos) a 250VAC y soportando una corriente comercial máxima de **10 A** en cada contacto. La bobina de accionamiento funciona con 12VDC. Para ver más detalles ver anexo F.

Figura 77. Fuente Voltaje DC

➤ **Fuentes de alimentación eléctrica.** En el diseño electrónico es necesario usar tres fuentes de voltaje DC. Para suplir las necesidades de alimentación del circuito. Se selecciono una fuente de voltaje de 500watt alimentada con 220Vac y las características de salida enunciadas en la tabla que se muestra a continuación:



Fuente: Fuente PC²⁰

¹⁹ INDUSTRIAS ASOCIADAS LTDA. Relevos Electromagnéticos. [En línea], Bogotá D.C. sf. [citado en 12 de Diciembre de 2009]. Disponible en: versión PDF. <http://www.industriasasociadas.com/Autonics/Pdf/20-21.pdf>

Cuadro 7. Características de la fuente DC

Color de cable	Voltaje	Corriente máxima	Corriente necesaria
Amarillo	12V	30A	< 800mA
Azul	-12V	0.5A	< 100mA
Rojo	5V	38A	< 250mA
Negro	GND	-	-
Verde	On/off	-	-

Aunque las corrientes máximas son mucho más altas que las necesarias por los dispositivos, se escoge esta fuente debido a su mínimo costo en comparación con otras fuentes de voltaje DC de menores corrientes.

²⁰ FUENTE PC. Catálogo de fuentes, [En línea]. Argentina, 2007. [citado en 2 de diciembre de 2010]. disponible en: versión HTML. <http://www.fuentepc.com.ar/>

4.7 COSTOS DE INVERSIÓN

Cuadro 8. Costos mecánica

Costos Mecánica

Unidades	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
1	Lamina Acero INOX 3x1,2	\$ 650.000	\$ 650.000
1	Corte Doblado Perfil	\$ 80.000	\$ 80.000
2	Tubo D=9cm Inox rodillos + tapas	\$ 40.000	\$ 80.000
1	Soporte de tolva	\$ 65.000	\$ 65.000
2	Perfil en U soporte + doblez	\$ 27.000	\$ 54.000
2	Perfil en L soporte + doblez	\$ 27.000	\$ 54.000
1	Empak BLANCO D=2" , L=30cm	\$ 35.000	\$ 35.000
1	DobleZ Tolva	\$ 120.000	\$ 120.000
1	Tubo INOX sanitario 1,5" x L=100cm	\$ 75.000	\$ 75.000
1	Acero mecanismos y piezas auxiliares	\$ 150.000	\$ 150.000
1	Eje 7/8"	\$ 25.000	\$ 25.000
1	Soldadura INOX 304 5/32"	\$ 52.000	\$ 52.000
50	Tornillería 1/2" con tuerca	\$ 300	\$ 15.000
1	Armario conexiones acero INOX	\$ 65.000	\$ 65.000
2	Válvula Bola Acero INOX sanitaria 1,5"	\$ 128.000	\$ 256.000
2	Émbolos largos en caucho sanitario	\$ 55.000	\$ 110.000
			\$ 1.886.000

Cuadro 9. Costos Electrónica

Costos Electrónica

Unidades	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
2	Micro controlador	\$ 13.000	\$ 26.000
150	resistencias	\$ 20	\$ 3.000
8	condensadores , cristales	\$ 680	\$ 5.440
1	Manufactura Circuito 2 caras +antisolder	\$ 90.000	\$ 90.000
1	Elementos soldadura	\$ 5.200	\$ 5.200
7	circuitos integrados	\$ 2.100	\$ 14.700
12	transistores	\$ 1.200	\$ 14.400
42	diodos y leds	\$ 300	\$ 12.600

Unidades	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
26	conectores tornillo doble y 1 triple +conectores	\$ 300	\$ 7.800
5	chaqueta termoencogible en metros	\$ 1.000	\$ 5.000
1	Bus Datos LCD (1 metros)	\$ 3.800	\$ 3.800
1	LCD 2x20 grande	\$ 69.000	\$ 69.000
1	Sensor óptico tipo réflex	\$ 110.000	\$ 110.000
6	potenciómetros	\$ 2.300	\$ 13.800
			\$ 380.740

Cuadro 10. Costos Eléctricos

Costos Eléctricos

Unidades	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
3	Sensores Magnéticos cilindros	\$ 35.000	\$ 105.000
1	Interruptor Selector de 2 posiciones	\$ 7.500	\$ 7.500
2	Pulsadores eléctricos	\$ 6.500	\$ 13.000
1	Pulsador de Paro Emergencia	\$ 12.500	\$ 12.500
2	conectores y bornes sockets	\$ 2.000	\$ 4.000
20	cable colores eléctrico 2x22 en metros	\$ 700	\$ 14.000
2	Finales de carrera	\$ 1.500	\$ 3.000
2	Termocupla tipo K	\$ 55.000	\$ 110.000
2	Regleta conexiones	\$ 5.500	\$ 11.000
1	Guarda motor trifásico para 220 Vac 1,6 -2,4 A	\$ 145.000	\$ 145.000
1	Guarda motor trifásico para 220 Vac 4 -6 A	\$ 150.000	\$ 150.000
1	Relé bobina 12 voltios para 220 Vac	\$ 70.000	\$ 70.000
1	Fuente voltaje 12, -12, 5 VDC	\$ 50.000	\$ 50.000
4	Pilotos 12 VDC	\$ 4.000	\$ 16.000
10	metro de cable trifásico 14 AWG encauchetado	\$ 3.100	\$ 31.000
1	clavija	\$ 10.000	\$ 10.000
			\$ 752.000

Cuadro 11. Costos de neumática.

Costos Neumática

Unidades	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
2	Válvulas Electro-Neumática. 5,2 1/4 24DC	\$ 125.000	\$ 250.000
1	unidad de mantenimiento estándar	\$ 117.600	\$ 117.600
1	Cilindro D=32mm L=32cm	\$ 160.000	\$ 160.000
2	Actuador Rotativo Valvia	\$ 255.000	\$ 510.000
25	Metro de Manguera Poliuretano neumática	\$ 2.200	\$ 55.000
4	válvula Control de flujo 1/8" * 6 mm	\$ 16.000	\$ 64.000
1	Válvula de corredera 1/4	\$ 18.000	\$ 18.000
10	Racores Rectos	\$ 2.650	\$ 26.500
1	Aceite para Unidad	\$ 5.000	\$ 5.000
5	Silenciadores cónicos de bronce	\$ 3.150	\$ 15.750
3	T neumática 6 mm	\$ 10.000	\$ 30.000
		subtotal	\$ 1.251.850
		IVA incluido	\$ 1.452.146

Cuadro 12. Costos de enfriamiento.

Costos Enfriamiento

Unidades	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
1	Lamina Acero INOX	\$ 250.000	\$ 250.000
3	Túneles huecos acero 1 X 0,3 X 0,1 m	\$ 20.000	\$ 60.000
6	Rieles para montaje de túnel	\$ 5.000	\$ 30.000
1	Manguera corrugada 4"	\$ 40.000	\$ 40.000
3	Aislante térmico túneles	\$ 75.000	\$ 225.000
1	Turbina con motor 1HP	\$ 510.000	\$ 510.000
			\$ 0
			\$ 1.115.000

Cuadro 13. Costos totales.

Costos Totales

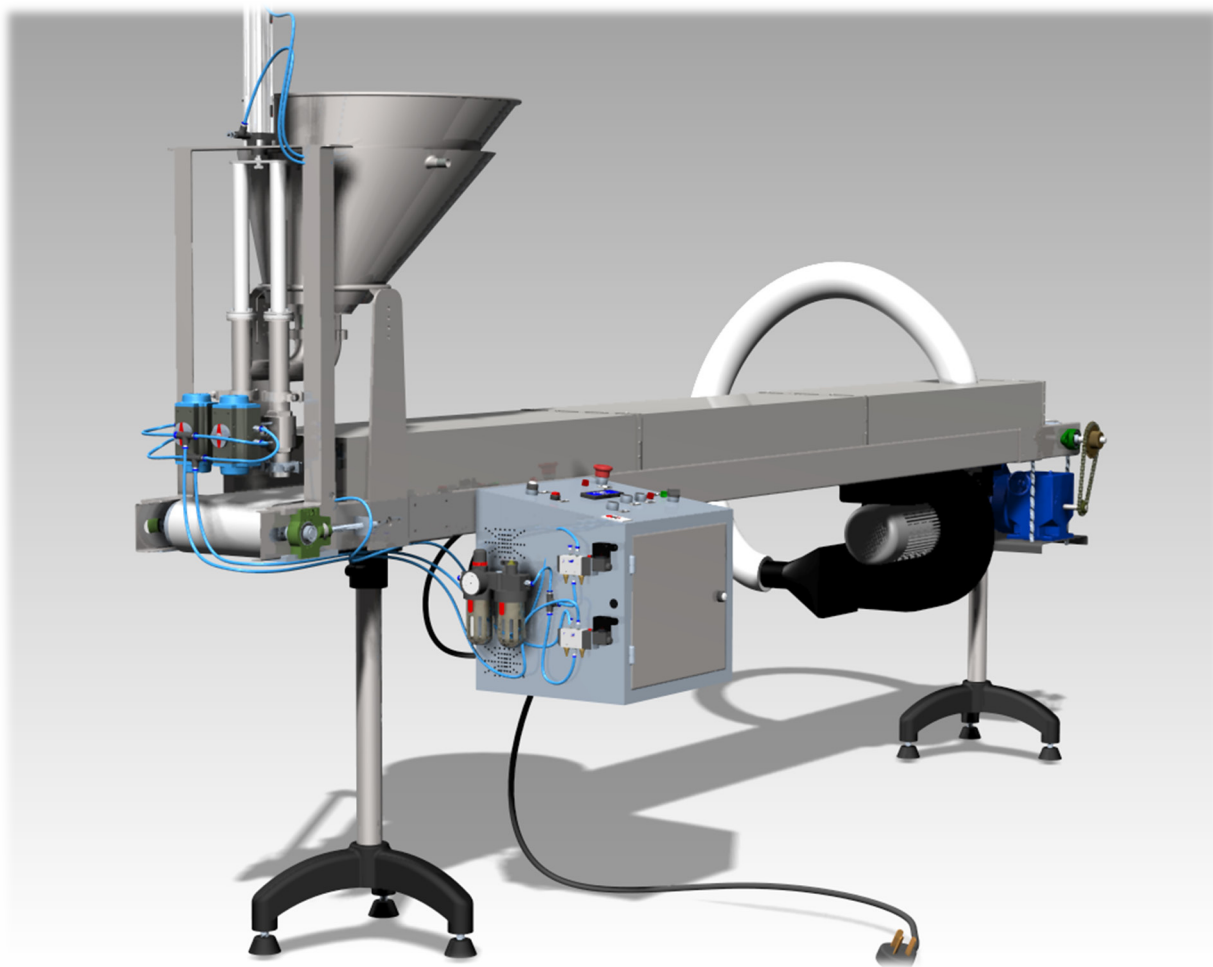
COSTOS MECANICA	\$ 1.886.000
COSTOS ELECTRONICA	\$ 380.740
COSTOS ELÉCTRICA	\$ 752.000
COSTOS NEUMATICA	\$ 1.452.146
COSTOS ENFRIAMIENTO	\$ 1.115.000

GRAN TOTAL	\$ 5.585.886
Presupuesto	\$ 6.000.000
Excedente	\$ 414.114

5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Luego de haber realizado todo el análisis correspondiente a cada subsistema de la máquina como son: El sistema mecánico, el sistema térmico y el sistema eléctrico y electrónico, junto con los respectivos cálculos teóricos. Se obtiene como resultado un dosificador automático de cocadas.

Figura 78. Máquina dosificadora automática de cocadas

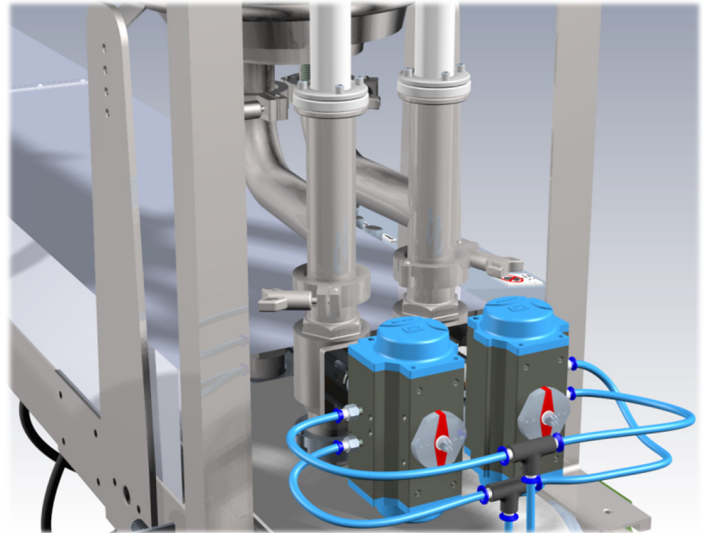


Esta máquina tiene una capacidad de producción promedio de 35 cocadas por minuto, siendo capaz de producir 2 unidades por cada ciclo.

Eléctricamente tiene una alimentación trifásica de 220 voltios (como fue solicitado por el acreedor de la máquina) y un consumo promedio de corriente de 8.5 amperios. Requiere también de un suministro neumático que sea capaz de proveer una presión neumática mínima de 5 bares.

Figura 79. Ensamble del Dosificador

Está fabricada en su mayoría con acero inoxidable, plásticos y polímeros sanitarios de fácil montaje que hacen sencilla su limpieza, además de señalización de todos los sensores y botones de la máquina. Viene equipada con una tolva de 33,05 litros de capacidad y un dosificador que extrae la mezcla de ella y la vierte sobre la banda en porciones de 20 a 30 gr regulables.



Posee un tablero de control con su respectiva nomenclatura, pilotos y pantalla LCD que permite llevar un control de la producción realizada y de las temperaturas del sistema, permitiendo también programar paradas automáticas.

Además tiene un sistema de refrigeración basado en aire forzado, canalizado por un túnel seccionado y fácil de desmontar a lo largo de la banda transportadora, que permite reducir la temperatura de las unidades producidas hasta en 15 grados centígrados.

Cuenta además con un completo paquete de planos de las piezas mecánicas y esquemáticos de los circuitos eléctrico, electrónico, y neumático, que permite una fácil localización de fallas y planteamiento de soluciones a futuro. Para ver planos y dimensiones del ensamble completo y de las piezas más relevantes del sistema revisar el Anexo G.

6. CONCLUSIONES

- Durante el desarrollo del proyecto se comprobó la eficiencia de los cálculos teóricos realizados tales como la aplicación del principio de *Bernoulli*, la ecuación de pérdidas primarias de *Darcy* y las ecuaciones para pérdidas en accesorios que sugiere la división de ingeniería CRANE y otros autores de libros de mecánica de fluidos, ya que con estos análisis se logro el diseño del dosificador cumpliendo el objetivo propuesto.
- Se logro una producción de 35 unidades por minuto en promedio analizando a la inversa las características de equipos ya suministrados para el proceso de automatización y comparando con los cálculos teóricos los resultados obtenidos para llegar a una correcta sincronización de los tiempos en el proceso de producción permitiendo el cumplimiento de este objetivo.
- Luego de el diseño del dosificador y por medio de un ciclo automático se lograron obtener porciones entre 20 y 30gr de forma regulable teniendo en cuenta las características físicas de la mezcla, además para que las cocadas tuviesen la forma circular requerida, fue muy importante la selección de la alternativa de diseño de un dosificador tipo pistón, ya que este viscoso fluido necesitaba ser empujado hacia la banda sin inconvenientes de obstrucción interna en la máquina.
- Un análisis térmico del producto permitió el diseño de un sistema de enfriamiento por medio de aire forzado capaz de reducir hasta 15°C la temperatura de las unidades producidas.
- Se utilizaron las teorías de transferencia de calor y se compararon con los métodos experimentales de enfriamiento con aire forzado para poder llegar al diseño de el ventilador industrial más eficiente y que se ajustara el presupuesto disponible
- Se modelaron en CAD todas las piezas del sistema, lo que permitió una predicción del diseño y la elaboración de los planos. De esta forma, además de obtener un completo ensamble virtual, se

entrego al cliente un kit de planos que facilitan el mantenimiento preventivo de maquina y el desensamble de piezas para la limpieza.

- Se elaboraron esquemáticos y simulaciones de los componentes y circuitos eléctricos y electrónicos antes y después de la construcción, lo que permitió la detección y corrección de fallos.
- Se modeló y construyó un prototipo a escala real ajustándose este a las exigencias técnicas y económicas de un cliente, lo que implicó cambios drásticos en el diseño inicial, como la selección de accesorios neumáticos de más baja calidad y la selección del ventilador de enfriamiento.
- Se implementó un tablero de control basado en un diseño de automatización soportado en la guía GEMMA, lo que permitió un análisis de los estados de paradas y puestas en marcha de la máquina, necesarios para el sistema.
- Se diseñó un circuito electrónico basado en un microcontrolador, para interactuar con las salidas y entradas del sistema, como los dispositivos electro-neumáticos y sensores, además del desarrollo de un *firmware* que comanda la máquina y permite al operador programar paradas automáticas, lo que hace que la máquina sea fácil de pilotar.

7. RECOMENDACIONES

En el capítulo de análisis de enfriamiento (4.4), se hizo una investigación acerca de la transferencia de calor y el diseño de ventiladores industriales y en este análisis es recomendable cambiar algunos parámetros para obtener un mayor grado de eficiencia e implementar otros subsistemas para la reducción de temperaturas como unidades de refrigeración o un método mecánico para aumentar el tiempo de enfriamiento del producto.

La implementación de otros métodos de enfriamiento del producto pueden incrementar los niveles de producción y mejorar la eficiencia de la máquina aunque a consecuencia de esto se presentaría un incremento considerable en los costos de fabricación y mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

AMPUDIA ECHEVERRY, Danilo. Ventiladores y diseño de ductos. Cali. Universidad del Valle. Departamento Mecánica de Fluidos y Ciencias Térmicas, 1987, p. 1 – 37.

BOLTON, William. Mecatrónica. Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica. 3 ed. México, Alfaomega, 2006. 530 p.

BOURNS. *Tip31 NPN silicon power transistors. United States*. Disponible en: versión PDF. <http://www.bourns.org/data/global/pdfs/tip31.pdf>

COLOMBIA. MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL. Decreto 616 (28, febrero, 2006) Por el cual se expide el reglamento técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano que se obtenga, procese, envase, transporte, comercialice, expendia, importe o exporte en el país. Bogotá D.C. Ministerio de protección social, 2006 p.1-10.

COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Resolución 02310 (24, febrero, 1986), Por la cual se reglamenta parcialmente el Título V de la Ley 09 de 1979, en lo referente a procesamiento, composición, requisitos, transporte y comercialización de los Derivados Lácteos. Bogotá D.C. Ministerio de salud, 1986. p. 1-3, 21-23

DIVISIÓN DE INGENIERÍA CRANE, Teoría del flujo de fluidos en tuberías. En: Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. México, Mc Graw Hill, 1987. p. 1-7 a 1-11.

FUENTE PC. Catálogo de fuentes. Argentina, 2007. Disponible en: versión HTML. <http://www.fuentepc.com.ar/>.

GARCIA MORENO, Emilio. Codificadores digitales y captadores binarios. En: Automatización de procesos industriales. México D.F. Alfaomega, 2001. p. 129-164.

-----, Guía de estudio de los modos de marcha y paro de los sistemas automatizados: GEMMA. En: Automatización de procesos industriales. México D.F. Alfaomega, 2001. p. 321-374.

-----, Implementación del automatismo a partir del *grafcet*. En: Automatización de procesos industriales. México D.F. Alfaomega, 2001. p. 261-298.

-----, Introducción al Grafcet. En: Automatización de procesos industriales. México D.F. Alfaomega, 2001. p. 233-260.

INCROPERA, Frank P, Flujo externo. En: Fundamentos de transferencia de calor, México. *Pearson Educación*, 1999. 4ª ed. p. 396 -460.

-----, Intercambiadores de calor. En: Fundamentos de transferencia de calor, México. *Pearson Educación*, 1999. 4ª ed. p. 619 -688.

-----, Introducción a la convección. En: Fundamentos de transferencia de calor, México. *Pearson Educación*, 1999. 4ª ed. p. 333 -395.

INDUSTRIAS ASOCIADAS LTDA. Relevos Electromagnéticos. Bogotá D.C. Disponible en: versión PDF. <http://www.industriasasociadas.com/Autonics/Pdf/20-21.pdf>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Normas Colombianas para trabajos escritos. Presentación y normas bibliográficas. Sexta actualización. Bogotá, D.C.: ICONTEC, 2008. NTC 1486. 34 p. NTC 5613. 33 p. NTC 4490. 23 p.

MICROSOFT CORPORATION. Firmware. [software]. Microsoft Encarta 2009©. 1993-2008. Reservados todos los derechos.

MINDMAN. Sensor switch RCI. Taiwán. Disponible en: versión HTML. http://www.mindman.com.tw/en/prod_size.php?itemid=185

MUNSON, Bruce R; YOUNG Donald F y OLLKSHY Theodore H. Dinámica elemental de fluidos. Ecuación de Bernoulli. En: Fundamentos de mecánica de fluidos, México. Limusa Wiley S.A, 1999. p. 113 -174.

----- Flujo viscoso en tuberías. Ecuación de Bernoulli. En: Fundamentos de mecánica de fluidos, México.: Limusa Wiley S.A, 1999. p. 447 -534.

SCHNEIDER-ELECTRIC. Guardamotores GV2 y GV3 de TeSys. México. Disponible en: versión PDF. <http://www.extranet.schneider-electric.com.mx/opencms/opencms/SchneiderElectric>

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA., Dirección de investigación. Bogotá, D.C. disponible en http://www.usbbog.edu.co/index.php?option=com_content&task=view&id=335&Itemid=691

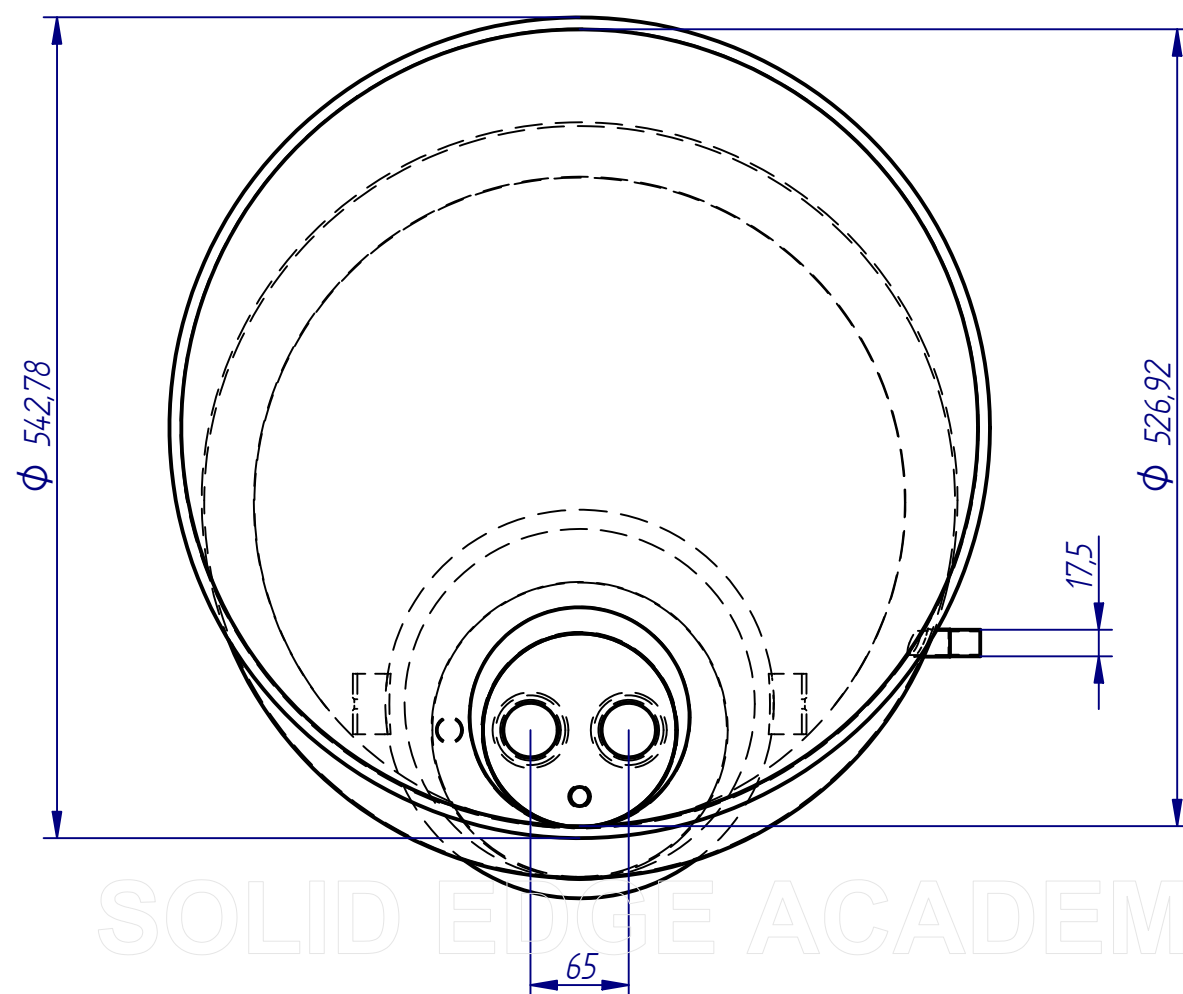
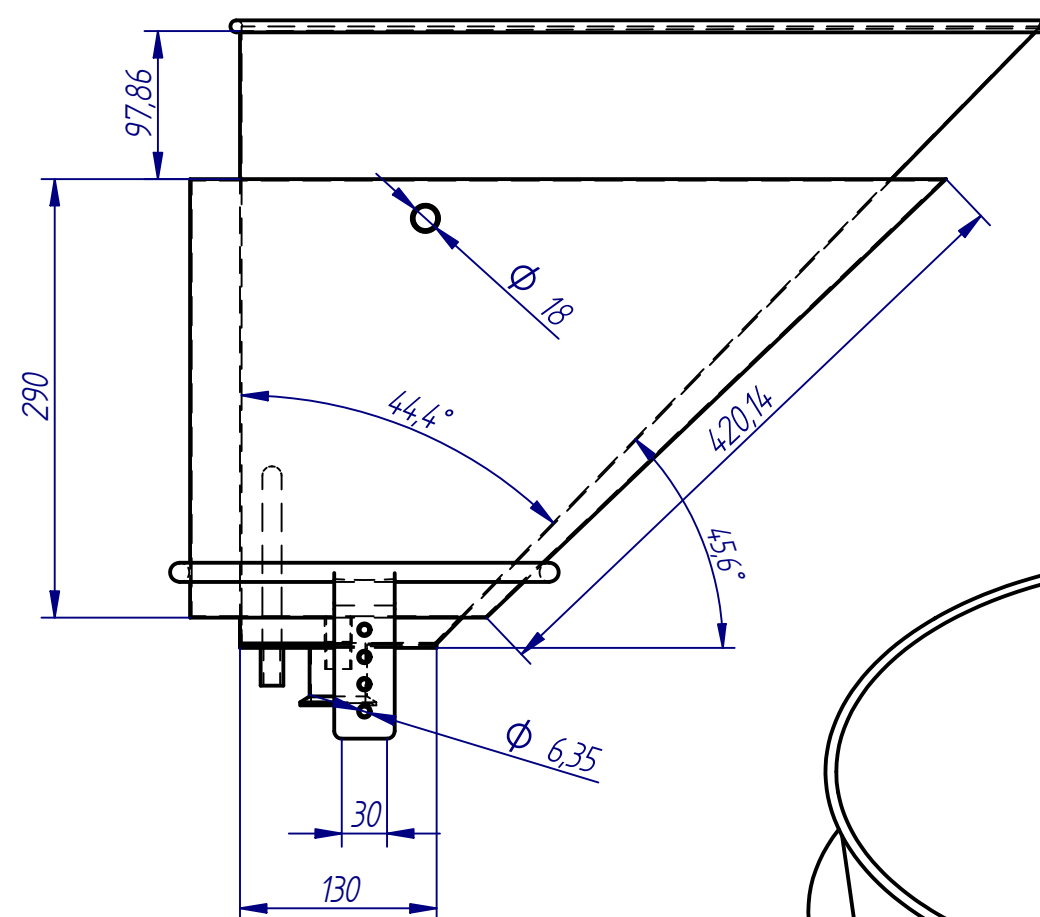
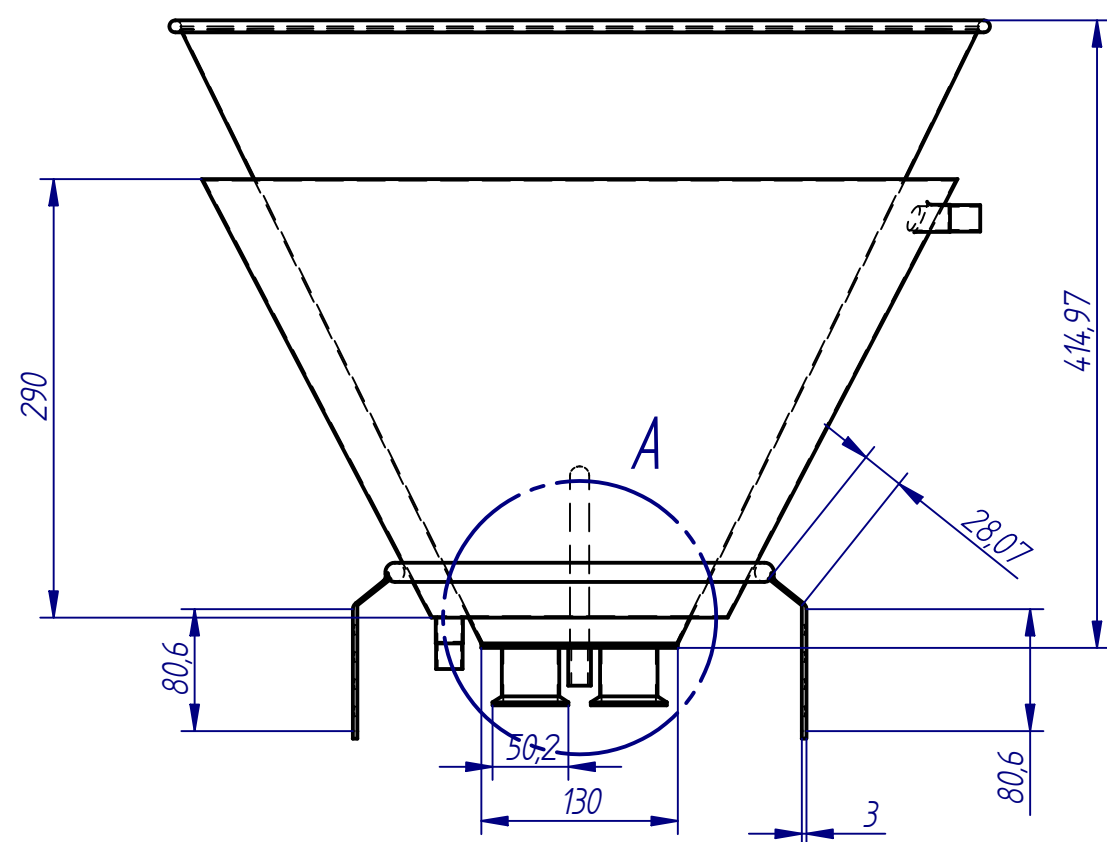
-----, Programa de ingeniería mecatrónica. Propósito General del Programa de Ingeniería Mecatrónica. Bogotá, D.C. Disponible en:
http://www.usbbog.edu.co/index.php?option=com_content&task=view&id=233&Itemid=229

-----, Proyecto Educativo Bonaventuriano. Bogotá, D.C. disponible en
http://www.usbbog.edu.co/index.php?option=com_content&task=view&id=17&Itemid=47

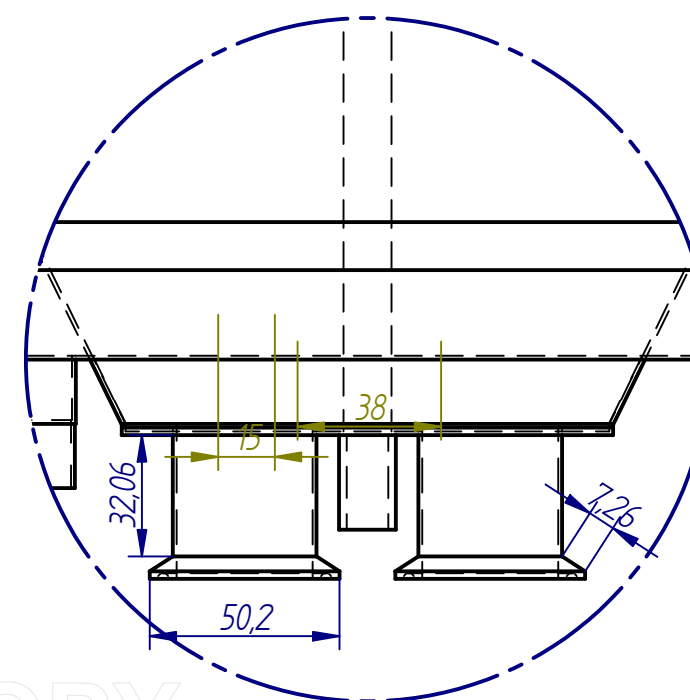
WIKIPEDIA. Caucho etileno-propileno. Disponible en: versión HTML.
http://es.wikipedia.org/wiki/Caucho_etileno-propileno-dieno.

ANEXO A

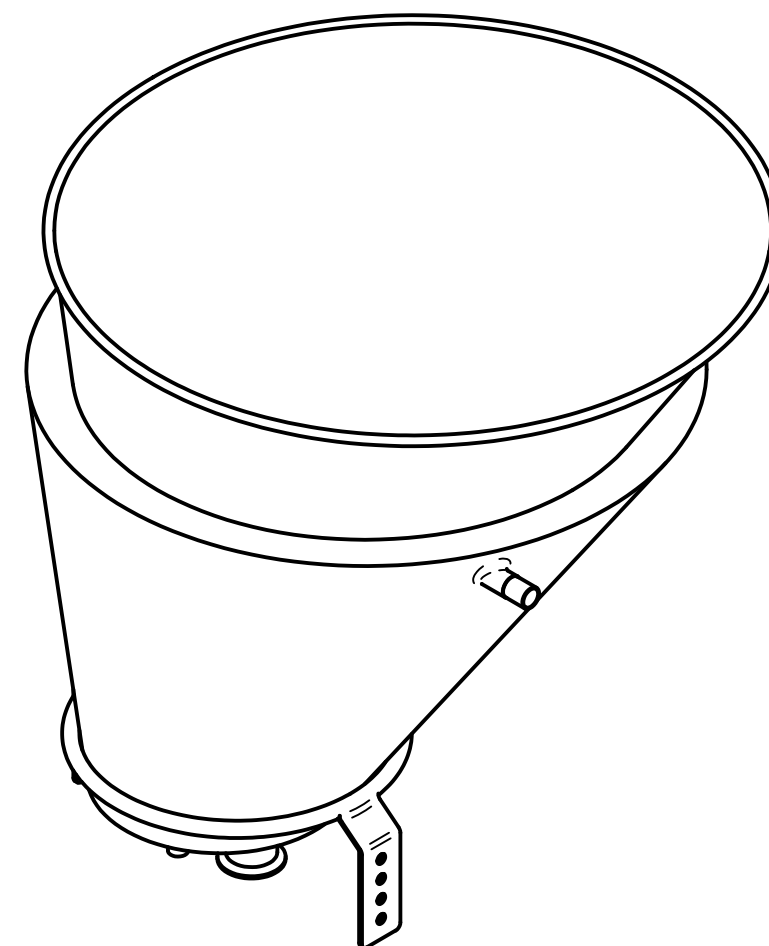
Planos de la tolva, la banda transportadora y el motor de la banda.



SPC-35



DETALLE A



UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

TOLVA INCLINADA

Elaborado por:
Cesar L. Bejarano G. y Eladio A. Del Castillo

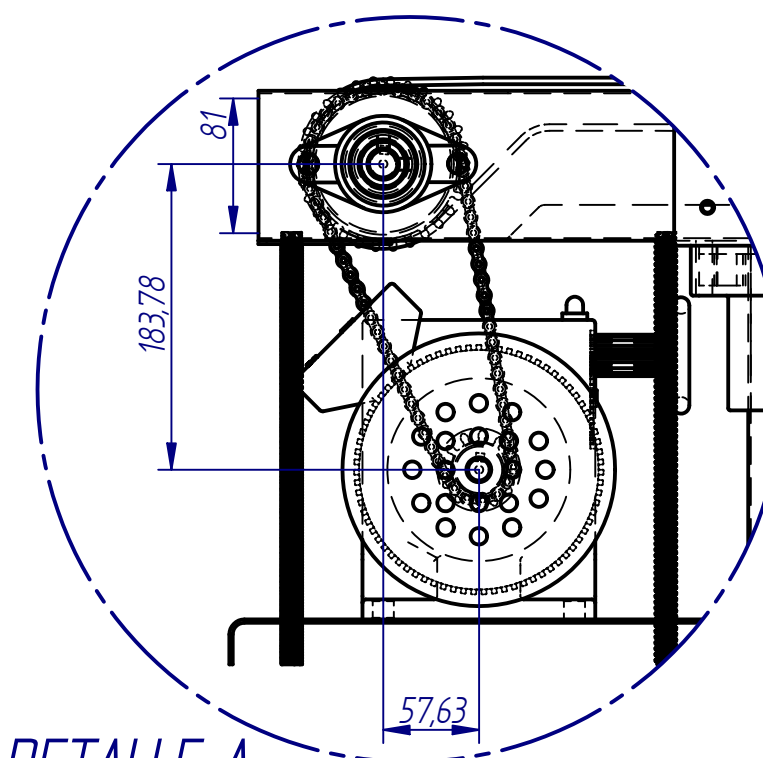
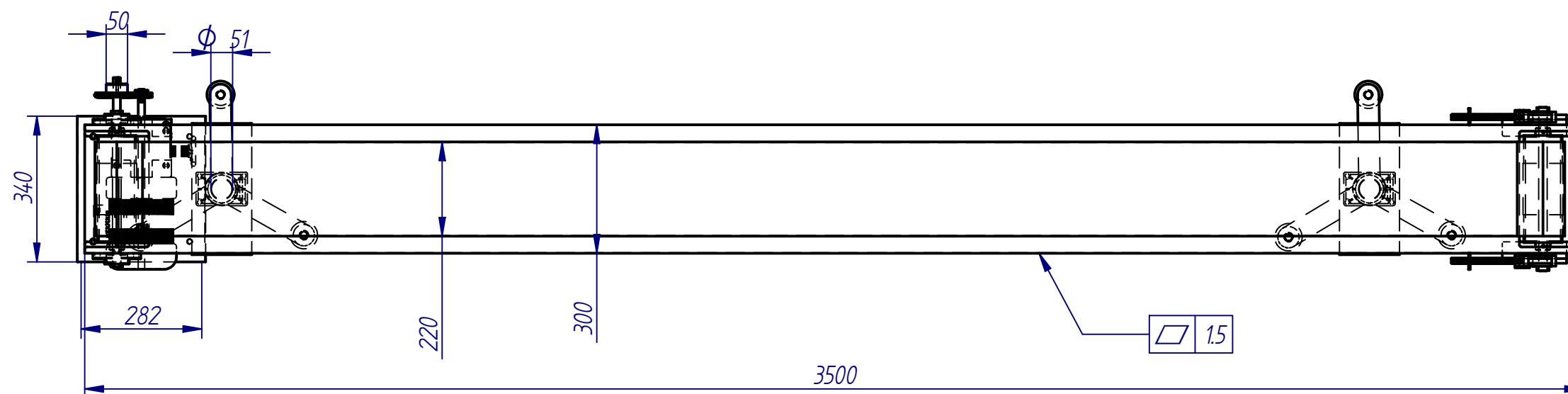
Fecha:
13/04/10



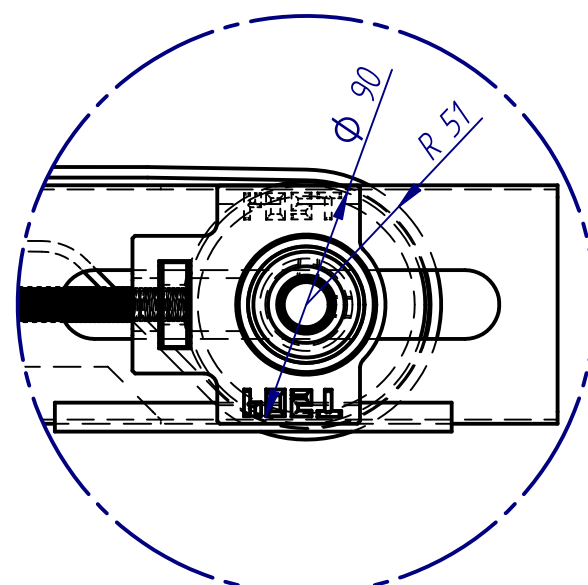
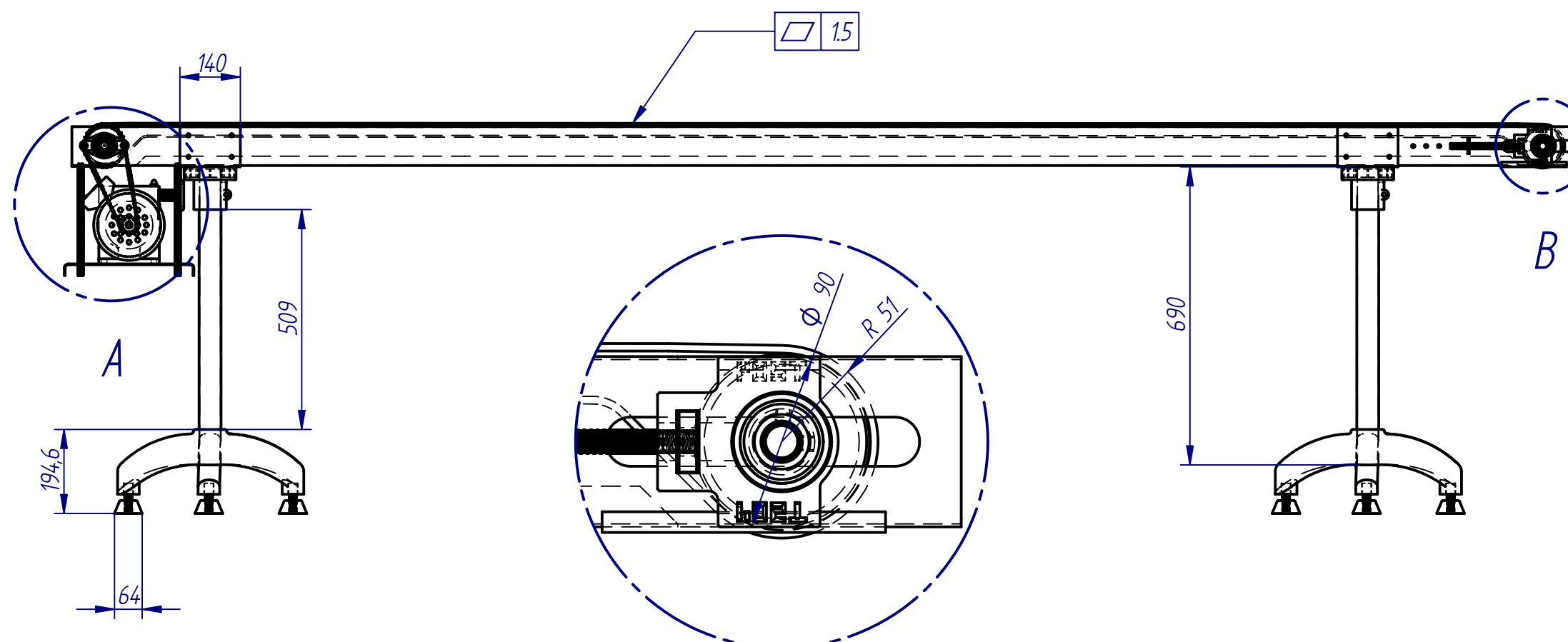
Escala:
1:5

Plano:
1/3

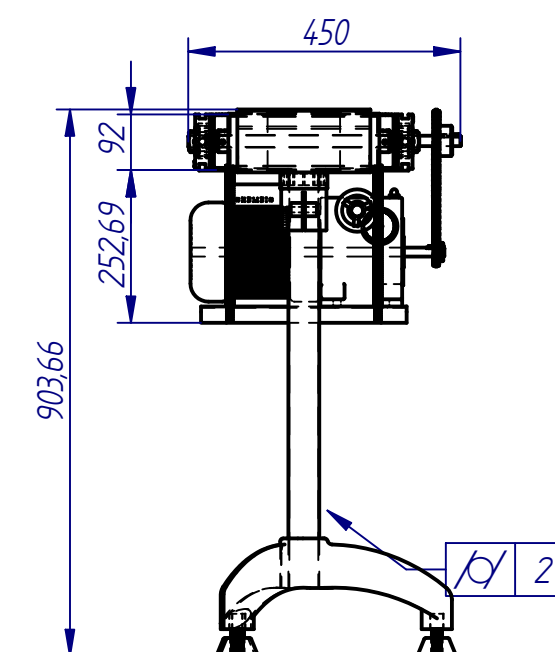
Aprobado por:



DETALLE A



DETALLE B



SOLID EDGE ACADEMIC COPY *SPC-35*

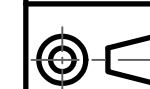


UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BANDA TRANSPORTADORA

Elaborado por:
Cesar I. Bejarano G. y Eladio A. Del Castillo

Fecha:
13/04/10



Escala:
1 : 12,5

Plano:
2 / 3

Aprobado por:

Anexo B

Ficha técnica del actuador rotativo VALVIA.



Pneumatic Rotary Actuators

DA/SR

VALBIA ISO 9001 CERTIFIED

FEATURES

Twin Rack and Pinion Design

- Constant Torque Output
- Compact Design
- Balanced Internal Forces
- Robust Design For Long Life

Extruded Aluminum Body

- Hard Coat Anodized
- Smooth Surface Finish for Minimum Friction
- Optional Epoxy Coated or Nickel Plated
- End Caps are Die Cast Aluminum Polyester Coated

Nickel Plated Pinion

- Blowout Proof
- Optional in Stainless Steel

Die Cast Aluminum Pistons

- Constant Torque Output
- Optional Nickel Plating

Piston Guides in PTFE / Graphite

- Large Contact Area
- Self-Lubricating, Long Life

Spring Return Model SR

- Zinc Phosphate Steel Springs
- High Resistance and Reliable
- Long S.S. Bolts for safe End cap Removal

External Travel Stops

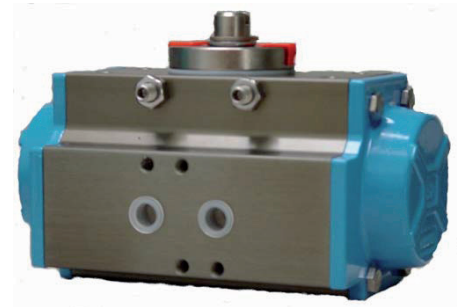
- Open or Closed Positions
- Bi-Directional from Size 52-125, +/- 5°

Maximum Working Pressure and Temperature

- 150 psi for models 32 to 200
- 115 psi for Model 270
- Clean dry filtered air is required
- -20°C to +85°C with NBR Standard Seals
- -20°C to +150°C with Optional Viton Seals

Interfaces to ISO 5211, DIN 3337, and Namur Specifications

- Direct Mount to Ball or Butterfly Valves
- Namur Drilling for Solenoid and Positioner Mounting



PMP Precision Valve Company Ltd. Is a progressive supplier of current products. The features, materials of construction and dimensional data as detailed in this bulletin are intended for your reference only, and should not be relied upon unless confirmed in writing by PMP Precision Valve Co. Ltd.. Certified dimensional drawings are available upon order receipt.



Pneumatic Rotary Actuators

DA/SR

TORQUE CHART DOUBLE ACTING

DOUBLE ACTING ACTUATOR TORQUE OUTPUT POUNDS/INCH												
MODEL	32	52	63	75	85	100	115	125	140	160	200	270
40 PSI	34	86	154	254	408	646	1070	1409	2009	2930	5488	12734
50 PSI	43	110	196	360	518	818	1355	1783	2511	3662	6886	15919
60 PSI	55	133	238	435	629	991	1640	2157	3013	4394	8239	19097
70 PSI	64	156	280	511	740	1163	1925	2532	3515	5127	9612	22284
80 PSI	71	179	321	586	851	1336	2210	2906	4018	5859	10981	25469
90 PSI	82	203	363	661	962	1506	2495	3280	4513	6591	12359	28654
100 PSI	87	226	406	737	1072	1681	27609	3654	5015	7324	13732	31832
115 PSI	101	261	468	850	1238	1939	3208	4216	5772	8422	15792	38611

TECHNICAL DETAILS

SPRING CHART				VALID FOR MOD. 160 AND 200
SET	EXTERNAL SPRING	CENTRAL SPRING	INTERNAL SPRING	
01	-	2	-	
02	2	-	-	
03	1	2	-	
04	2	-	2	
05	2	2	-	
06	2	2	2	

SPRING CHART			VALID FROM MOD. 52 TO 140
SET	EXTERNAL SPRING	INTERNAL SPRING	
01	1	1	
02	2	-	
03	1	2	
04	2	1	
05	2	2	

PMP Precision Valve Company Ltd. Is a progressive supplier of current products. The features, materials of construction and dimensional data as detailed in this bulletin are intended for your reference only, and should not be relied upon unless confirmed in writing by PMP Precision Valve Co. Ltd.. Certified dimensional drawings are available upon order receipt.



Pneumatic Rotary Actuators

DA/SR

TECHNICAL DETAILS CONTINUED

PRETENSIONED CHART		VALID FOR MODEL 270
SET	NO. OF SPRINGS PER SIDE	
01	2/3	
02	3/3	
03	3/4	
04	4/4	
05	4/5	
06	5/5	
07	5/6	
08	6/6	

TIME IN SECONDS												
MODEL	32	52	63	75	85	100	115	125	140	160	200	270
D.A. CCW ROTATION	0.03	0.03	0.06	0.12	0.2	0.3	0.53	0.83	0.98	1.15	1.74	4.5
D.A. CW ROTATION	0.03	0.04	0.08	0.12	0.19	0.27	0.47	0.66	0.93	1.1	1.7	4.5
S.R. CCW ROTATION	-	0.09	0.14	0.22	0.31	0.44	0.83	1.08	1.23	1.75	2.38	4.5
S.R.CW ROTATION	-	0.09	0.14	0.22	0.33	0.46	0.78	0.9	0.97	1.34	2.19	6.2
DETERMINED WITH AN AIR SUPPLY OF 87PSI												

WEIGHT CHART LBS.												
MODEL	32	52	63	75	85	100	115	125	140	160	200	270
D.A. 90°	1.05	2.31	3.3	5.61	7.48	11.1	17.6	22	33.9	42.9	72.2	157.3
S.R. 90°	-	2.64	3.96	7.04	9.46	14.4	23.32	29.48	45.3	53.6	111.1	193.6

ACTUATOR AIR CONSUMPTION IN CU./IN.												
MODEL	32	52	63	75	85	100	115	125	140	160	200	270
D.A. S.R CCW ROTATION	2.32	6.1	6.7	22	31.1	48.2	78.7	99.5	137.9	220	348.1	915.3
D.A. CW ROTATION	1.7	8.24	14	26.8	39.1	61	104.4	134.9	192.8	290.6	599.7	1086.2
S.R.CW ROTATION	-	7.08	11.6	22	32.3	48.8	83	108.6	146.6	215.1	462.5	945.8

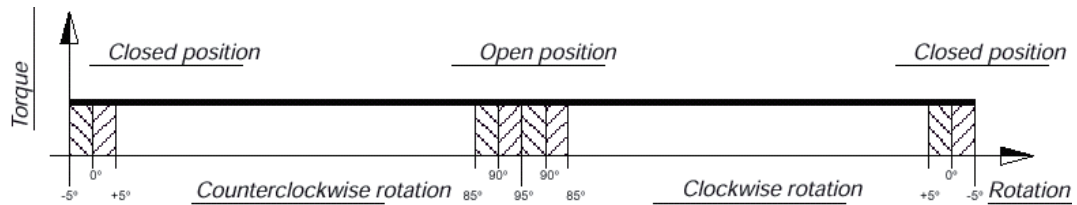
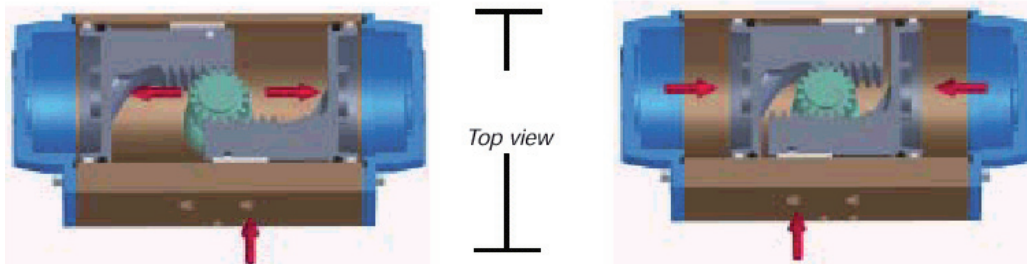
PMP Precision Valve Company Ltd. Is a progressive supplier of current products. The features, materials of construction and dimensional data as detailed in this bulletin are intended for your reference only, and should not be relied upon unless confirmed in writing by PMP Precision Valve Co. Ltd.. Certified dimensional drawings are available upon order receipt.



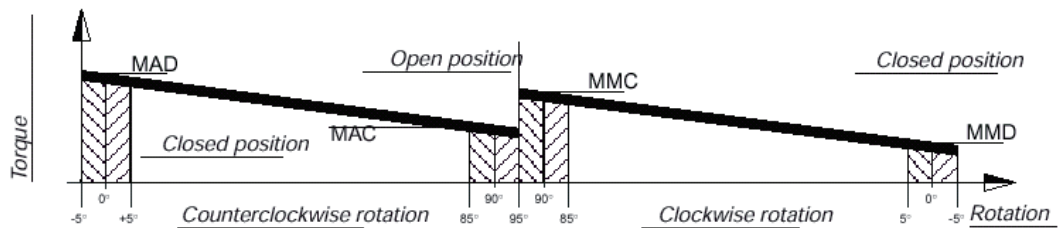
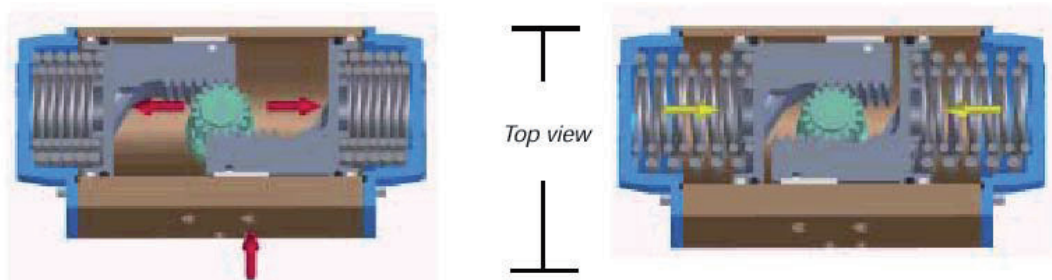
Pneumatic Rotary Actuators

DA/SR

DOUBLE ACTING ACTUATOR



SPRING RETURN ACTUATOR



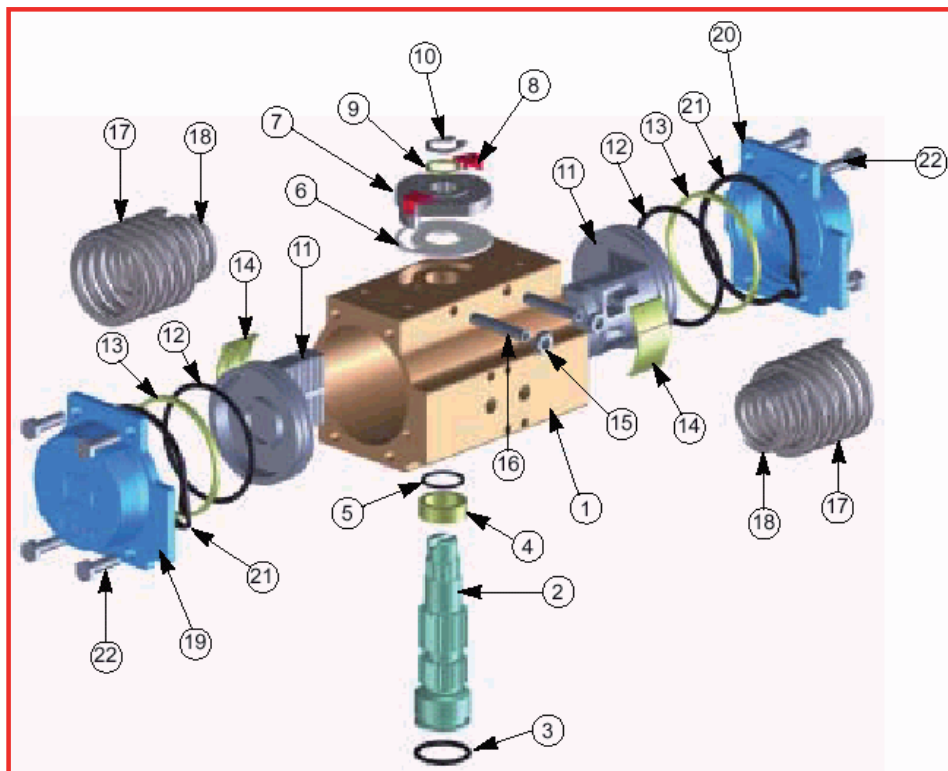
PMP Precision Valve Company Ltd. Is a progressive supplier of current products. The features, materials of construction and dimensional data as detailed in this bulletin are intended for your reference only, and should not be relied upon unless confirmed in writing by PMP Precision Valve Co. Ltd.. Certified dimensional drawings are available upon order receipt.



Pneumatic Rotary Actuators

DA/SR

MATERIALS OF CONSTRUCTION MODEL 52-140



Item	Description	Material	Treatment	QT'Y DA	QT'Y SR
1	Body	Extruded alluminium	Hard anodized	1	1
2	Anti-blowout pinion	Steel	Nickel plated	1	1
● 3	Lower pinion O-ring	NBR		1	1
● 4	Pinion spacer ring	POM		1	1
● 5	Top pinion O-ring	NBR		1	1
● 6	Cam spacer ring	POM		1	1
7	Camma / Cam	Stainless steel		1	1
8	Position indicator	Nylon		2	2
9	Pinion washer	Stainless steel		1	1
**10	Pinion snap ring	Steel	Nickel plated	1	1
11	Piston	Die cast alluminium		2	2
● 12	Piston o-ring	NBR		2	2
● 13	Antifriction ring	POM		2	2
● 14	Piston thrust block	POM		2	2
15	Stop bolt retaining nut	Stainless steel		2	2
16	Stop bolt	Stainless steel		2	2
17	External spring	Steel	Zinc-phosphate	0	See spring setting
18	Internal spring	Steel	Zinc-phosphate	0	
19	Left end	Die cast alluminium	Zinc-phosphate	1	1
20	Right end cap	Die cast alluminium	Zinc-phosphate	1	1
21	End cap seats	NBR		2	2
22	End cap fixing screw	Stainless steel		8	8

● Parts subject to wear **Reinforced series DIN 471

PMP Precision Valve Company Ltd. Is a progressive supplier of current products. The features, materials of construction and dimensional data as detailed in this bulletin are intended for your reference only, and should not be relied upon unless confirmed in writing by PMP Precision Valve Co. Ltd.. Certified dimensional drawings are available upon order receipt.

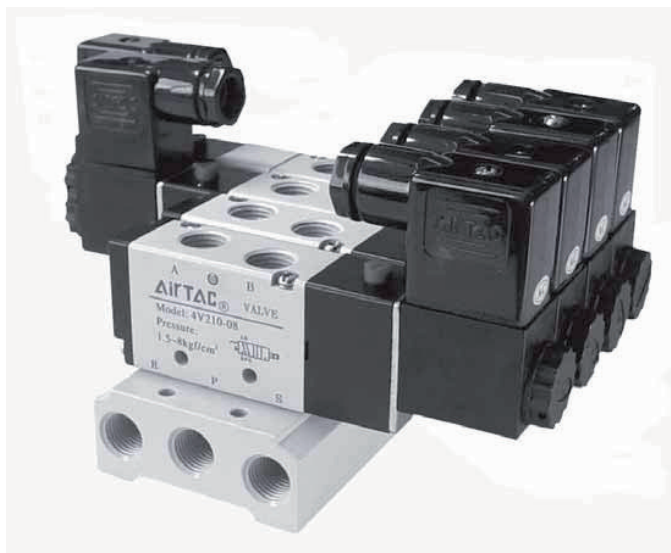
Anexo C

Ficha técnica de la válvula electro-neumática AIRTAC.

VALVULAS SOLENOIDES - 5/2 - 5/3 VIAS

SERIE 4V3 - 3/8"

AirTAC

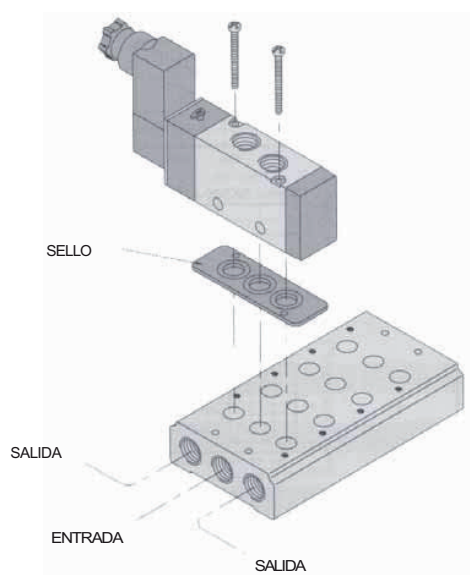


Código	Rosca	Vías	Operador de la Válvula	Referencia - Voltaje
A15005	3/8"	5/2	Simple solenoide / regreso resorte	4V310-10-DC12V
A15010	3/8"	5/2	Simple solenoide / regreso resorte	4V310-10-DC24V
A15015	3/8"	5/2	Simple solenoide / regreso resorte	4V310-10-AC110V
A15020	3/8"	5/2	Simple solenoide / regreso resorte	4V310-10-AC220V
A15025	3/8"	5/2	Doble solenoide	4V320-10-DC12V
A15030	3/8"	5/2	Doble solenoide	4V320-10-DC24V
A15035	3/8"	5/2	Doble solenoide	4V320-10-AC110V
A15040	3/8"	5/2	Doble solenoide	4V320-10-AC220V
A15045	3/8"	5/3	Doble solenoide / centros cerrados	4V330C-10-DC12V
A15050	3/8"	5/3	Doble solenoide / centros cerrados	4V330C-10-DC24V
A15055	3/8"	5/3	Doble solenoide / centros cerrados	4V330C-10-AC110V
A15060	3/8"	5/3	Doble solenoide / centros cerrados	4V330C-10-AC220V
A15065	3/8"	5/3	Doble solenoide / centros abiertos	4V330E-10-DC12V
A15070	3/8"	5/3	Doble solenoide / centros abiertos	4V330E-10-DC24V
A15075	3/8"	5/3	Doble solenoide / centros abiertos	4V330E-10-AC110V
A15080	3/8"	5/3	Doble solenoide / centros abiertos	4V330E-10-AC220V

Nota: Estas válvulas vienen con LED indicador como equipo standard

MANIFOLD PARA VALVULAS

SERIE 4V3 - 3/8"



Código	Estaciones
A 15200	2
A 15205	3
A 15210	4
A 15215	5
A 15220	6
A 15225	7
A 15230	8
A 15235	9
A 15240	10
A 15245	11
A 15250	12

Como ordenar sus válvulas en manifold

- Seleccione las válvulas que requiere su sistema
- Elija el código de acuerdo al número de estaciones
- Puede combinar válvulas de operador solenoide 4V3 con válvulas de operador neumático 4A3

Código	Bobina
A 16300	DC12V
A 16305	DC24V
A 16310	AC24V
A 16315	AC110V
A 16320	AC220V

4V310

4V320

4V330C

4V330E

Especificaciones Técnicas

Operación	Piloto interno
Area del orificio (CV)	30mm ² (1,68)
Lubricación	No requiere lubricación
Presión de operación	1,5 ~ 8 Kg./cm ² (21 ~ 114 PSI)
Máxima presión	10,5 Kg./cm ² (150 PSI)
Temperatura	5 ~ 60 °C (41 ~ 140 °F)
Corriente Alterna	50/60 Hz
Variación del voltaje	± 10 %
Consumo de potencia	AC: 4,5VA DC: 3W
Aislamiento de la bobina	Clase F
Protección bobina	IP65 (DIN40050)
Conector	Tipo DIN
Máxima frecuencia	4 Ciclos / seg.
Tiempo de respuesta	0,05 Seg.



Anexo D

Catalogo y plano del ventilador centrifugo.

Ventiladores centrífugos de media presión MB

Envoltorio en chapa de acero laminado al carbono. Turbina de simple oído reforzada en plancha de acero galvanizado, dinámicamente equilibrada. Protegidos mediante recubrimiento de pintura polvo EPOXY anticorrosiva. Motores asíncronos de jaula de ardilla. Aislamiento eléctrico clase F y grado de protección IP-55.



MOD: 10/4 a 20/8



MOD: 22/9 a 28/11

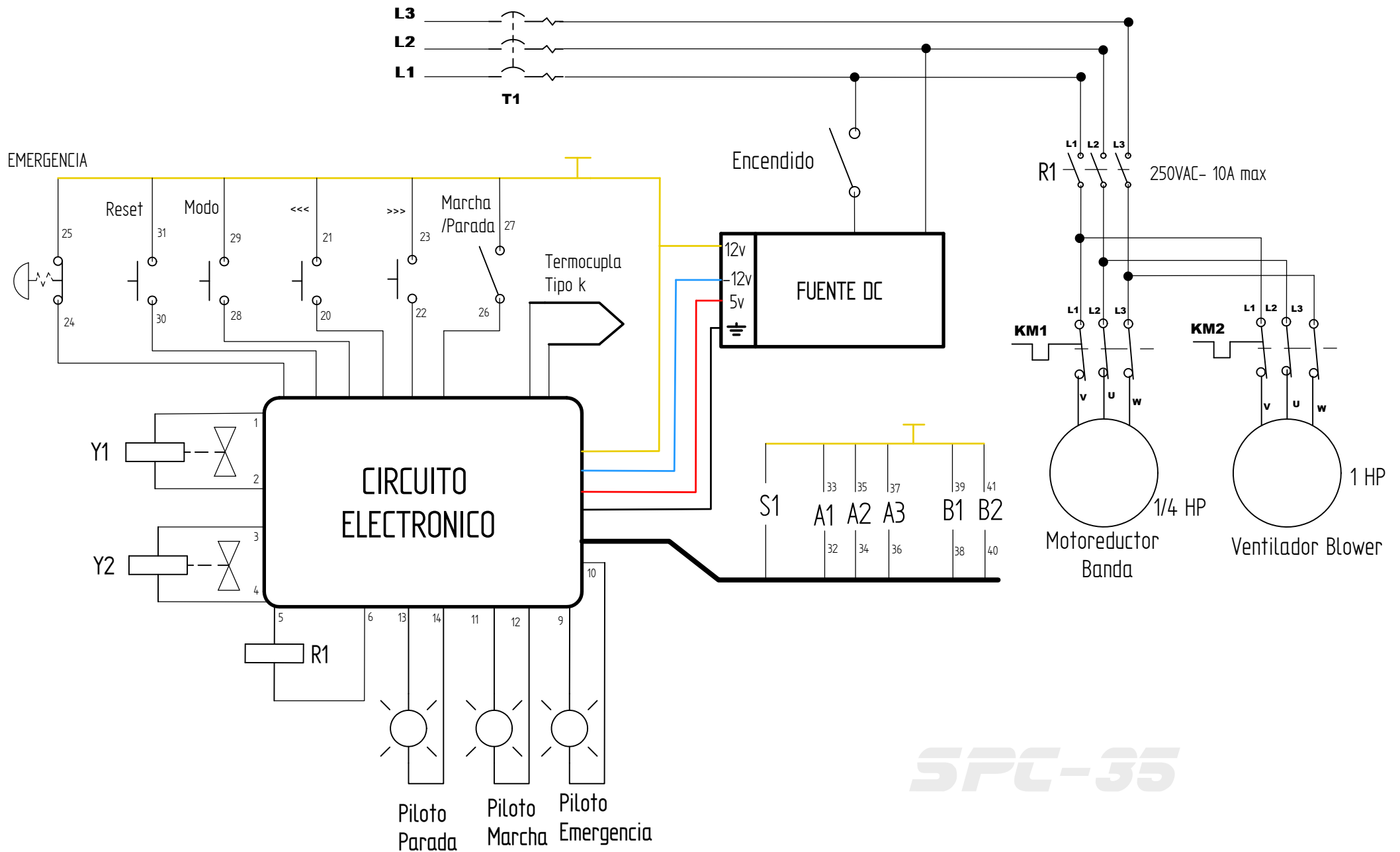


MOD: 31/12 a 63/25

Modelo	Serie	R.p.m. max.	I máx. A 230/400/690	Potencia Nominal W	Caudal máx. (m ³ /h)	Nivel Sonoro dB (A)	Temp. máx. aire °C	Peso Kg.	P.V.P.
MB-10/4-M2-1/15	Monof.	2720	0,4/-/-	50	310	50	130	2,5	198,70
MB-12/5-M2-1/7	Monof.	2840	0,87/-/-	90	510	62	130	5	153,70
MB-12/5-M4-1/10	Monof.	1360	0,6/-/-	60	320	50	130	5	164,30
MB-14/5-M2-1/3	Monof.	2760	2,06/-/-	250	1050	59	130	7	179,10
MB-16/6-M2-1/2	Monof.	2760	2,93/-/-	370	1400	70	130	9,5	180,70
MB-16/6-M4-1/4	Monof.	1430	1,7/-/-	180	1100	57	130	9,5	190,80
MB-18/7-M2-1	Monof.	2810	5,3/-/-	750	1900	68	130	15	323,00
MB-18/7-M4-1/3	Monof.	1410	1,4/-/-	250	1200	63	130	10	317,20
MB-20/6-M2-1/2	Monof.	2760	2,93/-/-	370	880	68	130	14	333,50
MB-20/8-M2-1,5	Monof.	2770	8,02/-/-	1100	2100	68	130	19	386,20
MB-20/8-M4-1/2	Monof.	1360	2,6/-/-	370	2200	60	130	15	329,80
MB-12/5-T2-1/7	Trif.	2780	0,55/0,32/-	90	510	62	130	5	131,40
MB-12/5-T4-1/10	Trif.	1450	0,7/0,4/-	60	320	50	130	5	147,30
MB-14/5-T2-1/3	Trif.	2750	1,34/0,78/-	250	1050	59	130	7	160,50
MB-16/6-T2-1/2	Trif.	2860	2,47/1,43/-	370	1400	70	130	9,5	164,50
MB-16/6-T4-1/4	Trif.	1360	1,08/0,63/-	180	1100	57	130	9,5	169,30
MB-18/7-T2-1	Trif.	2840	3,05/1,76/-	750	1900	68	130	15	298,50
MB-18/7-T4-1/3	Trif.	1410	1,32/0,76/-	250	1200	63	130	10	292,90
MB-20/6-T2-1/2	Trif.	2780	1,97/1,14/-	370	880	68	130	14	331,00
MB-20/8-T2-1,5	Trif.	2820	5,01/2,9/-	1100	2100	68	130	19	344,70
MB-20/8-T4-1/2	Trif.	1420	2,1/1,2/-	370	2200	60	130	15	311,60
MB-22/9-T2-1,5	Trif.	2820	5,01/2,9/-	1100	1800	70	130	24	473,20
MB-22/9-T2-3	Trif.	2860	8,26/4,78/-	2200	3000	74	130	30	496,10
MB-22/9-T4-3/4	Trif.	1400	2,8/1,6/-	550	2700	60	130	22	440,20
MB-25/10-T2-3	Trif.	2860	8,26/4,78/-	2200	2600	77	130	32	536,20
MB-25/10-T2-4	Trif.	2880	12,6/7,3/-	3000	3200	78	130	38	585,10
MB-25/10-T4-1,5	Trif.	1400	4,65/2,69/-	1100	3500	64	130	33	576,60
MB-28/11-T2-5,5	Trif.	2840	14,9/8,61/-	4000	4000	81	130	46	730,70
MB-28/11-T4-3	Trif.	1410	9,09/5,26/-	2200	5000	68	130	44	657,30
MB-28/11-T6-1	Trif.	900	3,99/2,31/-	750	3600	58	130	37	570,00
MB-31/12-T4-4	Trif.	1420	13,2/7,65/-	3000	5700	72	130	57	993,00
MB-31/12-T4-5,5	Trif.	1420	15,9/9,21/-	4000	6800	73	130	59	1054,60
MB-35/14-T4-4	Trif.	1420	13,2/7,65/-	3000	6000	78	130	63	1081,70
MB-35/14-T4-7,5	Trif.	1460	-/12,8/7,3	5500	9000	79	130	76	1211,00
MB-40/16-T4-7,5	Trif.	1460	-/12,8/7,3	5500	9000	78	130	101	1364,60
MB-40/16-T4-10	Trif.	1420	-/15,3/9,5	7500	11000	79	130	110	1418,10
MB-40/16-T6-3	Trif.	910	10,1/5,81/-	2200	7000	71	130	94	1257,80
MB-45/18-T4-7,5	Trif.	1460	-/12,8/7,3	5500	8000	80	130	116	1605,70
MB-45/18-T4-10	Trif.	1420	-/15,3/9,5	7500	11000	82	130	119	1670,20
MB-45/18-T4-15	Trif.	1430	-/38,06/22	11000	18000	86	130	190	1943,30
MB-45/18-T6-3	Trif.	950	10,4/6/-	2200	9000	76	130	112	1352,20
MB-50/20-T6-5,5	Trif.	955	15,7/9,1/-	4000	10000	79	130	200	2020,20
MB-50/20-T6-7,5	Trif.	955	-/12,3/7,1	5500	14000	81	130	215	2233,90
MB-55/22-T6-15	Trif.	965	-/22/12,7	11000	22500	86	130	240	3035,30
MB-63/25-T6-20	Trif.	970	-/29/16,7	15000	27500	89	130	330	3127,90

Anexo E

Esquemáticos del circuito eléctrico y la tarjeta electrónica.

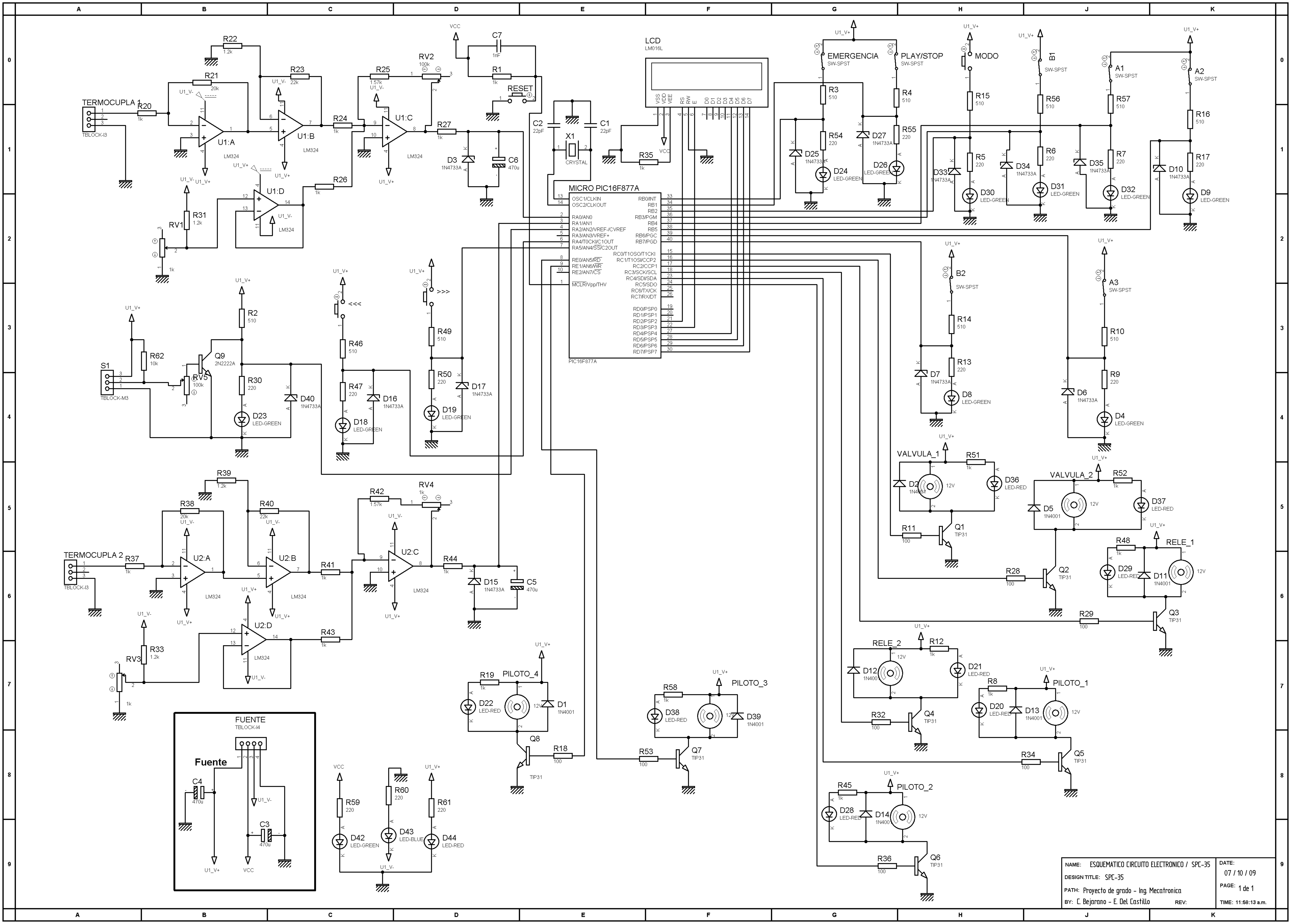


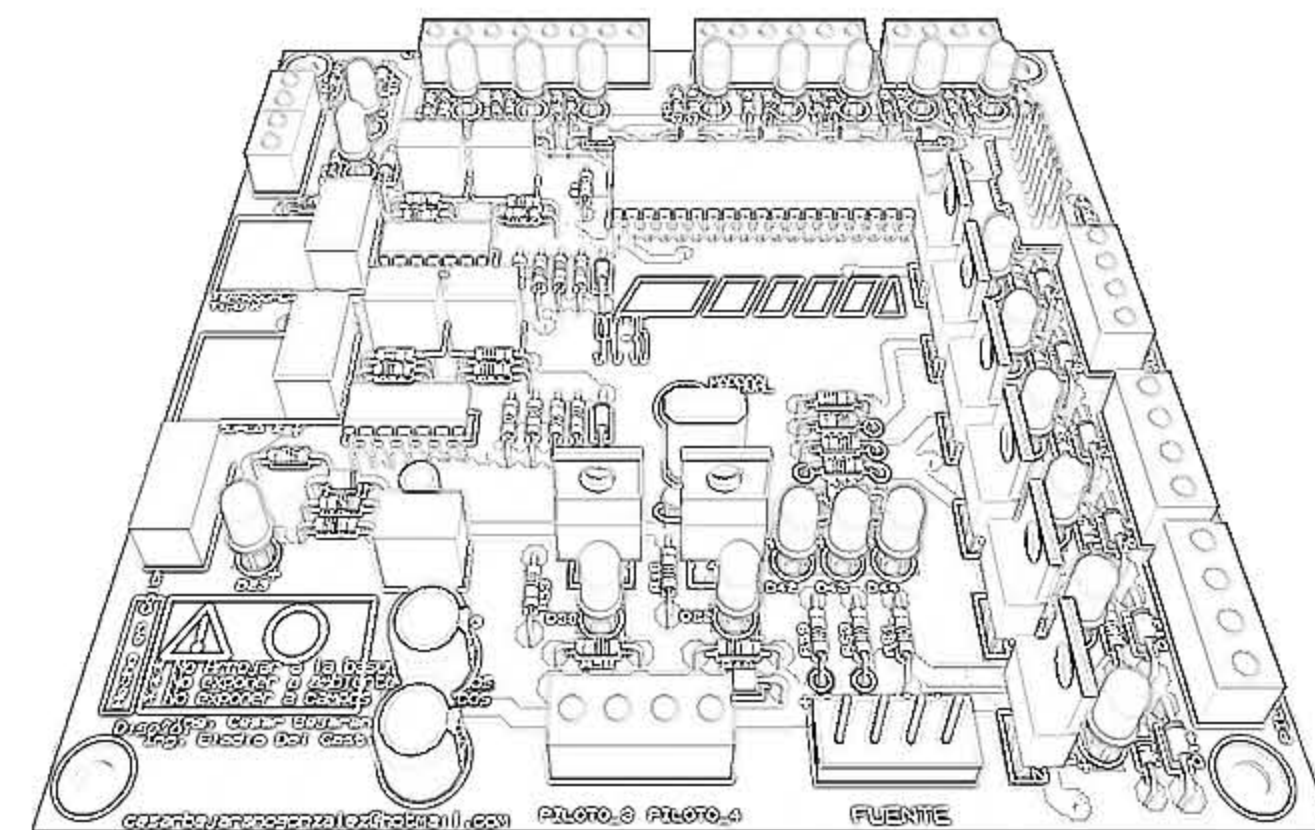
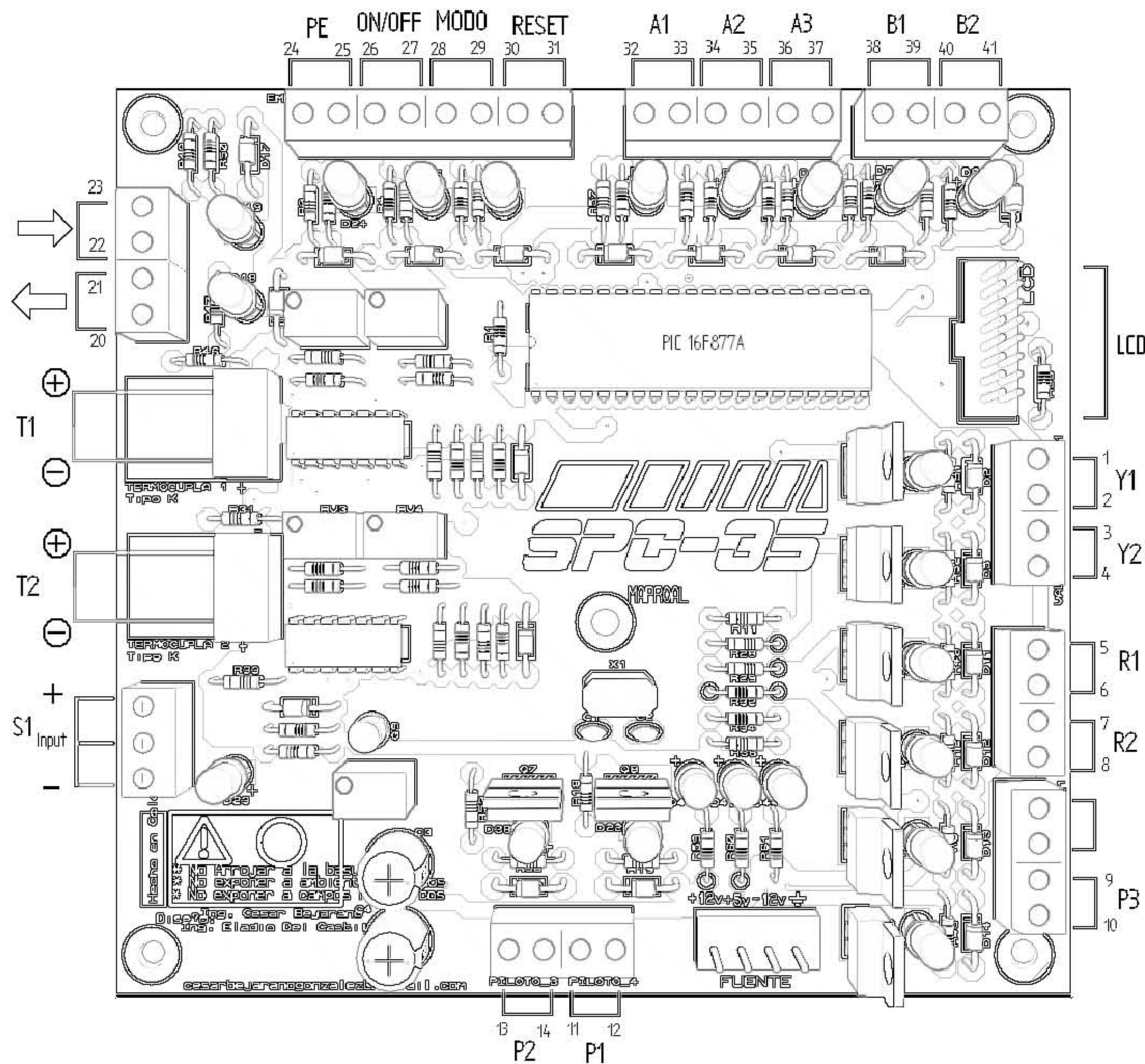
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Salvo indicación contraria Cotas
en milímetros y ángulos en °

Éscala: --
A3

Nombre : Esquemático eléctrico SPC-35
Elaboró : Cesar L. Bejarano G. y Eladio A. Del Castillo





FILE NAME: TARGETA MADRE SPC-35

DESIGN TITLE: LAYOUT TARGETA ELECTRONICA

PATH: PROYECTO DE GRADO - ING. MECATRONICA

BY: C. BEJARANO Y E. DEL CASTILLO

REV:

DATE:

3 / 02 / 2010

PAGE:

1 of 1

TIME: 09:32:20 p.m.

Anexo F

Catálogos de relés y guarda-motores.

Guardamotores Telemecanique

TeSys GV2 / GV3

GV2 ME



GV2 P



Botón Pulsador (GV2 ME), perilla giratoria (GV2 P)

TeSys GV2

Potencias nominales para motores trifásicos 50/60 Hz en categoría AC-3	400/415 V	P	-	0.06 kW	0.09 kW	0.12...0.18 kW				
	Capacidad Interruptiva	Icu	-	> 100 kA	> 100 kA	> 100 kA				
	500 V	P		-	-	-				
	Capacidad Interruptiva	Icu	-	-	-	-				
	690 V	P	-	-	-	0.37 kW				
	Capacidad Interruptiva	Icu	-	-	-	> 100 kA				
Rango de ajuste del disparo térmico			0.1...0.16 A		0.1...0.25 A		0.25...0.40 A		0.40...0.63 A	
Corriente de disparo magnético			1.5 A		2.4 A		5 A		8 A	
Guardamotor termomagnético con terminales atornillables			GV2 ME01	GV2 P01	GV2 ME02	GV2 P02	GV2 ME03	GV2 P03	GV2 ME04	GV2 P04
Guardamotor termomagnético con terminales tipo resorte			GV2 ME013	-	GV2 ME023	-	GV2 ME033	-	GV2 ME043	-
Guardamotor termomagnético con terminales tipo anillo			GV2 ME016	-	GV2 ME026	-	GV2 ME036	-	GV2 ME046	-



GV2 LE



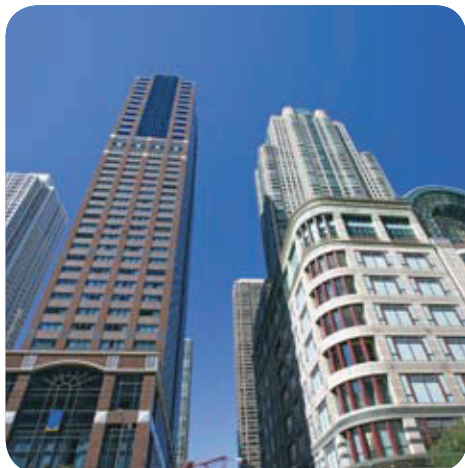
GV2 L



Palanca tipo toggle (GV2 LE), perilla giratoria (GV2 L)

TeSys GV2

Potencias nominales para motores trifásicos 50/60 Hz en categoría AC-3	400/415 V	P	0.06...0.09 kW	0.12...0.18 kW
	Capacidad Interruptiva	Icu	> 100 kA	> 100 kA
	500 V	P	-	-
	Capacidad Interruptiva	Icu	-	-
	690 V	P	-	0.37 kW
	Capacidad Interruptiva	Icu	-	> 100 kA
Protección magnética nominal			0.4 A	0.63 A
Corriente de disparo Id +/- 20%			5 A	8 A
Guardamotor magnético con terminales atornillables	GV2 LE03	GV2 L03	GV2 LE04	GV2 L04



TeSys GV3

Potencias nominales para
motores trifásicos 50/60 Hz
en categoría AC-3

400/415 V P

Capacidad Interruptiva Icu

500 V P

Capacidad Interruptiva Icu

690 V P

Capacidad Interruptiva Icu

Rango de ajuste del disparo térmico

Corriente de disparo magnético

Guardamotor termomagnético con terminales EverLink®

Guardamotor termomagnético para terminales tipo anillo

0.25 kW	0.37...0.55 kW	0.75 kW	1.1...1.5 kW	2.2 kW	3...4 kW
> 100 kA	> 100 kA	> 100 kA	> 100 kA	> 100 kA	> 100 kA
-	0.37...0.75 kW	1.1 kW	1.5...2.2 kW	3 kW	4...5.5 kW
-	> 100 kA	> 100 kA	> 100 kA	50 kA > 100 kA	10 kA 50 kA
0.55 kW	0.75...1.1 kW	1.5 kW	2.2...3 kW	4 kW	5.5... 7.5 kW
> 100 kA	> 100 kA	3 kA 8kA	3 kA 8kA	3 kA 6kA	3 kA 6kA
0.63...1 A	1...1.6 A	1.6...2.5 A	2.5...4 A	4...6.3 A	4...10 A
13 A	22.5 A	33.5 A	51 A	78 A	138 A
GV2 ME05	GV2 P05	GV2 ME06	GV2 P06	GV2 ME07	GV2 P07
GV2 ME053	-	GV2 ME063	-	GV2 ME073	-
GV2 ME056	-	GV2 ME066	-	GV2 ME076	-

Tabla de sustitución de guardamotores termomagnéticos GV3ME						
Power, 400 V	Gama Actual	Ir	Icu / 400 V	Sustituto	Ir	Icu / 400 V
0.55 kW	GV3ME06	1...1.6 A	100 kA	GV2P06	1...1.6 A	>100 kA
0.75 kW	GV3ME07	1.6...2.5 A	100 kA	GV2P07	1.6...2.5 A	>100 kA
1.5 kW	GV3ME08	2.5...4 A	100 kA	GV2P08	2.5...4 A	>100 kA
2.2 kW	GV3ME10	4...6 A	100 kA	GV2P10	4...6 A	>100 kA
4 kW	GV3ME14	6...10 A	100 kA	GV2P14	6...10 A	>100 kA
5.5 kW	GV3ME20	10...16 A	100 kA	GV3P13	9...13 A	100 kA
7.5 kW	GV3ME20	10...16 A	100 kA	GV3P18	12...18 A	100 kA
11 kW	GV3ME25	16...25 A	100 kA	GV3P25	17...25 A	100 kA
15 kW	GV3ME40	25...40 A	35 kA	GV3P32	23...32 A	35 kA
18.5 kW	GV3ME40	25...40 A	35 kA	GV3P40	30...40 A	50 kA
22 kW	GV3ME63	40...63 A	35 kA	GV3P50	37...50 A	50 kA
30 kW	GV3ME63	40...63 A	35 kA	GV3P65	48...65 A	50 kA

Tabla de sustitución de guardamotores magnéticos GK3EF					
Power, 400 V	Gama Actual	Icu / 400 V	Sustituto	Ir	Icu / 400 V
11 kW	GK3EF40	50 kA	GV3L25	25 A	100 kA
15 kW	GK3EF40	50 kA	GV3L32	32 A	100 kA
18.5 kW	GK3EF40	50 kA	GV3L40	40 A	50 kA
22 kW	GK3EF65	35 kA	GV3L50	50 A	50 kA
30 kW	GK3EF65	35 kA	GV3L65	65 A	50 kA

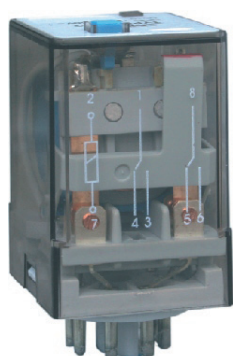
0.25...0.37 kW	0.55 kW	0.75 kW	1.1...1.5 kW	2.2 kW	3...4 kW
> 100 kA	> 100 kA	> 100 kA	> 100 kA	> 100 kA	> 100 kA
0.37 kW	0.55...0.75 kW	1.1 kW	1.5...2.2 kW	3 kW	4...5.5 kW
-	> 100 kA	> 100 kA	> 100 kA	50 kA > 100 kA	10 kA
0.55...0.75 kW	1.1 kW	1.5 kW	3 kW	4 kW	5.5... 7.5 kW
> 100 kA	> 100 kA	3 kA 4kA	3 kA 4kA	3 kA 4kA	3 kA 4kA
1 A	1.6 A	2.5 A	4 A	6.3 A	10 A
13 A	22.5 A	33.5 A	51 A	78 A	138 A
GV2 LE05	GV2 L05	GV2 LE06	GV2 L06	GV2 LE07	GV2 L07
GV2 LE08	GV2 L08	GV2 LE10	GV2 L10	GV2 LE14	GV2 L14



46955



SPC150



47700



48800



50888



51171

DISIPADORES DE CALOR

REF.	DIMENSIONES	PARA SSR
46955	50X50X80 mm	Hasta 15A
46957	64X110X120 mm	Hasta 25A
46959	55X142X150 mm	Hasta 50A
46961	80X100X110 mm	Más de 60A Trifásicos 15-25A



CONTROLADOR DE POTENCIA

CONTROLADOR, Salida: 50A AC1 Alimentación: 220VAC.

Autonics

CONTROL DE ENTRADA

- a) 1 a 5VDC c) ON/OFF
b) 4 a 20mA DC (250Ω) d) Potenciometro 1KΩ

TIPO DE CONTROL

- Ángulo de fase
- Tiempo de ciclo 0.5, 2, 10 seg seleccionable
- ON/OFF (Cruce por cero)

REF.	CONTROL DE POTENCIA	ARRANQUE SUAVE
SPC150	0-100%	0-50 seg.

RELEVOS ELECTROMAGNÉTICOS

RELEVOS Pines Redondos, Contactos Conmutables 10A 250VAC.



REF.	REF.	VOLTAJE	PINES	CONTACTOS
47000	47100	12VDC	8	2
47400	47600	24VDC	8	2
-----	47900	110VDC	8	2
47200	47300	24VAC	8	2
47700	47800	110VAC	8	2
48000	48600	220VAC	8	2
47012	-----	12VAC	8	2
48700	48800	12VDC	11	3
48900	49000	24VAC	11	3
49100	49200	24VDC	11	3
49300	-----	48VDC	11	3
49490	-----	110VDC	11	3
49500	49600	110VAC	11	3
49700	49800	220VAC	11	3

RELEVOS Pines Planos, Contactos Conmutables 12A 250VAC.



REF.	REF.	VOLTAJE	PINES	CONTACTOS
50885	50884	12VDC	8	2
50889	50888	24VAC	8	2
50893	50892	24VDC	8	2
50897	50896	110VAC	8	2
50901	50900	220VAC	8	2
50906	50905	12VDC	11	3
50916	50915	24VDC	11	3
50926	50925	24VAC	11	3
50931	50930	110VAC	11	3
50936	50935	220VAC	11	3

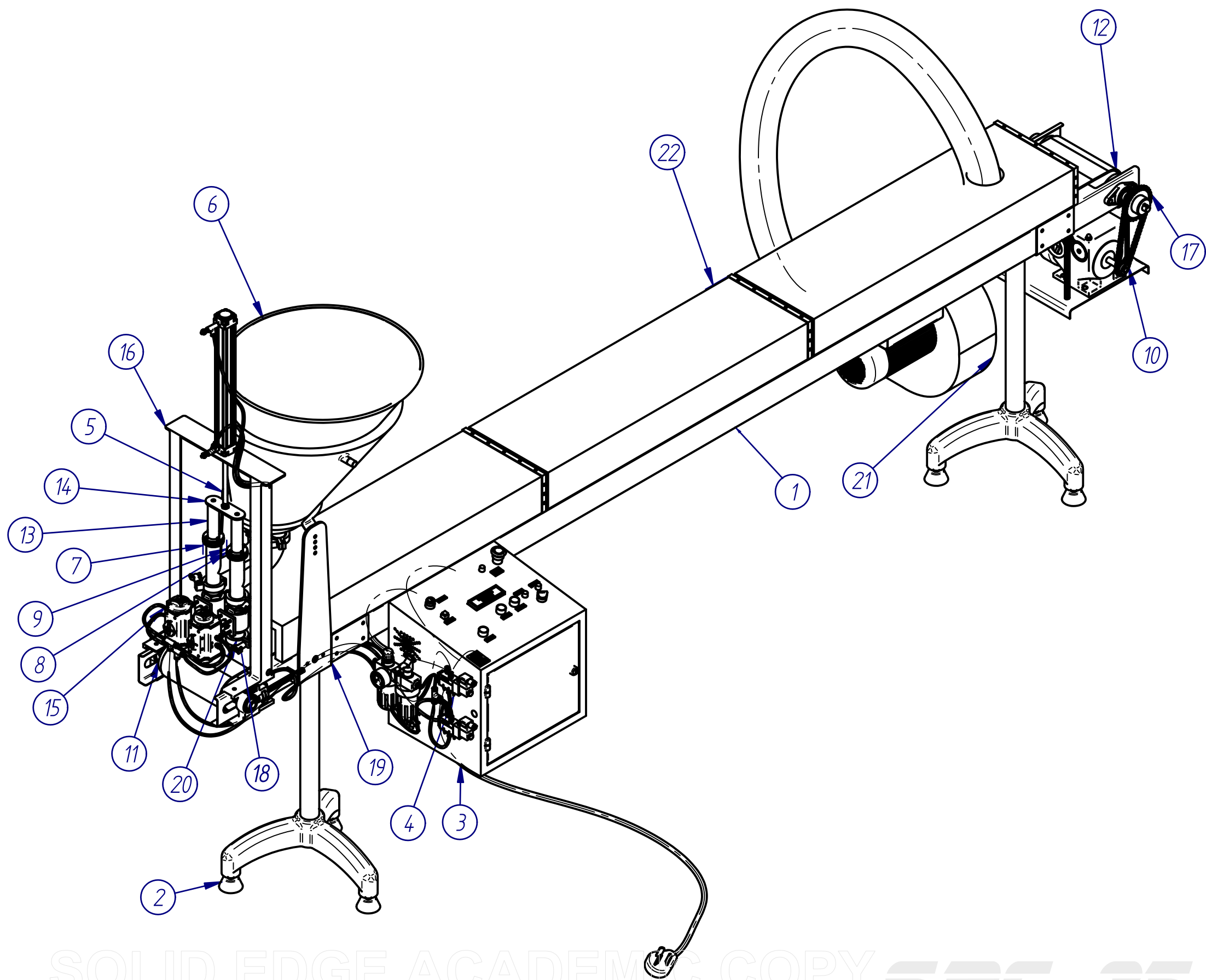
RELEVOS Pines Planos, Contactos Conmutables 6A 250VAC.

REF.	REF.	VOLTAJE	PINES	CONTACTOS
51151	51150	12VDC	14	4
51156	51155	24VDC	14	4
51161	51160	24VAC	14	4
51166	51165	110VAC	14	4
51171	51170	220VAC	14	4

MARCA HF, 8 y 11 Pines Contactos 7A 14 Pines Contactos 5A.

ANEXO G

Planos de la máquina completa y piezas más relevantes.



Núm.	Título	Material	Cant.
1	Chasis banda transportadora	Inox 304	1
2	Pata trípode	Poliamida	2
3	Tablero de control	Inox 304	1
4	Válvula electro-neumática 5-2	—	2
5	Cilindro-pistón neumático	—	1
6	Tolva inclinada	Acero inoxidable A-304	1
7	Tubería tipo clamp	Inox 304	2
8	Empaque de succión	EPDM sanitario	2
9	Tapa bridada	Inox 304	2
10	Motor de la banda transportadora	—	1
11	Rodillo de la banda	Inox 304	2
12	Banda transportadora	EPDM sanitario	1
13	Émbolo de succión	Empack	2
14	Soporte de émbolos	Inox 304	1
15	Válvula con actuador rotativo	—	2
16	Soporte dosificador	Inox 304	1
17	Cadena de transmisión	Inox 304	1
18*	Boquilla	Empack	2
19	Soporte de la tolva	Inox 304	2
20	Abrazadera tipo clamp	Inox 304	6
21	Turbina	—	1
22	Tunel de ventilación	Inox 304	3



UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

PLANO GENERAL DE LA MÁQUINA

Elaborado por:
Cesar I. Bejarano G. y Eladio A. Del Castillo

Fecha:
13/04/10

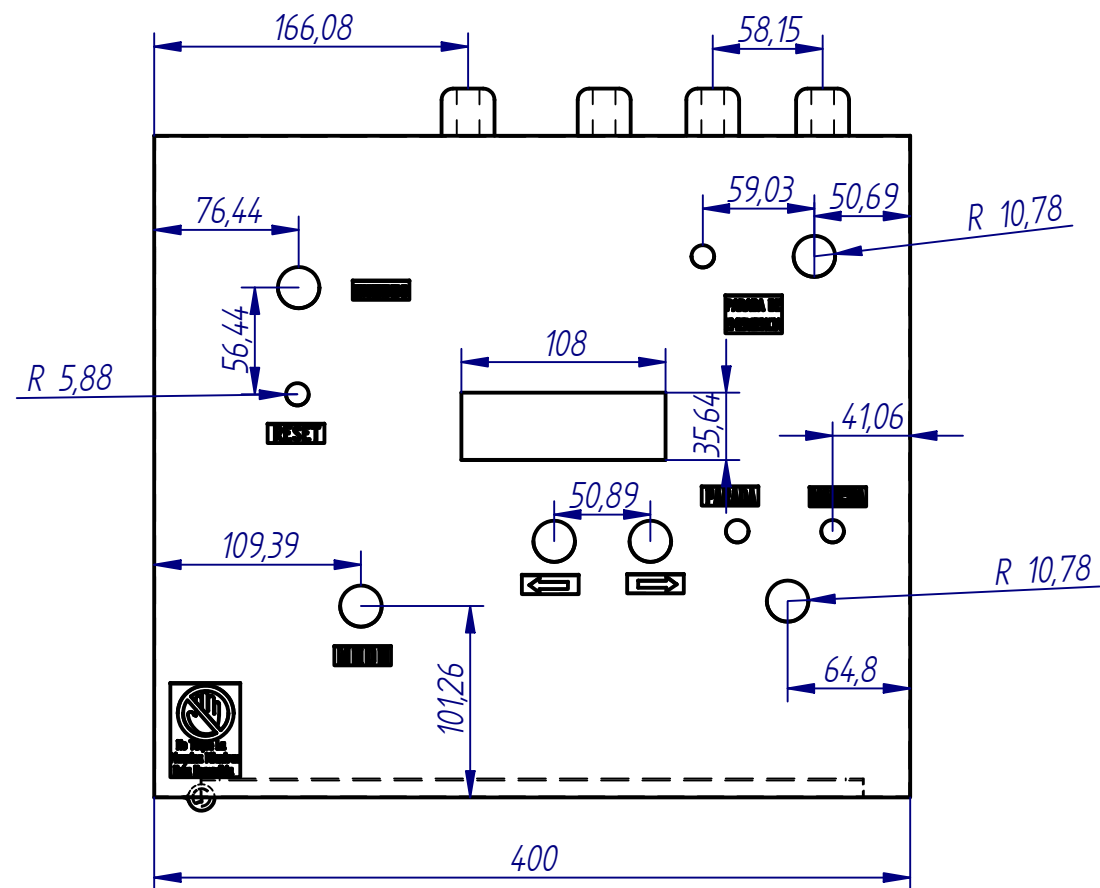


Escala:
1 : 10

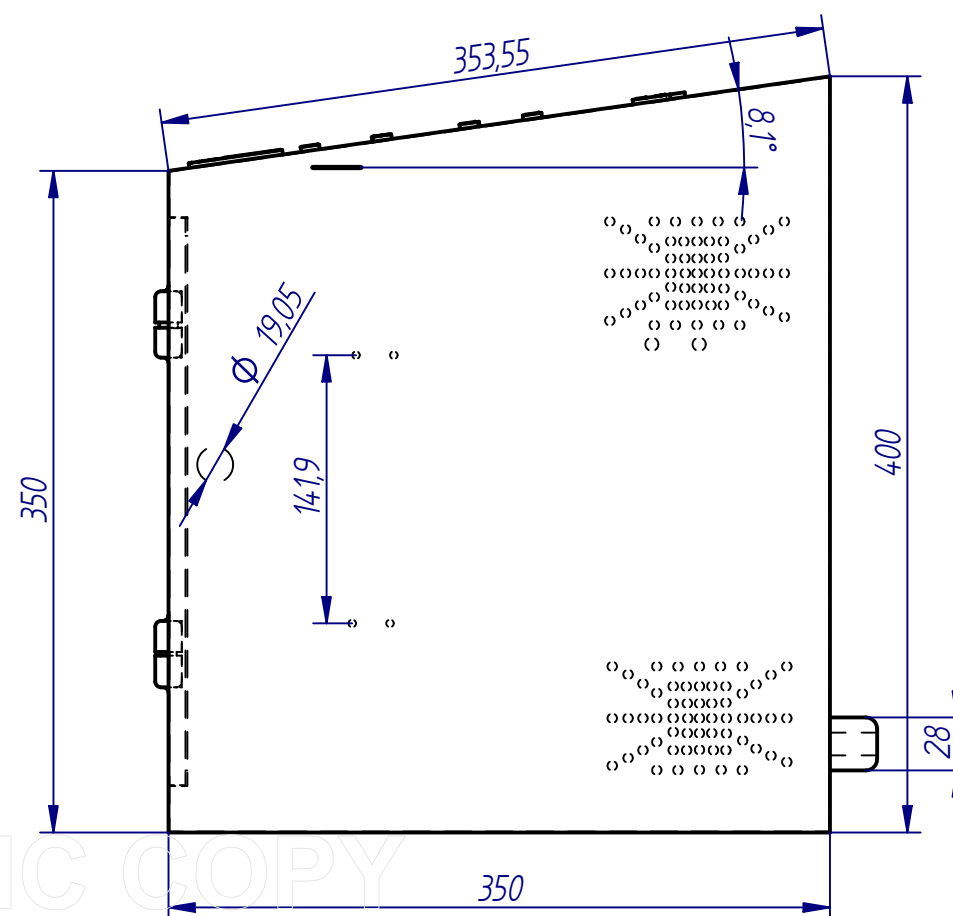
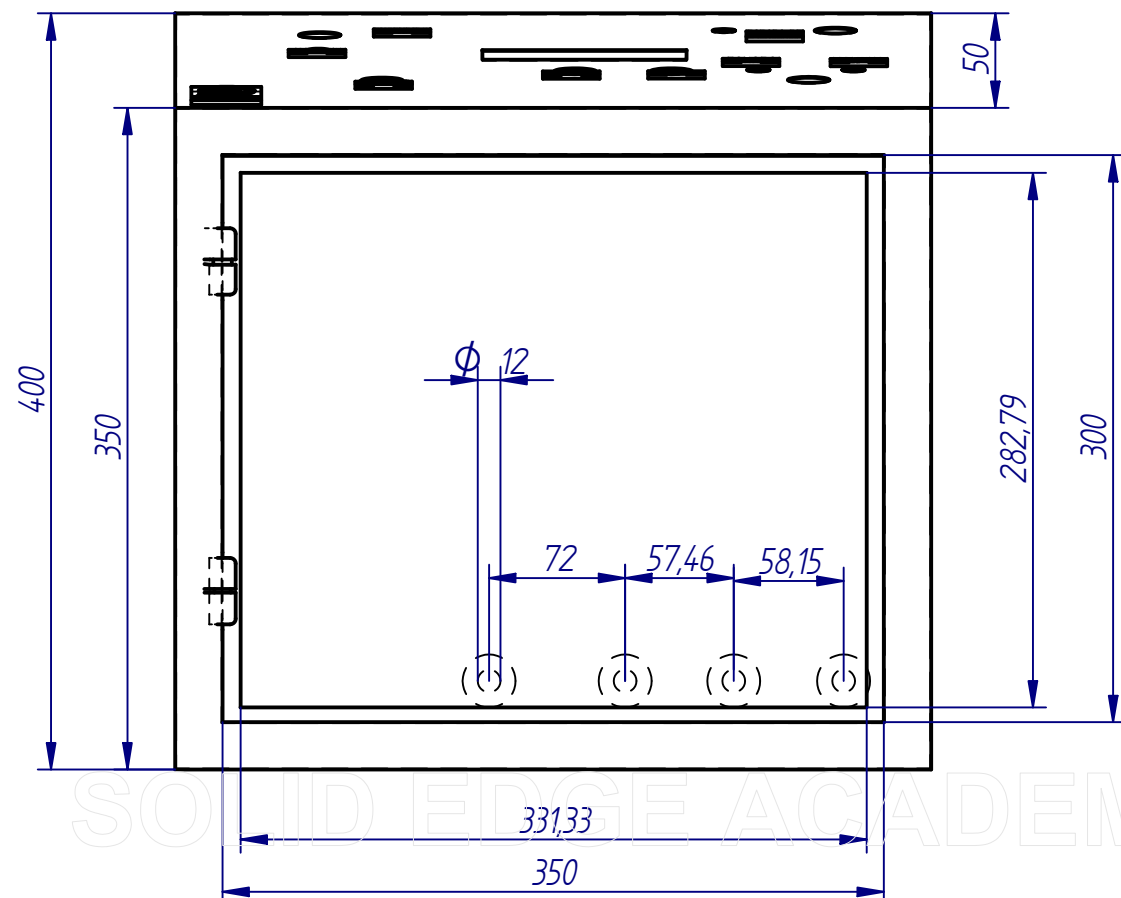
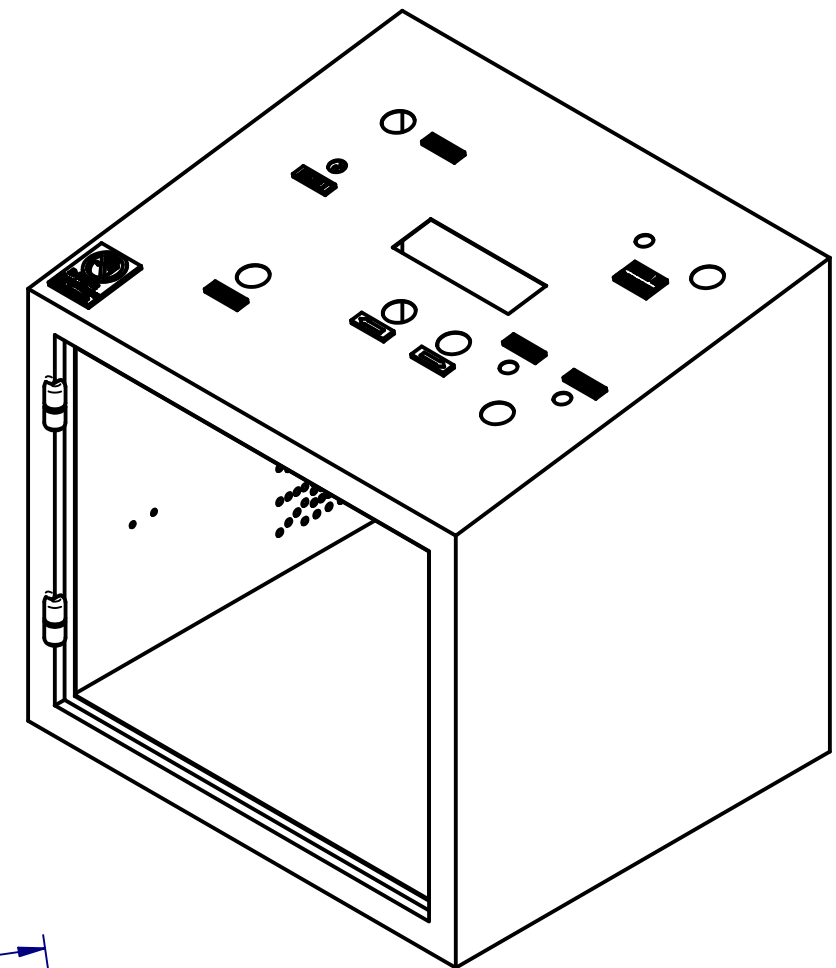
Plano:
1 /10

Aprobado por:

SOLID EDGE ACADEMIC COPY SPC-35



SPC-35



UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

3. TABLERO DE CONTROL

Elaborado por:
Cesar I. Bejarano G. y Eladio A. Del Castillo

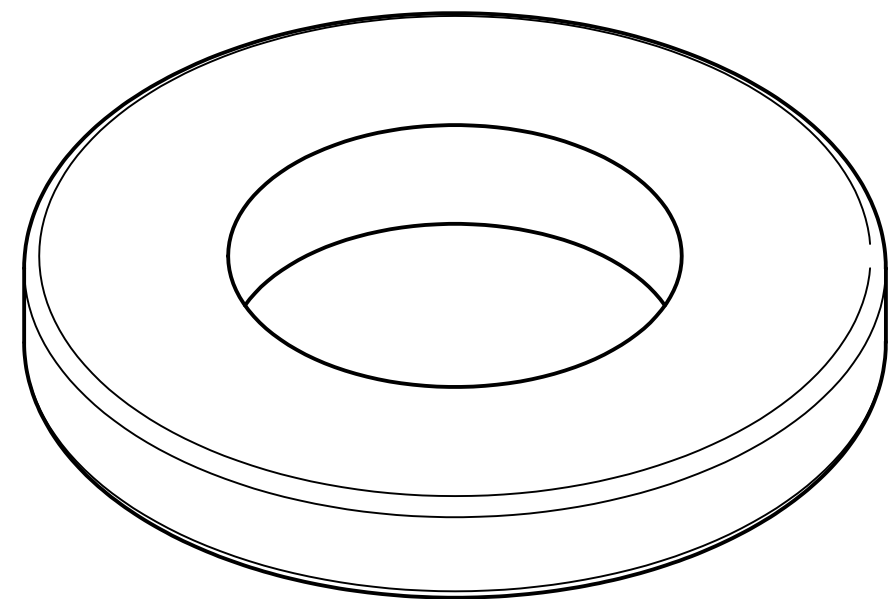
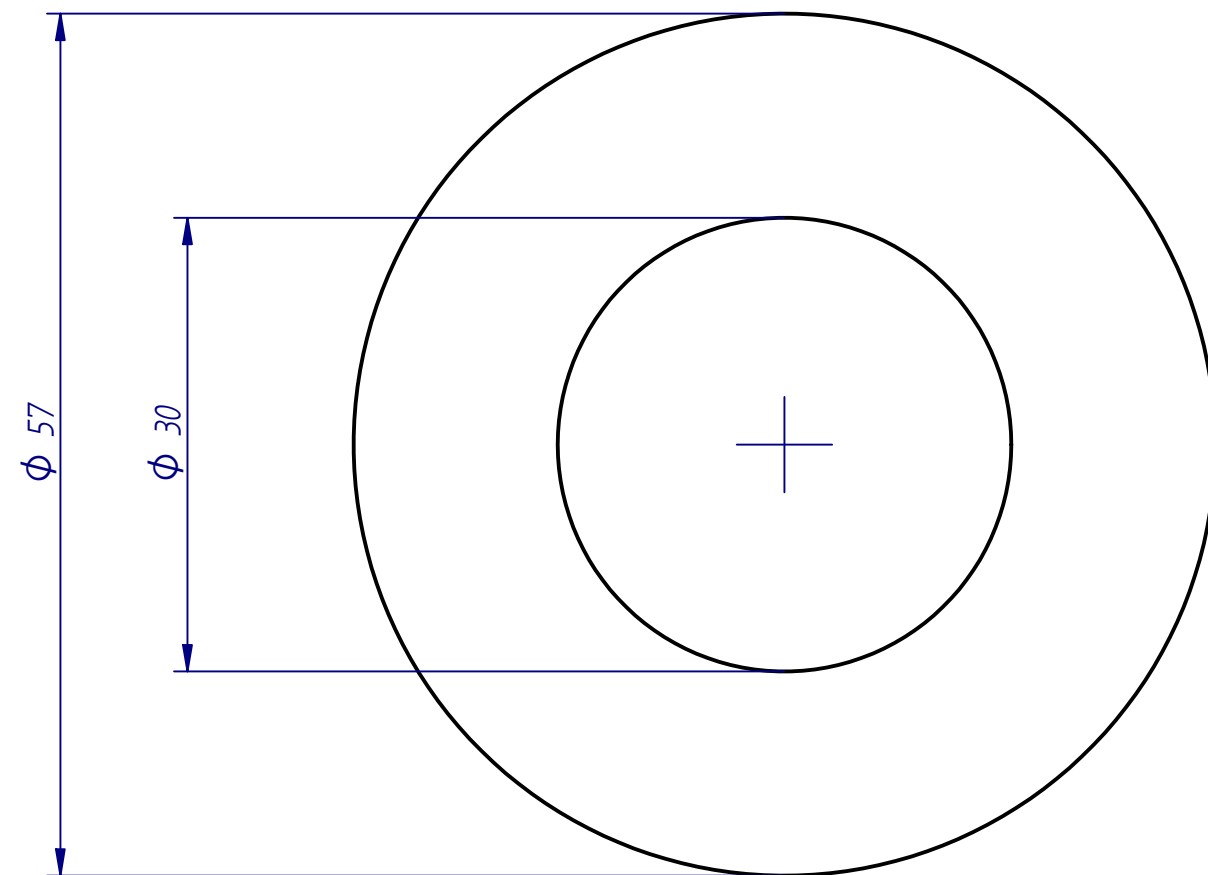
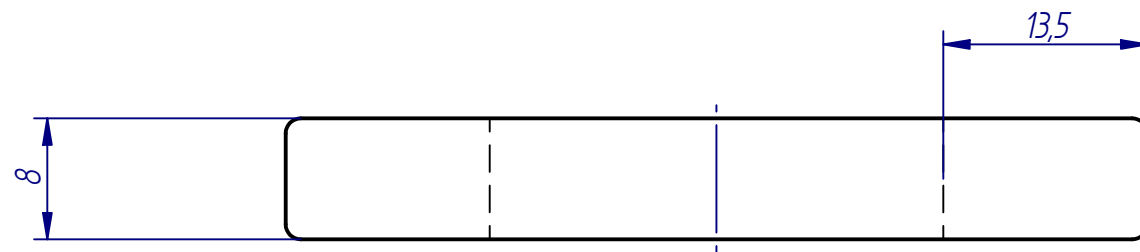
Fecha:
13/04/10



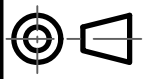
Escala:
1 : 4

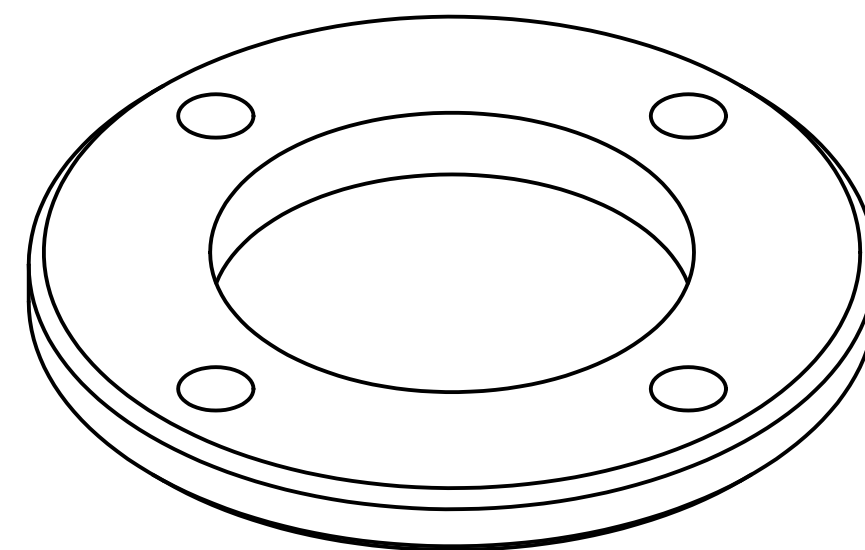
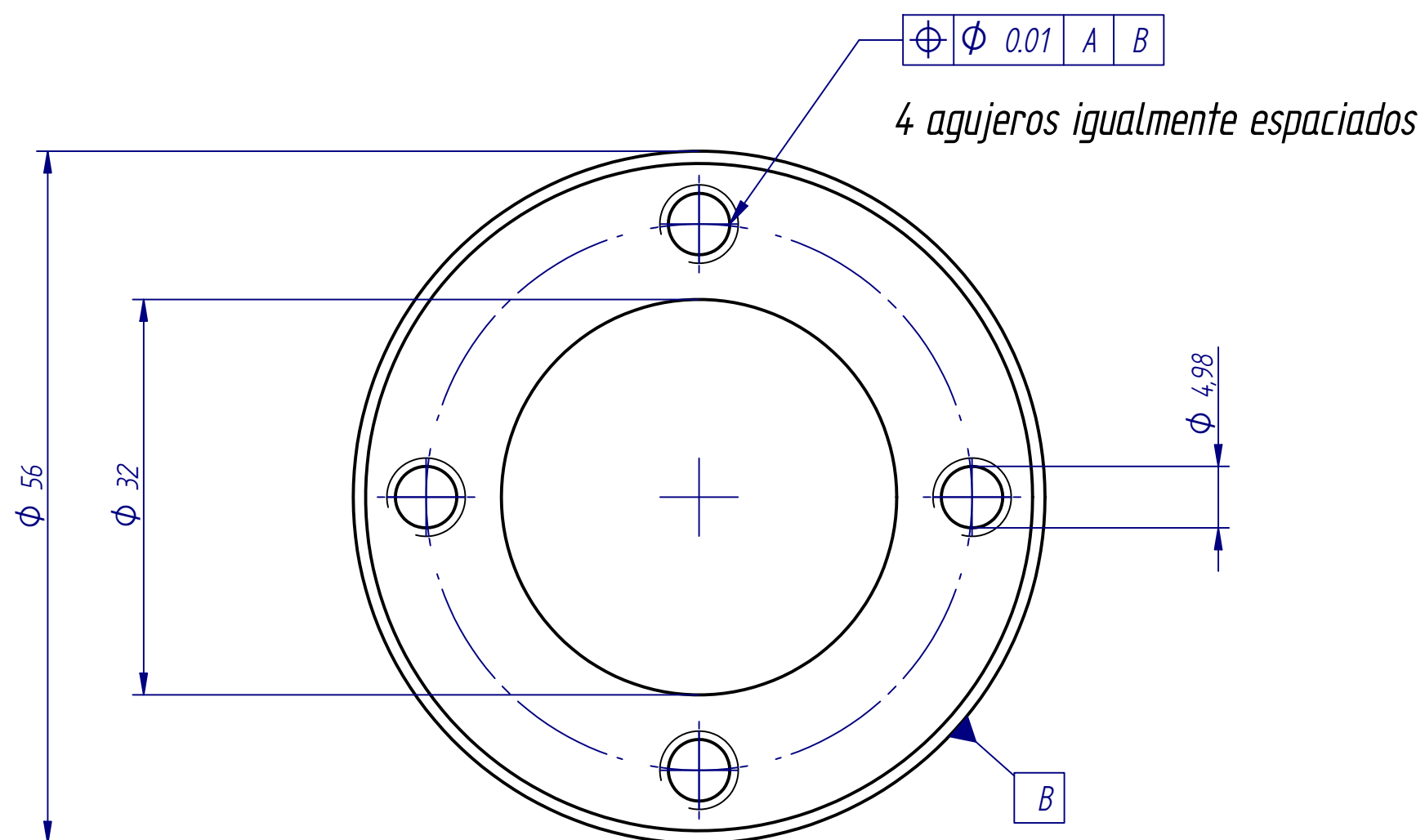
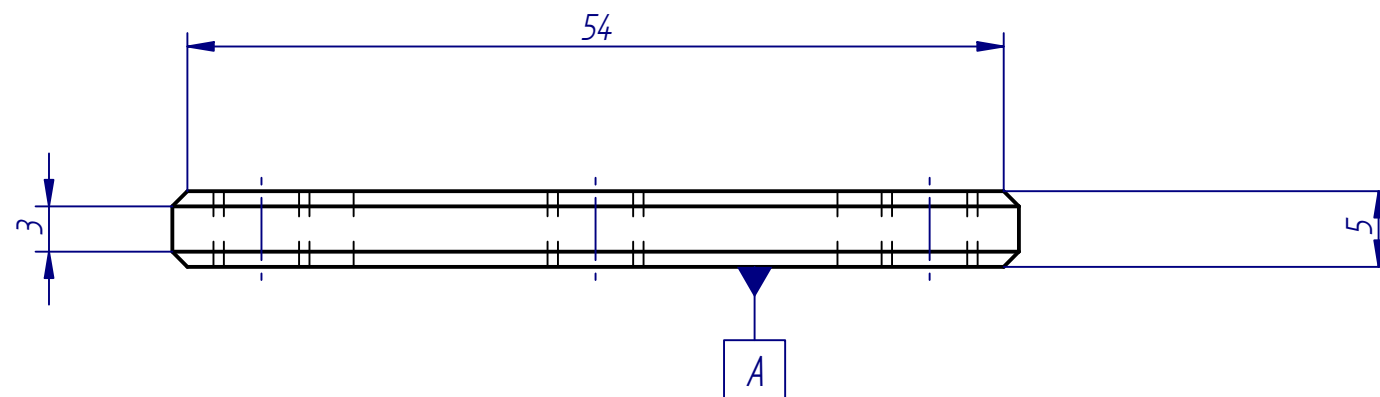
Plano:
2 / 10

Aprobado por:



SOLID EDGE ACADEMIC COPY *SPC-35*

	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		
	8. EMPAQUE DE SUCCIÓN		
Elaborado por: <i>Cesar L. Bejarano G. y Eladio A. Del Castillo</i>		Fecha: 13/04/10	
	Escala: 2 : 1	Plano: 3 /10	Aprobado por:



SOLID EDGE ACADEMIC COPY *SPC-35*

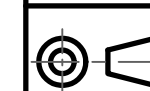


UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

9. TAPA BRIDADA

Elaborado por:
Cesar L. Bejarano G. y Eladio A. Del Castillo

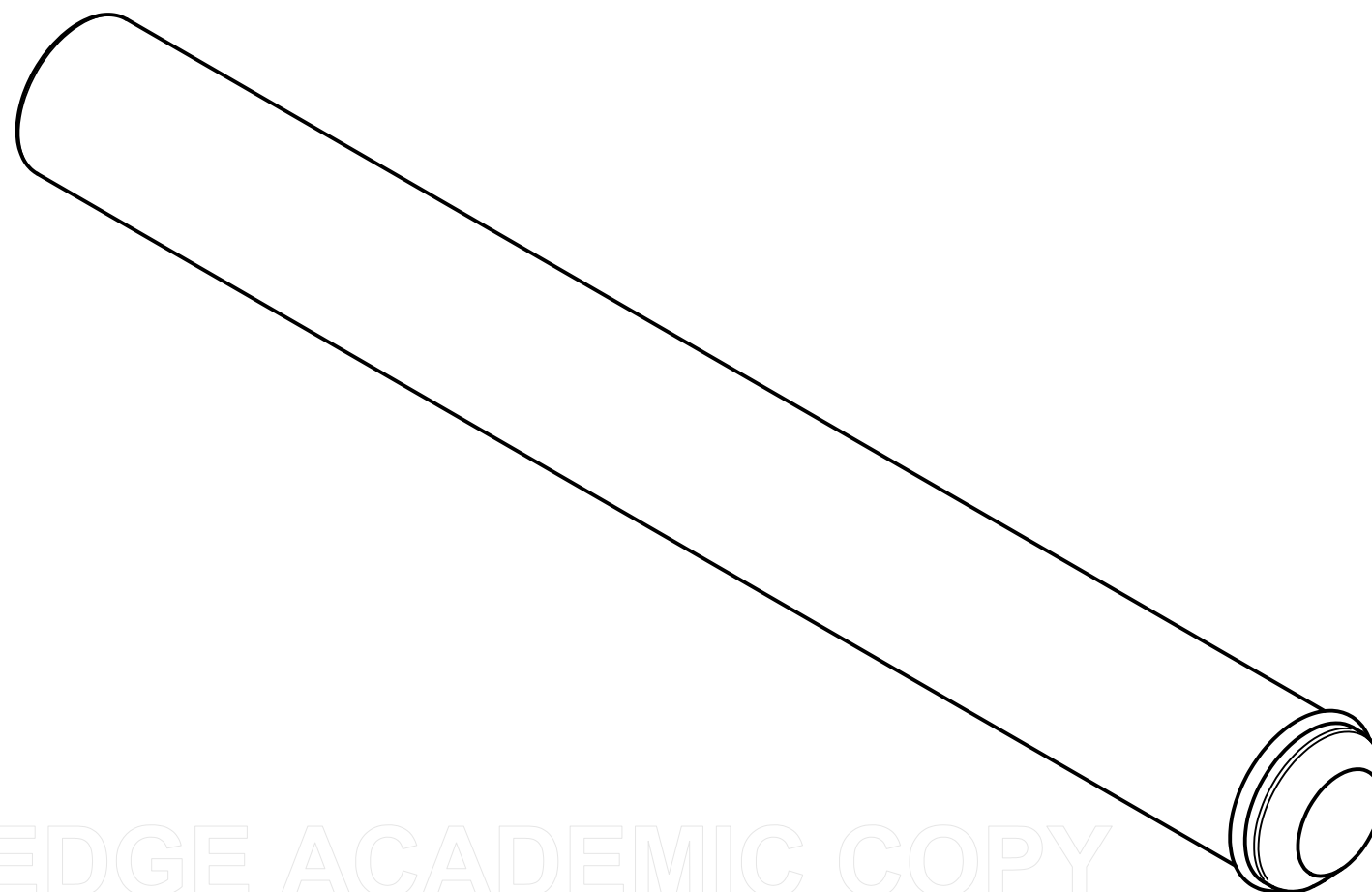
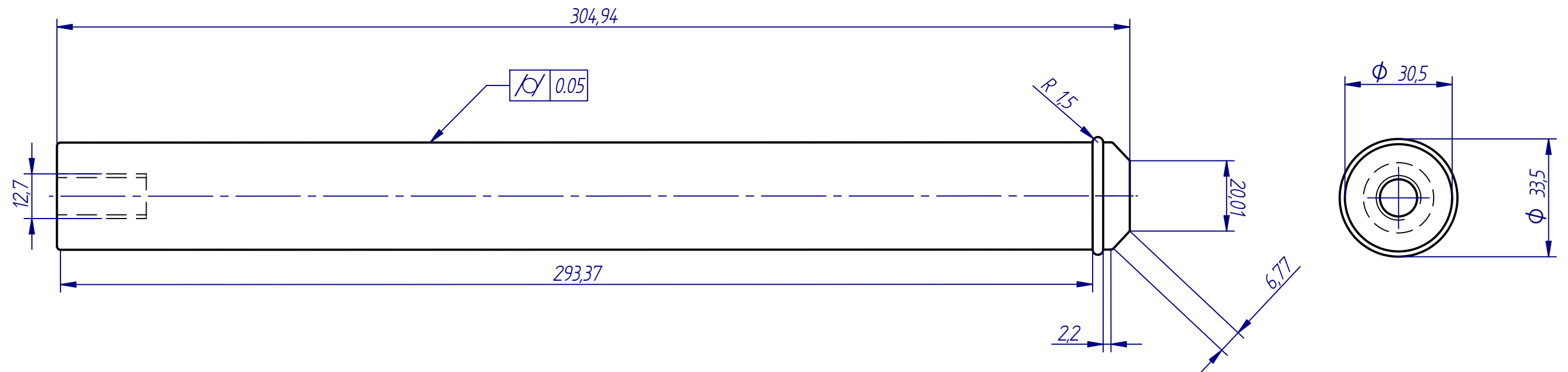
Fecha:
13/04/10



Escala:
2 : 1

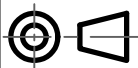
Plano:
4 / 10

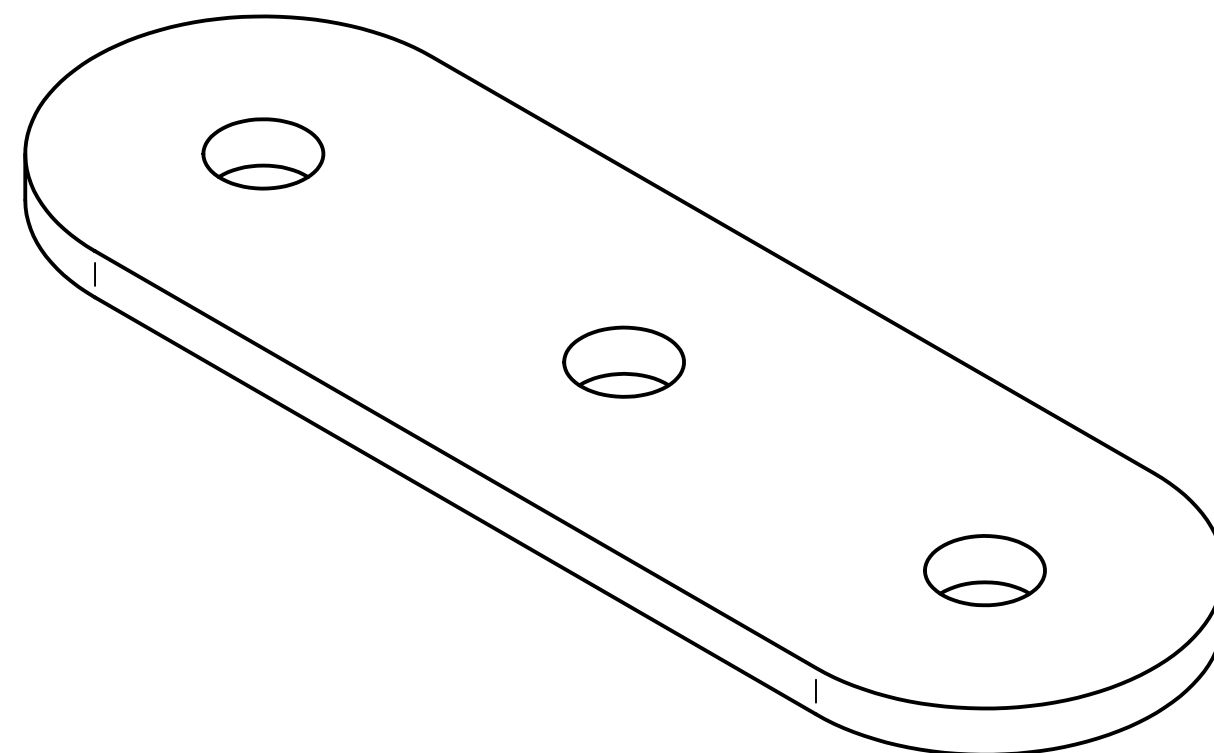
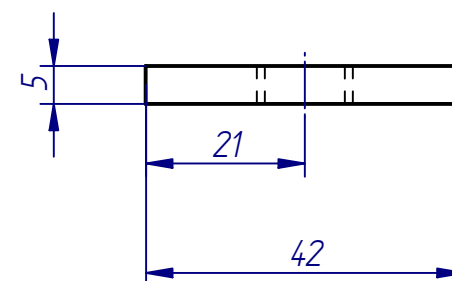
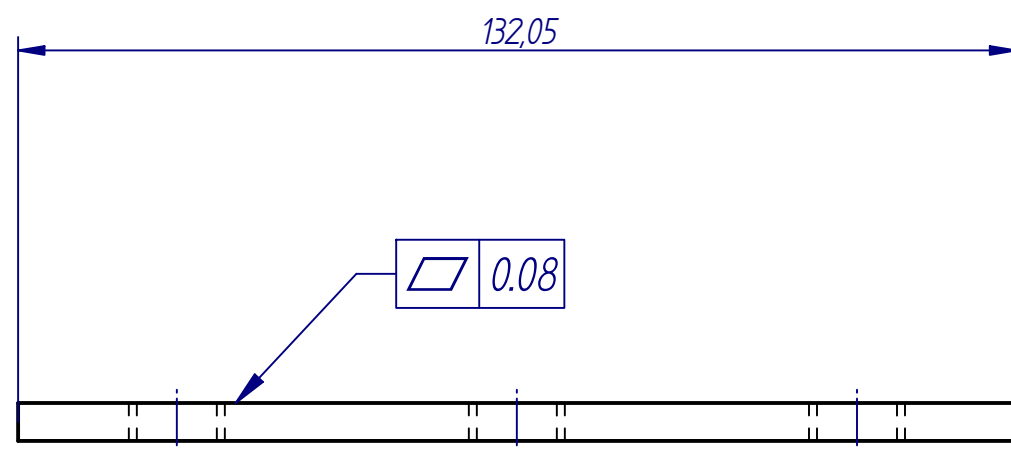
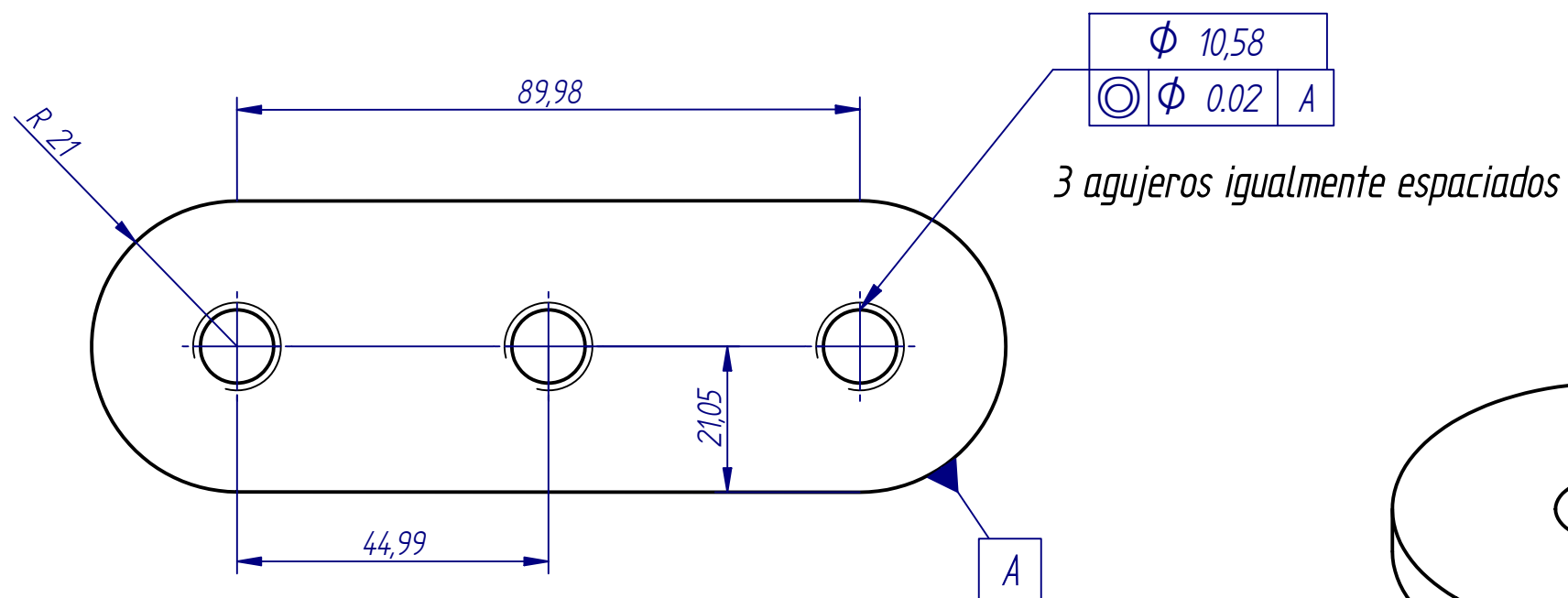
Aprobado por:

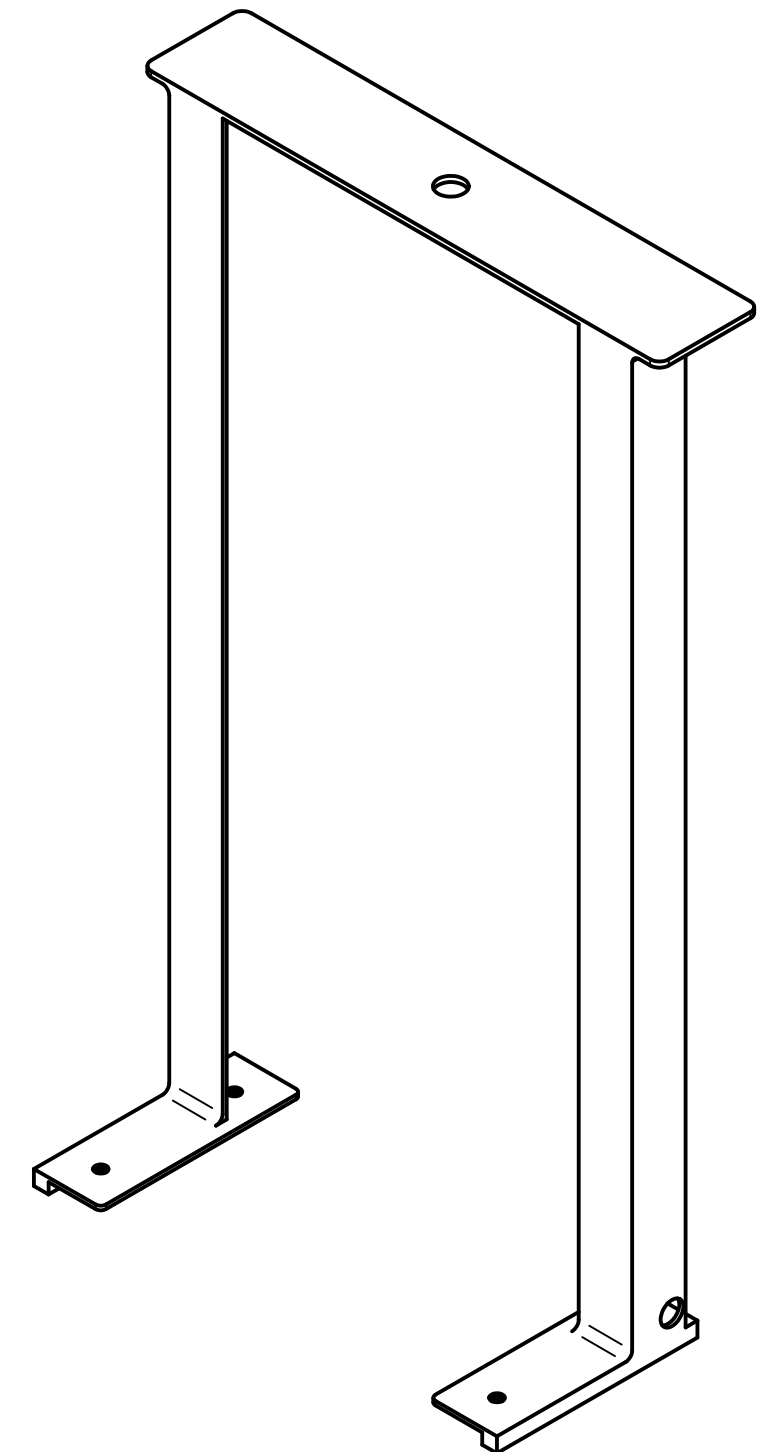
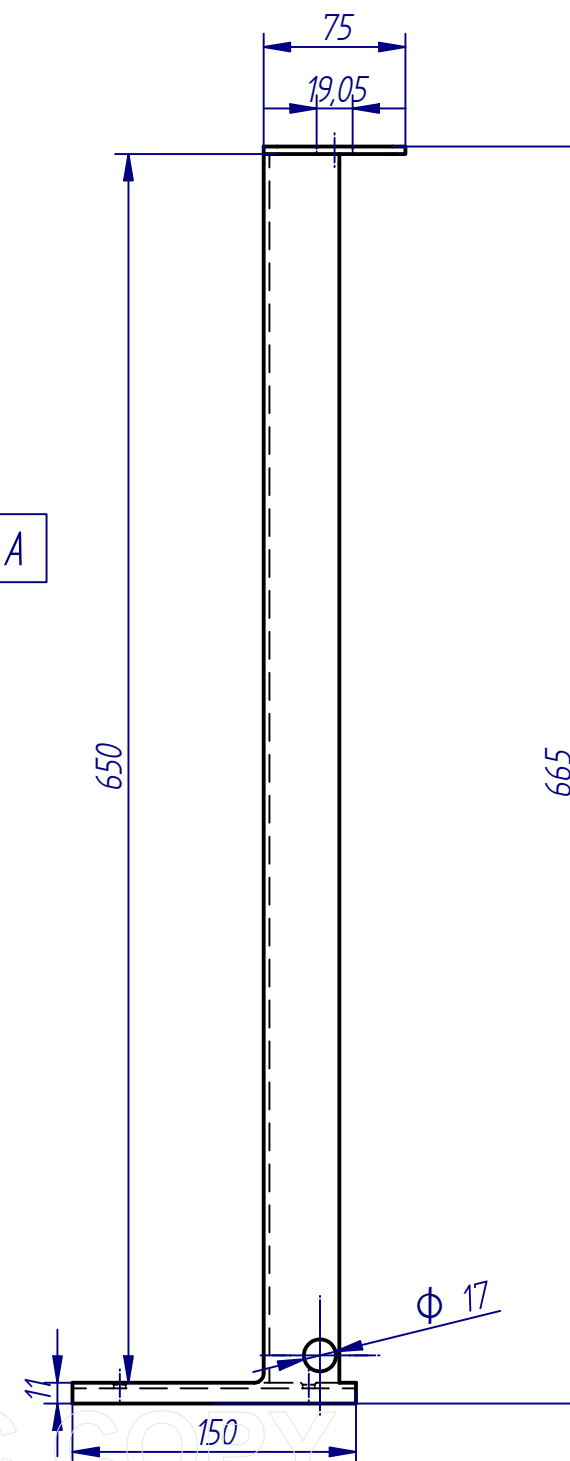
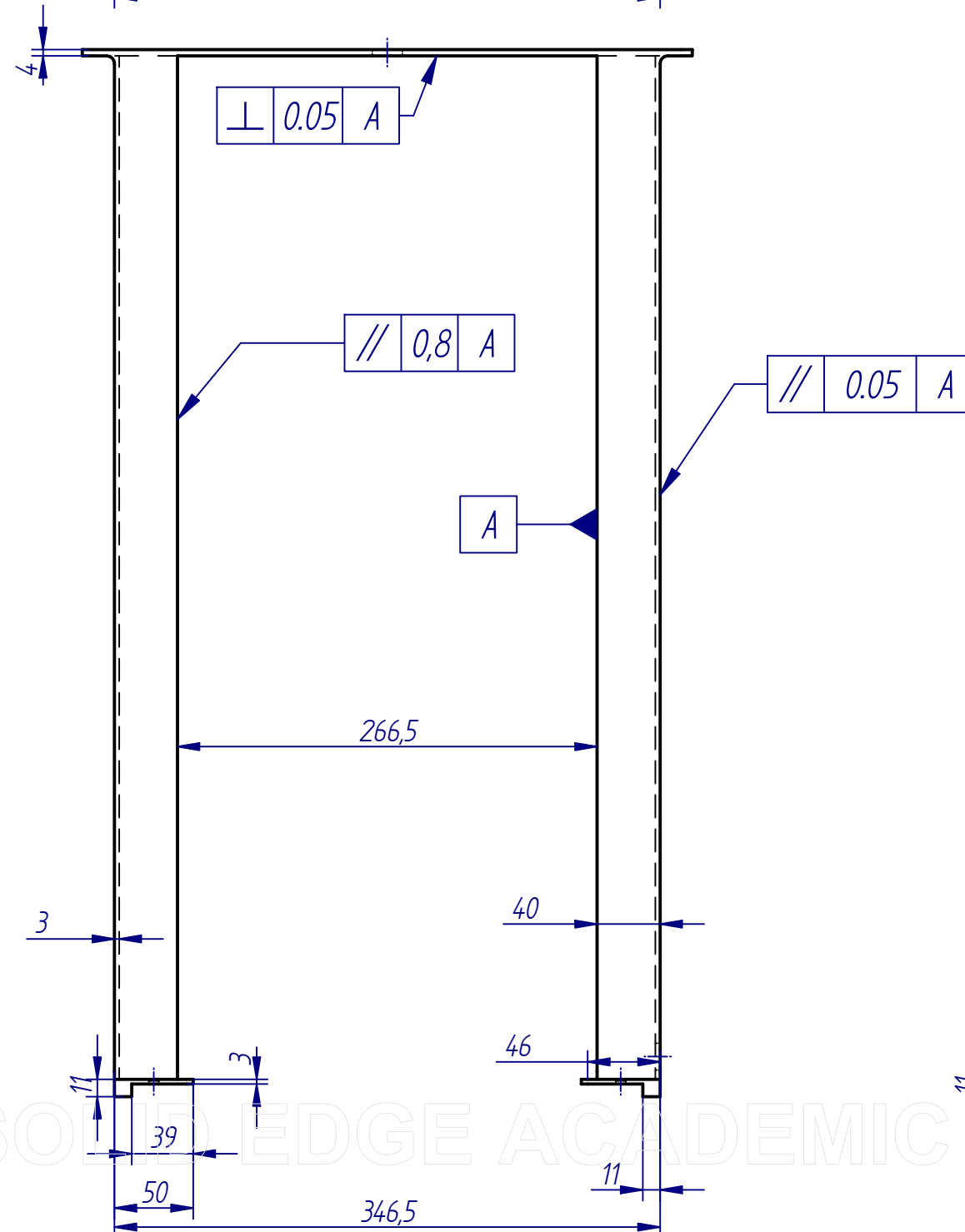
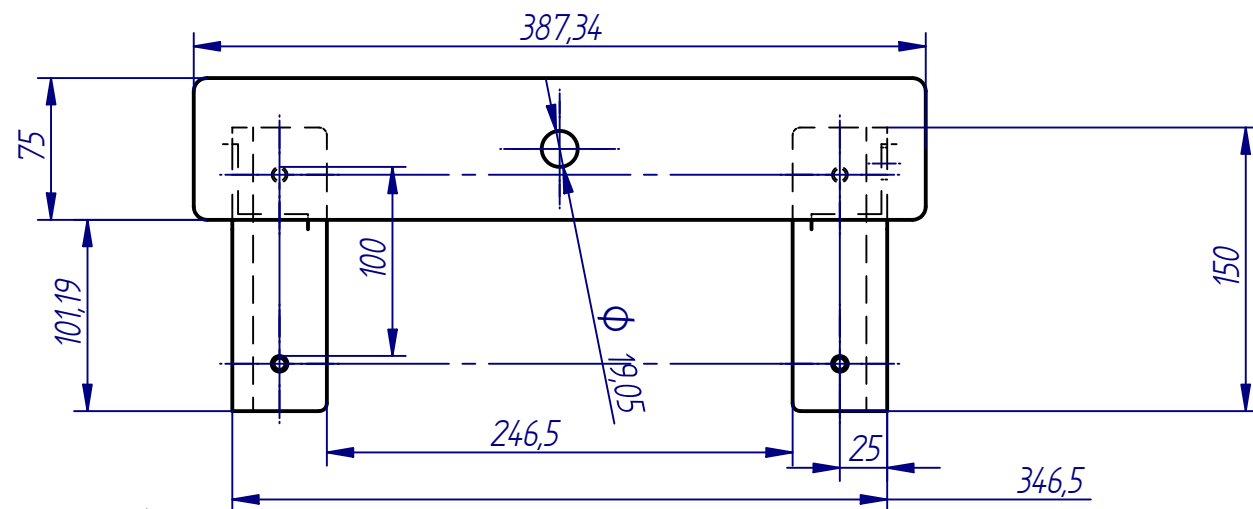


SPC-35

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		
13. ÉMBOLO DE SUCCIÓN			
Elaborado por: Cesar L. Bejarano G. y Eladio A. Del Castillo			Fecha: 13/04/10
	Escala: 1 : 1,25	Plano: 5 / 10	Aprobado por:





UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

16. SOPORTE DOSIFICADOR

Elaborado por:
Cesar I. Bejarano G. y Eladio A. Del Castillo

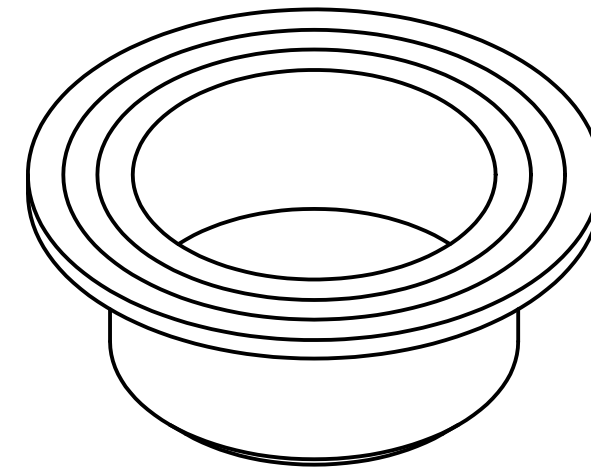
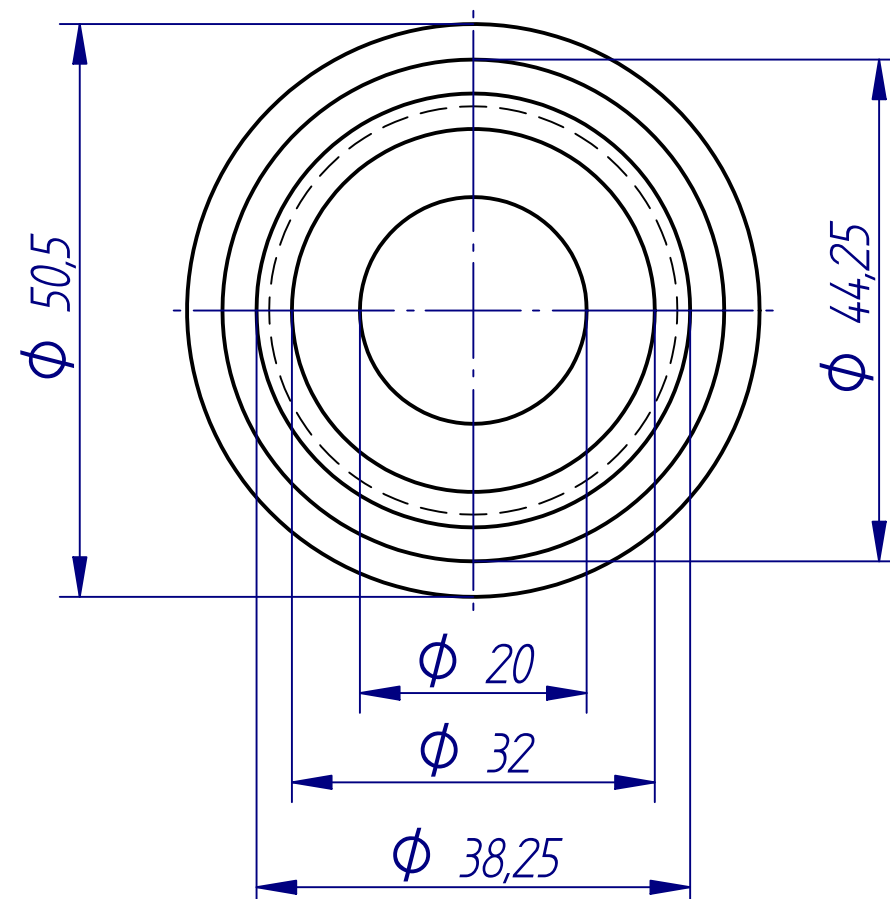
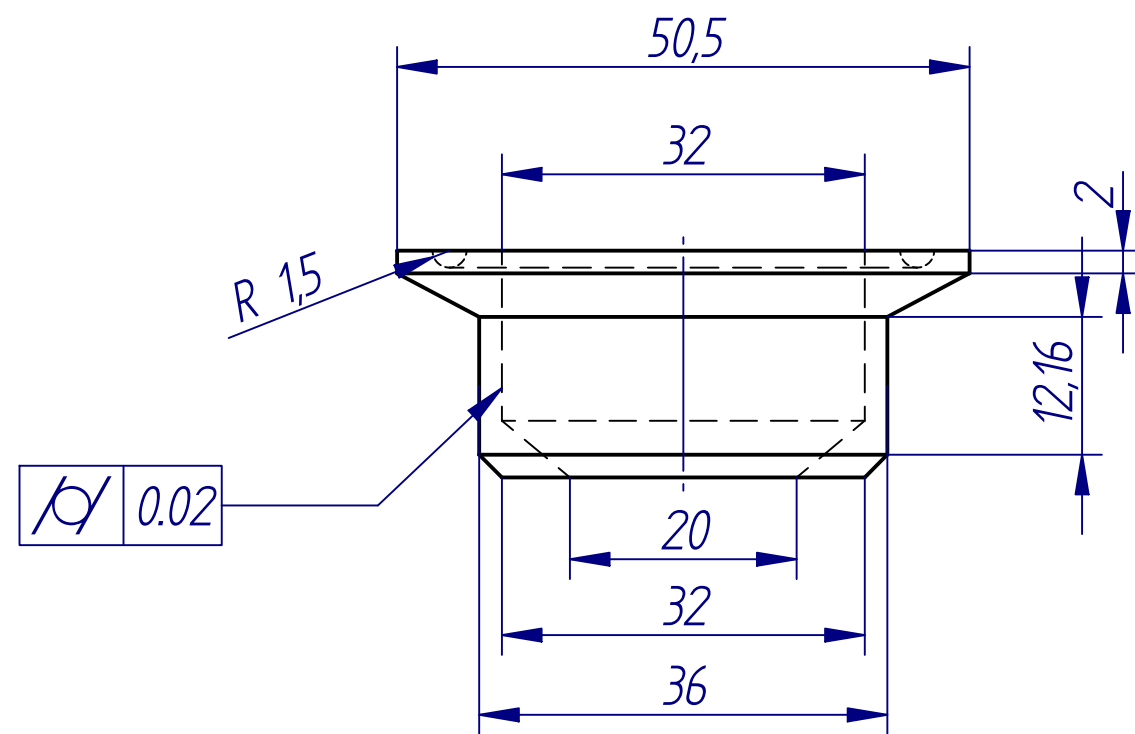
Fecha: 15/04/10



Escala:
1 : 4

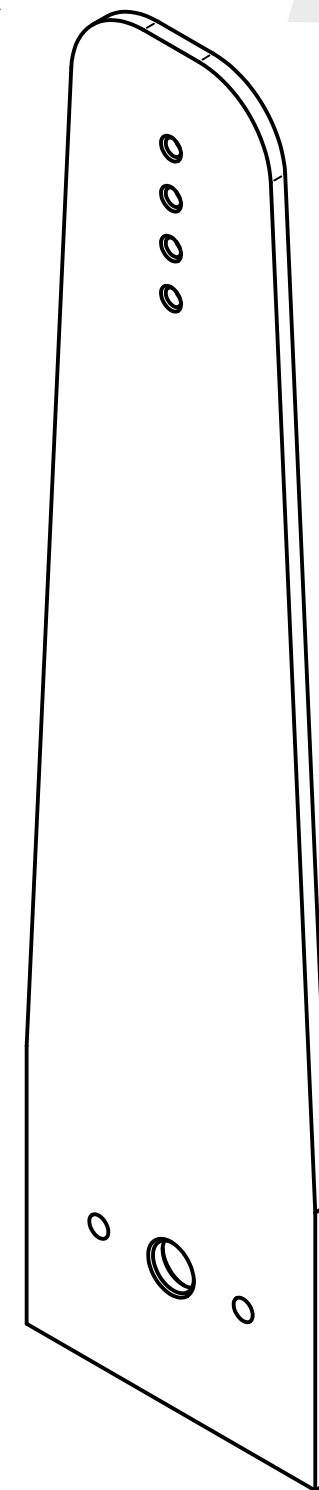
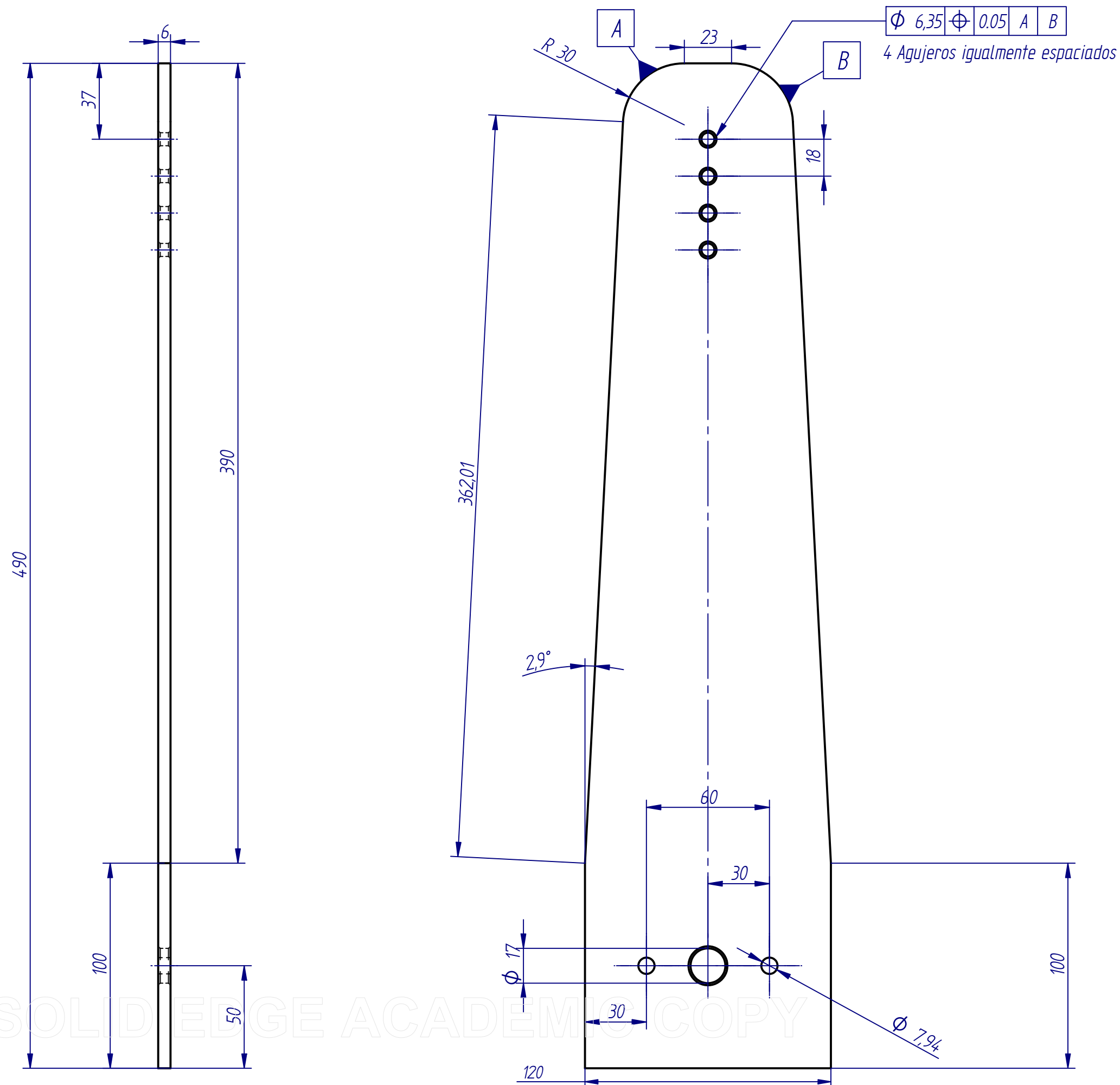
Plano:
7 / 10

Aprobado por:

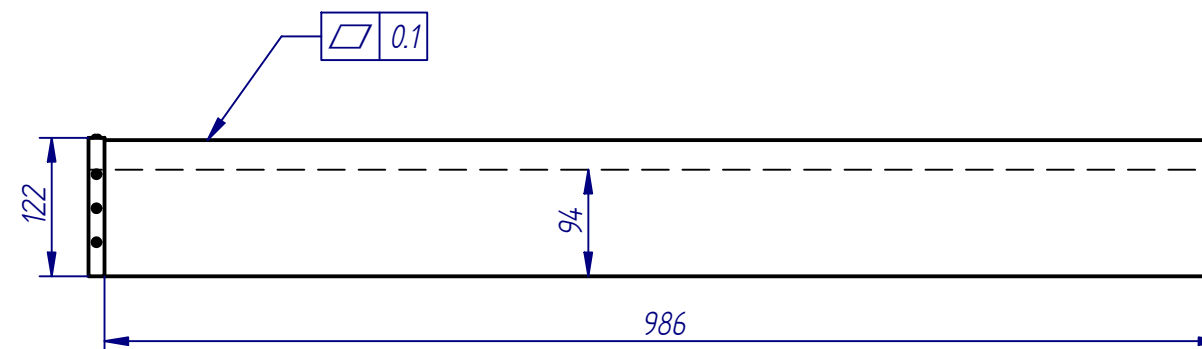
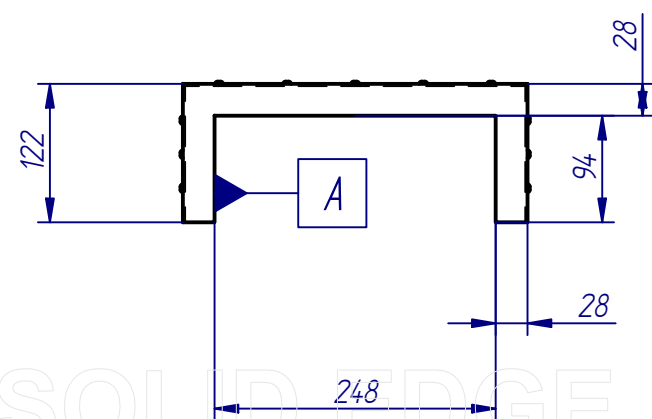
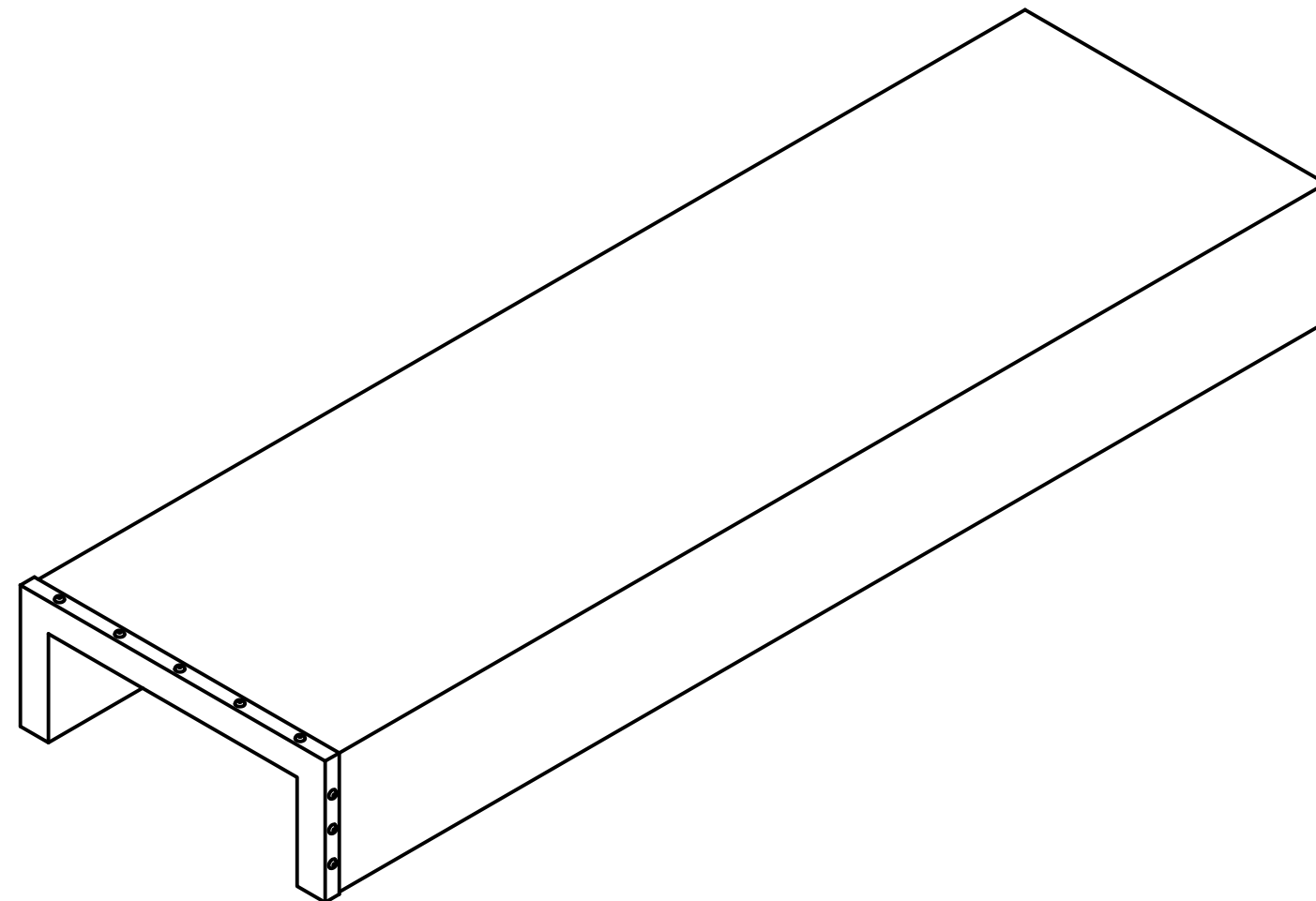
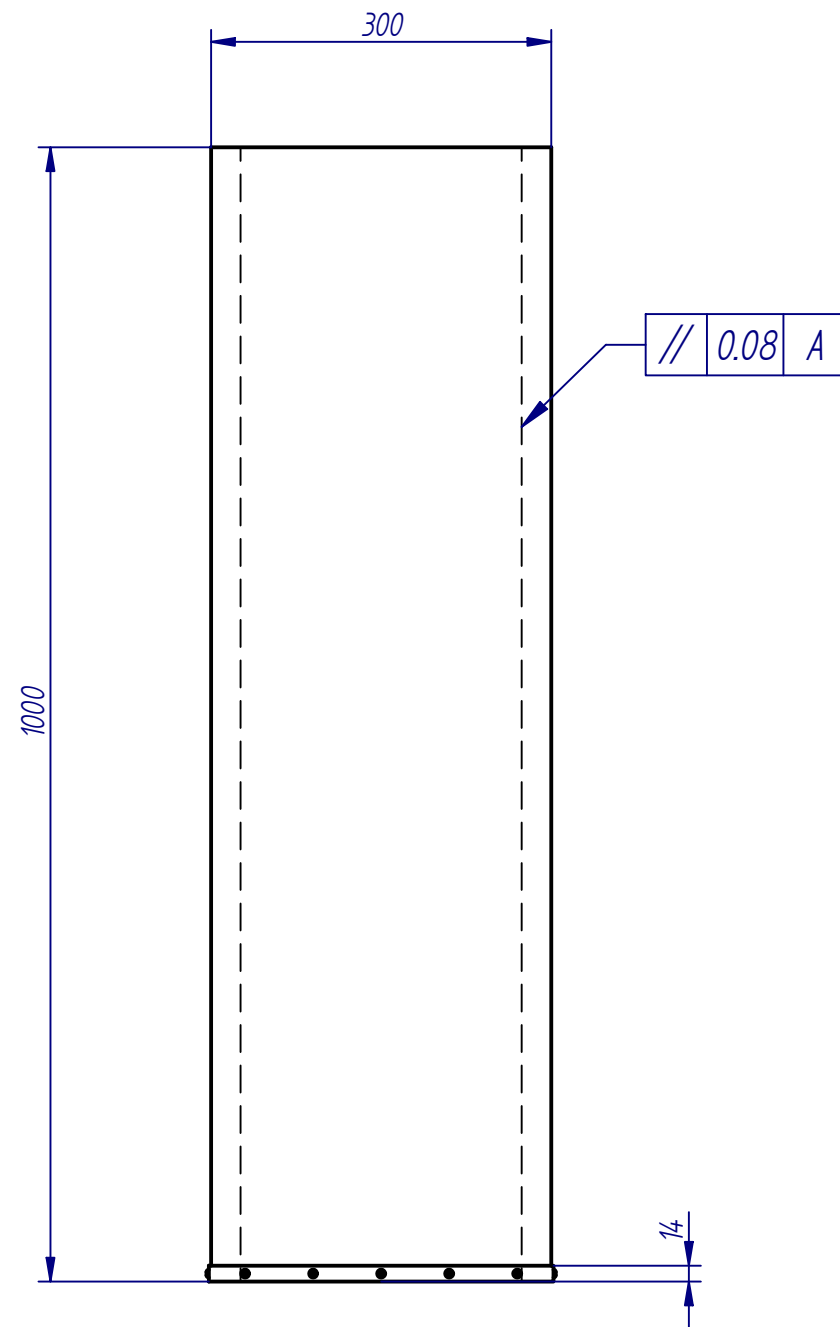


SOLID EDGE ACADEMIC COPY *SPC-35*

	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		
	18. BOQUILLA		
Elaborado por: Cesar I. Bejarano G. y Eladio A. Del Castillo		Fecha: 15/04/10	
	Escala: 1,5 : 1	Plano: 8 / 10	Aprobado por:



	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		
	19. SOPORTE TOLVA		
Elaborado por: Cesar L. Bejarano G. y Eladio A. Del Castillo		Fecha: 15/04/10	
	Escala: 1 : 2	Plano: 9 / 10	Aprobado por:



UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

22. TUNEL DE VENTILACIÓN

Elaborado por:
Cesar L. Bejarano G. y Eladio A. Del Castillo

Fecha:
15/04/10



Escala:
1 : 6,66

Plano:
10 /10

Aprobado por:

ANEXO H

Certificación de diseño y fabricación de la máquina.



MAPROAL

MAQUINARIA PARA PROCESOS ALIMENTICIOS

CE-060310-001

MAPROAL
NIT 19.227.903-0

CERTIFICA

Que los señores CESAR LEONARDO BEJARANO identificado con C.C. 1.022'328.630 de Bogotá y ELADIO ANTONIO DEL CASTILLO identificado con C.C. 1.032'387.907 de Bogotá, llevaron a cabo el diseño y construcción y entregaron a satisfacción una máquina dosificadora de cocadas, como requisito para optar al título de ingenieros mecatrónicos.

La presente certificación se expide a solicitud del interesado en Bogotá, a los 6 días del mes de marzo de 2010.

Cordialmente,

MANUEL CAMACHO

C.C. 19.227.903

Telefax: 237 09 43

Deshuesadoras de frutas – Tanques – Marmitas – Autoclaves
Mantenimiento y Montaje industrial
Calle 5B No. 30A – 21 – Teléfono 237 09 43 – Fax 237 13 55

ANEXO I

Cotización de *software* Proteus con licencia comercial



Labcenter Electronics Limited, 53-55 Main Street, Grassington, Skipton, North Yorkshire, BD23 5AA.

Proforma Invoice

Invoice to:

Colombia

Invoice from:

Labcenter Electronics Limited

Tel: +44 (0)1756 753440

Fax: +44 (0)1756 752857

Valid from: 2010-04-13

Web Qref: HRTPKPCF

Code Item	Price
225 Proteus PCB Design Level 2+	\$1599.00
360 Proteus VSM Starter Kit for PIC (16F84A, 16F877, 18F452)	\$249.00
(United States Dollars) Total \$1848.00	

Note: This proforma-invoice has been raised by the Labcenter online processing system and is valid for thirty (30) days, E&OE.

To buy online using this quotation, please go to:

<http://www.labcenter.co.uk/buyfromquote/hrtpkpcf>