

**ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS Y ESTUDIO DEL PROCESO DE
COCCIÓN EN UNA FÁBRICA DE AREPAS**

INTEGRANTES:

CARLOS ALBERTO EL MOUALLEM MUÑOZ

JHONATAN PAEZ NOY

PEDRO NEL TORRES CASTILLO

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA, REDES Y ELECTRÓNICA

PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA

Bogotá D.C.

2011

**ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS Y ESTUDIO DEL PROCESO DE
COCCIÓN EN UNA FÁBRICA DE AREPAS**

INTEGRANTES:

CARLOS ALBERTO EL MOUALLEM MUÑOZ

JHONATAN PAEZ NOY

PEDRO NEL TORRES CASTILLO

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
TECNÓLOGO EN ELECTRÓNICA**

Presentado a:

DIEGO FERNANDO CANO MENDOZA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA, REDES Y ELECTRÓNICA

PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA

Bogotá D.C.

2011

Nota de Aceptación

Jurado

Jurado

Jurado

AGRADECIMIENTOS

Ofrecemos nuestros más sinceros agradecimientos al Ingeniero DIEGO CANO quien nos aportó sus conocimientos, esfuerzo y total colaboración para orientar el rumbo de nuestro proyecto.

A los profesores que nos guiaron de la mejor manera durante estos tres años y a nuestras familias por su apoyo y su comprensión.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	4
CONTENIDO	5
LISTA DE IMÁGENES	7
LISTA DE TABLAS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
1. JUSTIFICACIÓN	13
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GENERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. ANÁLISIS	15
3.1 REQUERIMIENTOS Y VARIABLES DE CONTROL EN UN PROCESO DE COCCIÓN DE AREPAS	15
3.2 ANTECEDENTES	16
3.2.1 ANTECEDENTES NACIONALES	16
3.2.2 ANTECEDENTES INTERNACIONALES	16
3.3 MARCO TEÓRICO	18
3.3.1 ETAPA MECÁNICA	19
3.3.2 ETAPA ELECTRÓNICA	23
4. DISEÑO	30
4.1 PRUEBAS PRELIMINARES	30
4.1.1 MÁQUINA BASADA EN UN "TÚNEL DE AREPAS"	30
4.1.2 MÁQUINA BASADA EN DOS BANDAS TRANSPORTADORAS	32
4.2 DISEÑO MECÁNICO	34
4.2.1 MÁQUINA BASADA EN UN "TÚNEL DE AREPAS"	34
4.2.2 MÁQUINA BASADA EN DOS BANDAS TRANSPORTADORAS	36
4.2.3 CÁLCULOS DE POTENCIA	40
4.3 DISEÑO ELECTRONICO	47
4.3.1 CONTROL DE VELOCIDAD	47
4.3.2 CONTROL DE TEMPERATURA	59
CONCLUSIONES	69
BIBLIOGRAFIA	70

LISTA DE IMÁGENES

FIGURA 1 Mapa conceptual - marco teórico (El Mouallem, Paez, & Torres)	18
FIGURA 2 Parámetros básicos de una transmisión por correa (González Rey, 2011)	19
FIGURA 3 Sistema de transmisión por cadena con catarina motriz (Mott, 2006, pág. 283)	21
FIGURA 4 Sistema de transmisión a través de piñones (INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres) ...	21
FIGURA 5 Tipos de cadenas (Mecaplast S. L., 2011)	22
FIGURA 6 Sistema de control (Kuo, 1996, pág. 3).....	23
FIGURA 7 Sistema de control en lazo abierto (Kuo, 1996, pág. 9)	24
FIGURA 8 Control de velocidad en lazo cerrado (Kuo, 1996, pág. 10)	24
FIGURA 9 Respuesta del sistema a una entrada de escalón unitario (Katsuhiko, 1998, pág. 671)	26
FIGURA 10 Variador de velocidad (Invertek Drives, 2007)	27
FIGURA 11 Controlador de temperatura HS 7200 (Design instruments, 2006)	27
FIGURA 12 Electroválvula proporcional (Severn Trent, 2003)	28
FIGURA 13 Máquina basada en un "túnel de arepas" (INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres) ...	30
FIGURA 14 Prueba de cocción (El Mouallem, Paez, & Torres)	31
FIGURA 15 Prueba de cocción usando infrarrojo a gas (El Mouallem, Paez, & Torres)	31
FIGURA 16 Resultado - Prueba de cocción (El Mouallem, Paez, & Torres)	32
FIGURA 17 Planchas donde se realiza el proceso actual (El Mouallem, Paez, & Torres)	33
FIGURA 18 Máquina basada en dos bandas (INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres)	33
FIGURA 19 Máquina basada en un "Túnel de arepas – Partes (INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres)	35
FIGURA 20 Funcionamiento (INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres)	35
FIGURA 21 Máquina basada en dos bandas transportadoras (INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres)	36
FIGURA 22 Cadena de rodillos con aleta 90° (Chains & Sprokets S.A, 2008)	37
FIGURA 23 Cadena de rodillos modificada (INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres)	38
FIGURA 24 Sistema de transmisión (INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres)	38
FIGURA 25 Despiece de la máquina (INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres)	39
FIGURA 26 Funcionamiento - Máquina de dos bandas transportadoras (INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres)	40
FIGURA 27 Dimensiones de la plancha (INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres).....	41
FIGURA 28 Dimensión de la cadena (INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres)	43
FIGURA 29 Control de velocidad en lazo abierto (El Mouallem, Paez, & Torres).....	48
FIGURA 30 Diagrama eléctrico de conexiones – control lazo abierto (CADe_SIMU, El Mouallem, Paez, & Torres)	49
FIGURA 31 Control de velocidad en lazo cerrado (El Mouallem, Paez, & Torres)	50
FIGURA 32 Circuito conversor frecuencia – voltaje (National Semiconductor , 2008).....	51
FIGURA 33 Diagrama eléctrico de conexiones – control lazo cerrado (CADe_SIMU, El Mouallem, Paez, & Torres)	51
FIGURA 34 Diagrama de conexiones del variador (Invertek Drives, 2007)	52
FIGURA 35 Configuración Delta – Estrella (Invertek Drives, 2007)	52
FIGURA 36 Diagrama de flujo - Programación del variador (El Mouallem, Paez, & Torres)	53
FIGURA 37 Temperatura ambiente en la fábrica de arepas (El Mouallem, Paez, & Torres)	59
FIGURA 38 Registro de temperatura en la plancha (El Mouallem, Paez, & Torres)	60
FIGURA 39 Curva característica de la temperatura (El Mouallem, Paez, & Torres)	61
FIGURA 40 Control de temperatura en lazo cerrado (El Mouallem, Paez, & Torres)	64
FIGURA 41 Comunicación 4-20 mA (Design instruments, 2006)	65

FIGURA 42 Diagrama de flujo - Programación del controlador de temperatura (El Mouallem, Paez, & Torres) 66

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 Características - Control lazo abierto y lazo cerrado (El Mouallem, Paez, & Torres)	24
TABLA 2 Algunos sensores y métodos de detección (Areny, 2003).....	29
TABLA 3 Coeficientes de fricción de algunos materiales (Koshkin & Shirkévich, 1975)	42
TABLA 4 Factor de velocidad de una cadena (Vásquez, 2004)	43
TABLA 5 Cadenas con aleta 90° (Chains & Sprokets S.A, 2008).....	44
TABLA 6 Características de las cadenas (Chains & Sprokets S.A, 2008)	45
TABLA 7 Características de los piñones (Engranajes Miralles , 2009)	47
TABLA 8 Variación de la temperatura respecto al tiempo (El Mouallem, Paez, & Torres)	61
TABLA 9 Sintonización según Ziegler Nichols (Katsuhiko, 1998, pág. 672).....	62

RESUMEN

En el siguiente documento se describe el análisis realizado al proceso de cocción en una fábrica de arepas, además de la planificación y el diseño de una máquina que realizará dicho proceso. Inicialmente se establece un cronograma en el cual se determinan las actividades a llevar a cabo, las cuales se presentan a continuación:

- Visita a la fábrica: Con el fin de llevar a cabo un análisis, sobre las variables que intervienen en el sistema se efectúa una visita a la fábrica, logrando establecer los principales parámetros para tener en cuenta a la hora del diseño.
- Investigación: Se ejecuta una investigación sobre los principales trabajos a nivel nacional e internacional que brinden una solución automatizada al proceso de cocción de temperatura o en su defecto que establezcan una forma de realizar un control sobre las variables que intervienen en el sistema. También se indaga sobre los principales aspectos mecánicos a tener en cuenta a la hora de elaborar el diseño, tal como las características de los materiales, los costos entre otros.
- Diseño: Una vez obtenido una gran cantidad de información sobre los aspectos electrónicos y mecánicos más relevantes se procede a desarrollar un prototipo que ilustra el proceso de cocción de arepas, apoyados por el software de diseño mecánico **INVENTOR 2011**.
- Pruebas: Se realizan una serie de pruebas con el fin de garantizar que las características del producto con el cual se está trabajando no sean alteradas y se realizan las correcciones pertinentes

ABSTRACT

The following document describes the analysis of the cooking process at arepa's factory, besides the planning and designing a machine that will perform this process. Initially set a timetable which identifies the activities to be carried out, which are presented below:

- Factory Tour: In order to carry out an analysis on the variables involved in the system is paying a visit to the factory, managing to establish the main parameters to take into account when designing.
- Research: It runs a major research work at national and international level to provide an automated solution to cooking temperature or alternatively to establish a way of making control over the variables involved in the system. Also investigating the main mechanical aspects to consider when developing the design, such as the characteristics of materials, among other costs.
- Design: Having gained a wealth of information on electronic and mechanical aspects most relevant proceeds to develop a prototype that illustrates the process of cooking areas, supported by the mechanical design software **INVENTOR 2011**.
- Testing: We perform a series of tests to ensure that the product characteristics with which work is not altered and appropriate corrections are made

INTRODUCCIÓN

La creciente necesidad de desarrollo técnico y optimización en los procesos de producción, notado en las microempresas por el incremento en la demanda y la competencia, les exige a estas un mejoramiento continuo en calidad y servicio. El presente proyecto fue realizado en respuesta a los requerimientos de la industria de los alimentos; más específicamente a la fabricación de la arepa boyacense, para esto se contó con el apoyo y colaboración de la fábrica de arepas LOS ANDES, que permitió el estudio en torno a su propia condición a la automatización de sus procesos.

Con la realización de este trabajo, se pretende identificar el funcionamiento de la fábrica y así diseñar una solución al proceso especial de cocción de las arepas, debido a que el producto; por las características en su composición y sus propiedades organolépticas requieren un procedimiento diferente al que se ha implementado en otras fábricas, características y propiedades que se descubrieron a lo largo de la investigación y propuestas y que se describen en el presente trabajo.

Se pretende entonces la aplicación de sistemas electrónicos, sistemas de control en lazo cerrado que cumplan o que puedan satisfacer los requerimientos del proyecto, en desempeño y calidad, en las áreas de control de velocidad y control de temperatura, además del trabajo mecánico y de diseño, de acuerdo al análisis realizado de los requerimientos y sus respectivos alcances.

1. JUSTIFICACIÓN

Con el proyecto se pretende brindar una solución viable y tecnificada a la industria de arepas boyacenses en el proceso de cocción, en la cual se logren satisfacer las necesidades de dicha industria, se desarrollen áreas del conocimiento previamente adquiridas, y cuya ejecución sea el resultado de un trabajo planificado con anterioridad.

Además de la viabilidad, la solución planteada contará con la capacidad de responder a la creciente demanda, mediante una producción constante; y se podrán ejercer varios tipos de control garantizando una mayor eficiencia tanto en la cantidad de personal como en el consumo de fuentes de energía.

De igual forma se logrará obtener un producto de calidad uniforme mediante el control de tiempo que este permanezca en el proceso. Al tratarse de una labor en la cual el calor es un actor fundamental, será necesario el desarrollo de la respuesta que mejore el sistema de producción establecido actualmente, y será capaz de reducir el impacto que tiene este fenómeno en la calidad de vida de las personas que allí laboran.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar los requerimientos y diseñar un prototipo para el proceso de la cocción de las arepas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio de los principales trabajos a nivel nacional e internacional que se implementaron con el fin de controlar la temperatura para la cocción de arepas.
- Delimitar los requerimientos y variables de control en un proceso de cocción de arepas.
- Diseñar un prototipo que ilustre el proceso de cocción de las arepas.
- Realizar pruebas en tiempo real del prototipo desarrollado.
- Documentar el análisis y estudio realizado.

3. ANÁLISIS

3.1 REQUERIMIENTOS Y VARIABLES DE CONTROL EN UN PROCESO DE COCCIÓN DE AREPAS

En una planta en la cual se producen arepas uno de los procesos más importantes es la cocción, en él se definen muchas características como lo son la textura y sabor; en nuestro caso las arepas que se vana trabajar son arepas muy especiales y delicadas gracias a sus ingredientes los cuales son muy "húmedos" como lo son el queso campesino y queso crema, estos dos productos reaccionan de diferentes maneras a diferentes temperaturas y pueden cambiar su sabor, afectando el resultado del producto. Nuestro producto es un alimento típico de uno de nuestros departamentos, su sabor, color, forma y textura caracterizan este producto. Después de estudiarlo bien y contemplar diversas soluciones se llegó a la conclusión que las variables a tener en cuenta en este proceso son la temperatura de cocción a la cual se somete el producto y el tiempo que dura sometido el producto a el calor.

La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de caliente o frío, por lo general un objeto más "*caliente*" que otro puede considerarse que tiene una temperatura mayor, en la física se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico definida por el principio cero de la termodinámica. Este pequeño elemento es uno de nuestras variables la cual marca trascendencia en nuestro proyecto ya que tiene que ser constante y donde esta cambiara sin un control, el tiempo y el proceso se comportarían de una forma muy inestable, creando un producto no atractivo o diferente al constituido hasta el momento.

3.2 ANTECEDENTES

3.2.1 ANTECEDENTES NACIONALES

Universidad Distrital “Francisco José de caldas” (control digital de temperatura con un, teclado matricial y LCD)

Este proyecto está enfocado en el horno dinámico a gas que ha sido diseñado para brindar la mejor cocción del alimento, cumpliendo con los requerimientos, de calidad y rendimiento, dados por las normas y el cliente. Por lo general los controles de temperatura son hechos con termostatos y necesitan de alguien que utilice este proceso es por esta razón que se vio la necesidad de implementar un sistema de control digital de temperatura (figura 1) para hornos asadores de pollos a gas en un rango de 0°C-400°C ya que este realiza un control sobre su temperatura de una manera muy ineficiente por estar sujeta a la capacidad del sensor de temperatura (o transductor) y a su velocidad de respuesta, además se busca la facilidad de su uso y de su mantenimiento(Pachón, 2011).

Industrias Tecnidicol S.A

Empresa con amplia experiencia en la fabricación de maquinaria procesadora de alimentos, maquinas industriales para fabricación de arepas, fogones y enfriadores(Industrias Tecnidicol, 2011).

3.2.2 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Universidad San Carlos de Guatemala (Diseño del control automático del proceso de producción de tortillas de harina)

En el presente trabajo de graduación se desarrolló un control automático efectivo y confiable para una línea de producción de tortillas de harina, en el proceso se analizó el proceso como un todo, se analizó también, los subprocesos y en estos las variables que los afecta a cada uno en particular con esto se desarrolló el control para obtener un proceso continuo y eficiente (Morales Requena, 2011).

Escuela Politécnica del ejército Ecuador (diseño e implementación de un sistema de control automático para un horno industrial ahumador de carne)

El proyecto es un controlador automático de temperatura para un horno industrial ahumador de carne. El sistema se halla conformado por un controlador de temperatura BTC-C21 al cual se conecta una termocupla tipo j que censa la temperatura en el interior del horno. El controlador comunica con una pantalla HMI táctil y con un controlador de encendido (conformado por la válvula de gas, chispero y el módulo de control de encendido) que al ser activado comienza la secuencia de encendido del quemador de gas para elevar la temperatura del horno. Mediante recetas se disponen dos tiempos de cocción y dos temperaturas. Al comenzar el proceso se carga la primera temperatura en el SP del controlador y se la mantiene controlada durante el primer tiempo. Al terminar esta primera parte, denominado ahumado en frío, se carga la segunda temperatura al SP del controlador y se la mantiene controlada durante esta etapa denominada ahumado en caliente. Terminado el proceso, el controlador envía una señal a un ventilador ubicado en la parte superior del horno para que se encienda y evacue el humo su interior y disminuya su temperatura. Todo el manejo y configuración del sistema se lo hace a través de la pantalla HMI táctil. La utilización del controlador BTC-C21 demostró ser una elección acertada debido a su confiabilidad, fácil manejo y a la disponibilidad de herramientas para el desarrollo de esta aplicación(Rúales Ríos, 2011).

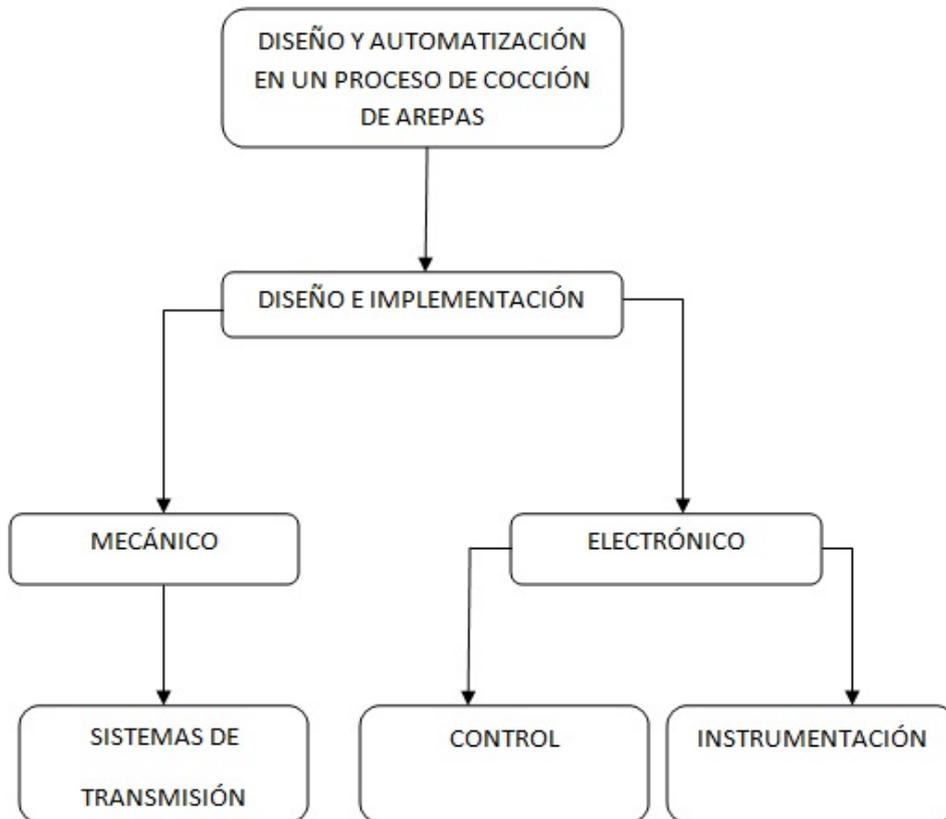
Universidad Tecnológica de la mixteca (Sistema de control de temperatura para horno de gas)

El sistema está basado en lo que sus autores llaman redundancia de control, una PC actúa como el control principal y cuando falla es reemplazada por un microcontrolador 80C32 de Intel. Su meta es asistir el proceso de quema a través del monitoreo en tiempo real y la generación de reportes, buscando ser una opción económica y efectiva. Este trabajo pretende resolver una necesidad específica, la del taller de cerámica de la Universidad, por ello contiene el algoritmo de quema empleado ahí. El mensaje de temperatura es hecho por un termopar tipo K cuyo circuito es sencillo gracias a un CI compensador de unión fría y el flujo de gas es manejado por una electroválvula de dos vías normalmente cerrada. Como el proceso nunca debe ser detenido antes de su finalización, el sistema cuenta con un dispositivo de respaldo de energía(Arias Martínez & Vásquez Sanjuan, 2011).

3.3 MARCO TEÓRICO

Los conceptos a desarrollar, para la construcción del cuerpo teórico de este trabajo, se enmarcarán en el análisis de: Teoría de sistemas de transmisión y sistemas de control e instrumentación electrónica, tal como se puede apreciar en la figura 1.

FIGURA 1 Mapa conceptual - marco teórico(EI Mouallem, Paez, & Torres)



El diseño e implementación del proyecto se divide en dos grandes grupos: mecánico y electrónico; estos a su vez tienen aspectos que deben ser tratados y que tienen que ver con los tipos de sistemas de transmisión y los métodos de control e instrumentación electrónica.

3.3.1 ETAPA MECÁNICA

El sistema mecánico de nuestro proyecto se basa en los principales sistemas de transmisión que existen: transmisión por bandas y transmisión por cadenas.

3.3.1.1 Transmisión por banda o correa

Uno de los principales usos de la transmisión por banda, es reducir o incrementar velocidad, entre el motor y la pieza conducida, también es el más económico de los elementos de transmisión aunque su eficiencia depende de la tensión, alineación y longitud; algunas de sus ventajas son el bajo costo inicial, bajo mantenimiento pues no requiere lubricación y su fácil instalación. Su eficiencia energética es del 94 al 98% siempre y cuando se encuentre bien instalada y alineada, el reemplazo de componentes en cualquier parte del mundo no es exigente y pueden cubrir un amplio rango de potencias y velocidades.

Las transmisiones por correa, en su forma más sencilla, constan de una cinta colocada con tensión en dos poleas: una motriz y otra movida. Al moverse la cinta (correa) transmite energía desde la polea motriz a la polea movida por medio del rozamiento que surge entre la correa y las poleas.

En la figura 2 son identificados los parámetros geométricos básicos de una transmisión por correas, siendo:

- 1- Ángulo de contacto en la polea menor.
- 2- Ángulo de contacto en la polea mayor.
- a - Distancia entre centros de poleas.
- d1 - Diámetro primitivo de la polea menor.
- d2 - Diámetro primitivo de la polea mayor.

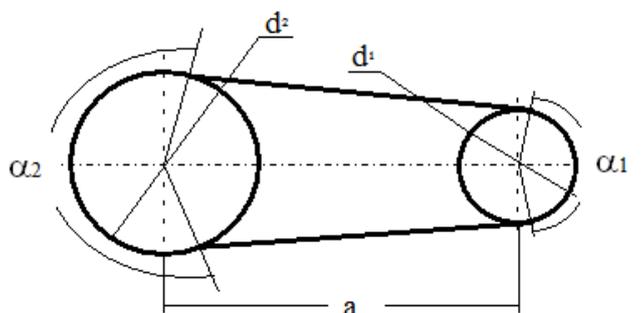


FIGURA 2 Parámetros básicos de una transmisión por correa(González Rey, 2011)

Durante la transmisión del movimiento, en un régimen de velocidad uniforme, el momento producido por las fuerzas de rozamiento en las poleas (en el contacto correa-polea) será igual al momento motriz en el árbol conductor y al del momento resistivo en el árbol conducido. Cuanto mayor sea el tensado, el ángulo de contacto entre polea y correa, y el coeficiente de rozamiento, tanto mayor será la carga que puede ser transmitida por el accionamiento de correas y poleas. Como puede ser comprendido, la transmisión por correa clasifica dentro de las transmisiones mecánicas con movimiento de rotación que emplean como fundamento básico, para dar continuidad al movimiento, la transmisión por rozamiento con un enlace flexible entre el elemento motriz y el movido. De acuerdo con esto, las transmisiones por correas pueden ser:

- Transmisión por correa cruzada.
- Transmisión por correa semicruzada.
- Transmisión por correa con rodillo tensor exterior.
- Transmisión por correa con múltiples poleas.

3.3.1.2 Transmisión por cadena

En el caso de la transmisión por cadena, el movimiento y la fuerza se transmiten a cierta distancia de los engranes y se conserva el sentido de giro. Además del cambio del sentido de giro existen otros conceptos que es necesario conocer para la comprensión total del trabajo de una transmisión.

La transmisión por cadena se usa actualmente en la mayoría de los sistemas de transmisión industrial, debido principalmente a su efectividad, simplicidad mecánica y sobre todo coste de fabricación. El mayor problema que tiene este tipo de transmisión es la durabilidad y el gran mantenimiento que tiene.

Los sistemas de transmisión por cadena pueden conformarse por dos o tres elementos de dependen de la necesidad del diseño; estos elementos son:

- Piñón de ataque o arrastre: es el piñón que va situado en el motor y transmite la fuerza a la cadena,
- Corona o catarina: es el piñón que va situado en la parte trasera unido al eje mediante un portacoronas.
- Cadena: es el componente más importante y que más desgaste tiene, por lo que hay que prestarla especial atención comprobando periódicamente su tensado, que cada fabricante especifica en su manual y que generalmente es de unos dos o tres cm de holgura.

En las figuras 2 y 3 se presentan a continuación se ilustran con claridad la intervención de dichos elementos.

FIGURA 3 Sistema de transmisión por cadena con catarina motriz(Mott, 2006, pág. 283)

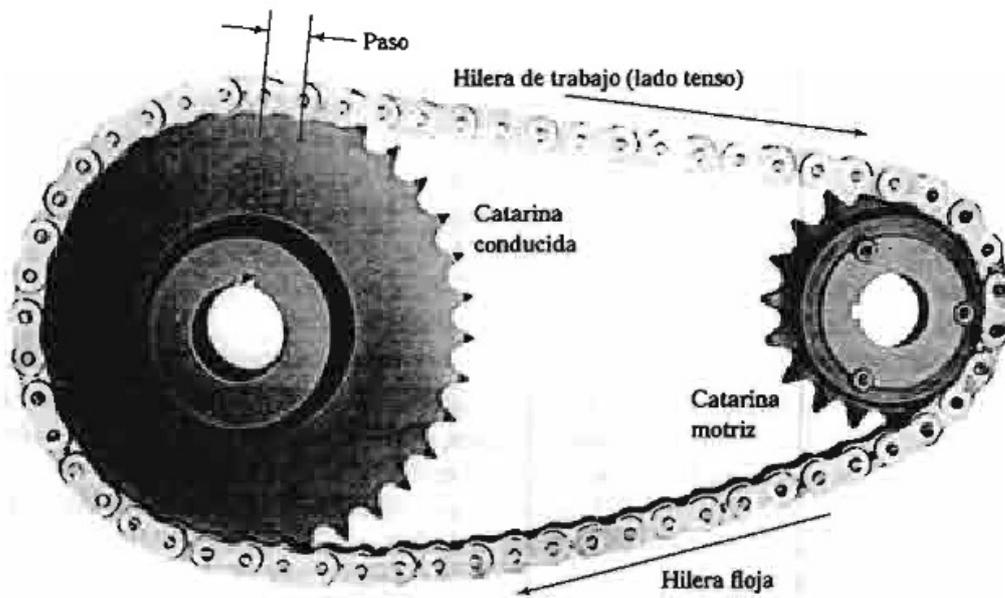
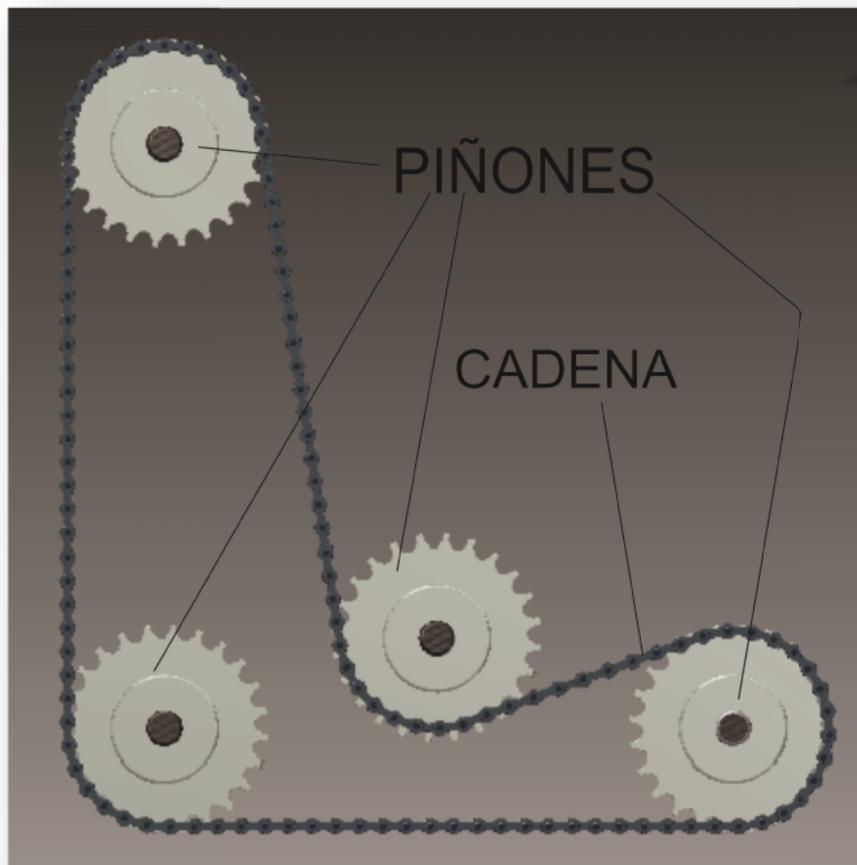
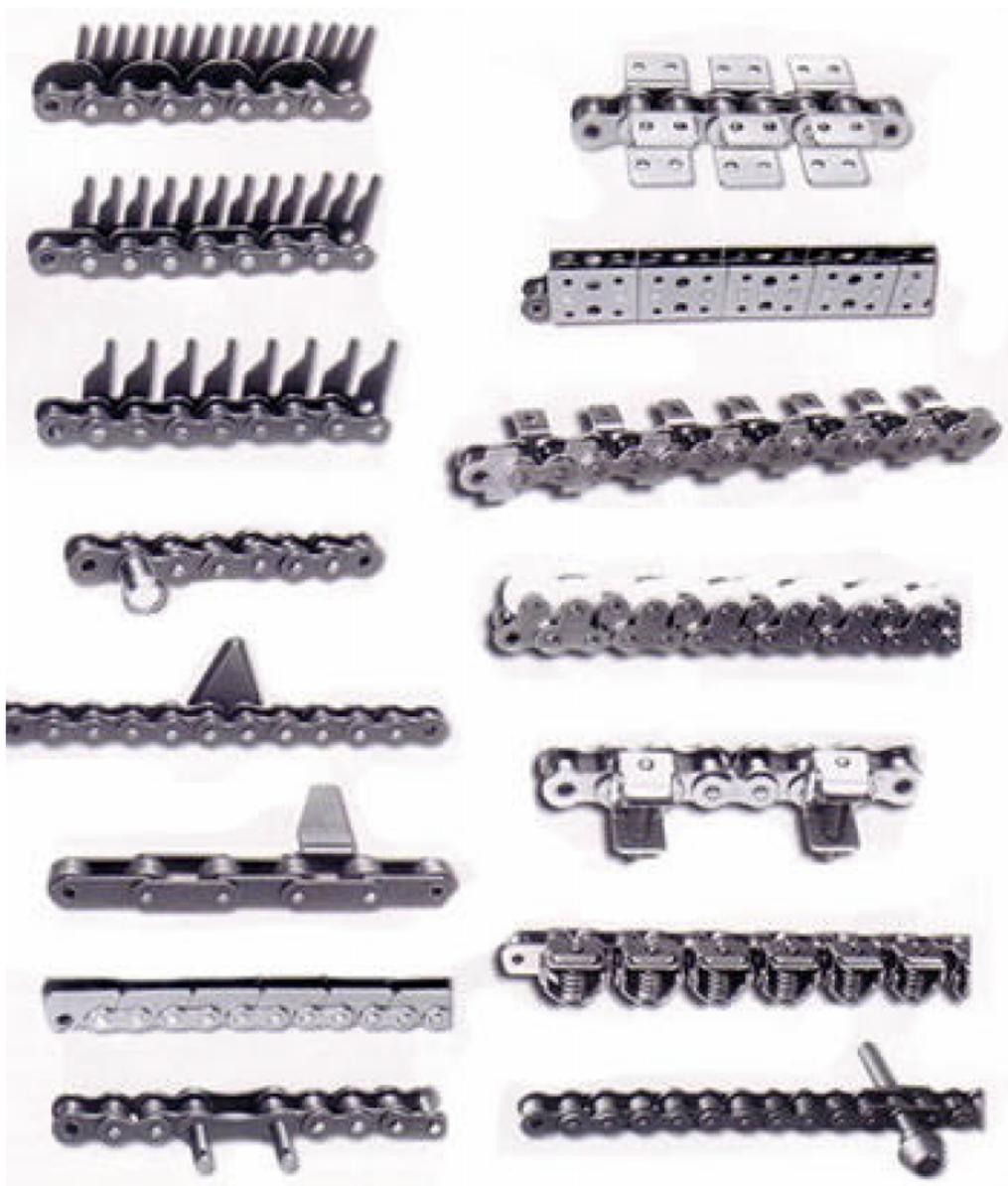


FIGURA 4 Sistema de transmisión a través de piñones(INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres)



De acuerdo con la función para la que ha sido diseñada una cadena de rodillos, puede llevar accesorios que le permiten realizar ciertas funciones, aparte de integrarse a un sistema de transmisión. Algunos de estos aditamentos pueden soportar peso, cortar materiales e incluso lograr transportar objetos que puedan ser colgados a ellos. A continuación se pueden apreciar algunos de los tipos de cadenas usadas en la industria (figura 5).

FIGURA 5 Tipos de cadenas (Mecaplast S. L., 2011)



3.3.2 ETAPA ELECTRÓNICA

El diseño cuenta con dos sistemas de control: que corresponden a dos variables fundamentales para el sistema (velocidad y temperatura) y para la implementación se utilizarán elementos y teoría que se citara a continuación.

3.3.2.1 Sistemas de control

Un sistema de control es aquel que está dedicado a obtener la salida deseada en un proceso. Los componentes básicos en un sistema de control se pueden apreciar en la figura 6, siendo estos:

- Objetivos del control (entradas o señales actuantes)
- Componentes (sensores, controladores, actuadores)
- Resultados o salidas (salidas o variables controladas)

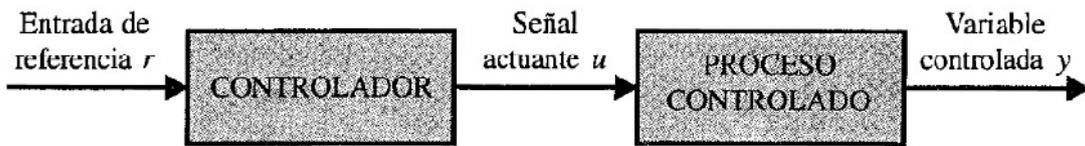
FIGURA 6 Sistema de control(Kuo, 1996, pág. 3)



De acuerdo a su comportamiento los sistemas de control pueden ser:

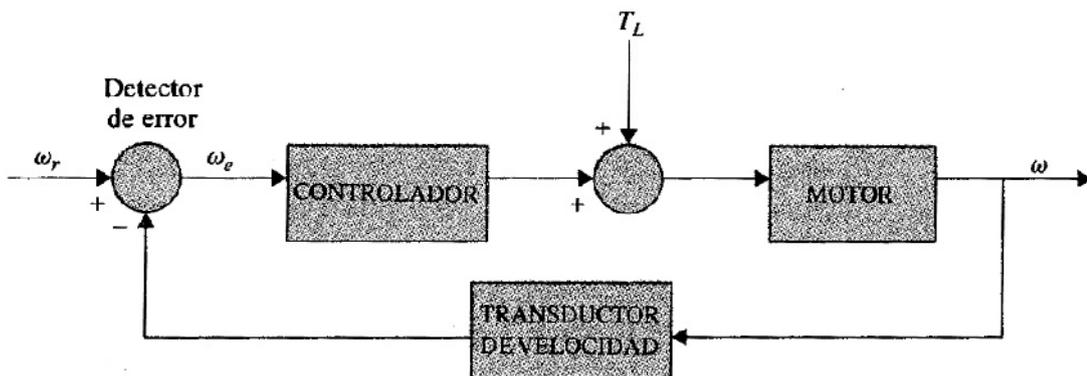
- **Control de lazo abierto:** Es aquel sistema en que solo actúa el proceso sobre la señal de entrada y da como resultado una señal de salida independiente a la señal de entrada, pero basada en la primera. Esto significa que no hay retroalimentación hacia el controlador para que éste pueda ajustar la acción de control (figura 7).

FIGURA 7 Sistema de control en lazo abierto(Kuo, 1996, pág. 9)



- **Control de lazo cerrado (realimentación):** Corresponde a un sistema con una o más salidas de realimentación, en donde la señal controlada debe ser comparada con la entrada de referencia y se debe enviar una señal actuante proporcional a la diferencia entre la salida y la entrada (señal de error). En la figura 8 se muestra un sistema de control de velocidad en lazo cerrado donde a través de un sensor se mide la acción T_L (par de carga) sobre el motor y luego esta magnitud es convertida a una variable que pueda ser comparada con ω_r (señal de referencia) para que el controlador ejerza una acción según el error.

FIGURA 8 Control de velocidad en lazo cerrado(Kuo, 1996, pág. 10)



En la tabla 1 se pueden apreciar las características de los dos tipos de control.

TABLA 1 Características - Control lazo abierto y lazo cerrado(El Mouallem, Paez, & Torres)

CONTROL LAZO ABIERTO	CONTROL LAZO CERRADO
<ul style="list-style-type: none"> - Son sencillos y de fácil concepto. - Nada asegura su estabilidad ante una perturbación. - La salida no se compara con la entrada. - Ser afectado por las perturbaciones. Éstas pueden ser tangibles o intangibles. - La precisión depende de la previa calibración del sistema 	<ul style="list-style-type: none"> - Son complejos, pero amplios en cantidad de parámetros. - La salida se compara con la entrada y le afecta para el control del sistema. - Su propiedad de retroalimentación. - Ser más estable a perturbaciones y variaciones internas

- **PID:** Un PID (Proporcional Integral Derivativo) es un mecanismo de control por realimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso. El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo.

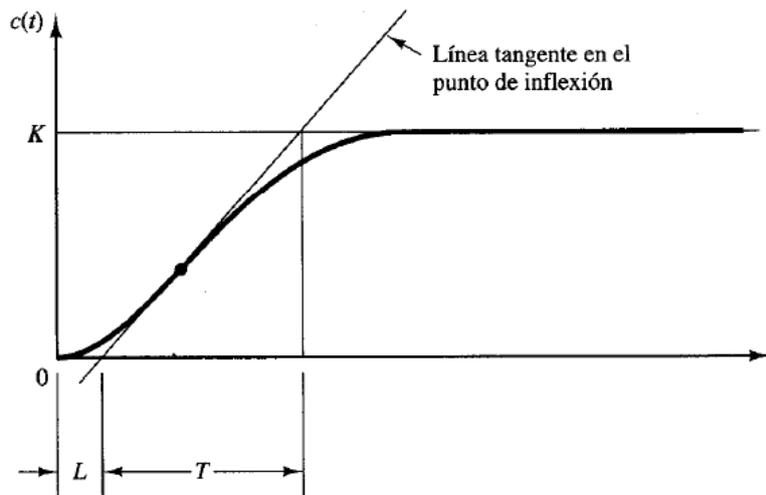
El valor Proporcional determina la reacción del error actual. El Integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto nos asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero. El Derivativo determina la reacción del tiempo en el que el error se produce. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso vía un elemento de control como la posición de una válvula de control o la energía suministrada a un calentador, por ejemplo. Ajustando estas tres variables en el algoritmo de control del PID, el controlador puede proveer un control diseñado para lo que requiera el proceso a realizar. La respuesta del controlador puede ser descrita en términos de respuesta del control ante un error, el grado el cual el controlador llega al "set point", y el grado de oscilación del sistema.

Algunas aplicaciones pueden solo requerir de uno o dos modos de los que provee este sistema de control. Un controlador PID puede ser llamado también PI, PD, P o I en la ausencia de las acciones de control respectivas. Los controladores PI son particularmente comunes, ya que la acción derivativa es muy sensible al ruido, y la ausencia del proceso integral puede evitar que se alcance al valor deseado debido a la acción de control.

Con el fin de determinar los parámetros del controlador y que este cumpla las especificaciones, se debe obtener un modelo matemático completo de la planta (sistema a controlar), sin embargo si la planta es muy compleja se deben recurrir a enfoques experimentales para la sintonización del controlador; dicho proceso se conoce como sintonización del controlador: Ziegler y Nichols sugirieron unos parámetros de control basados en cálculos experimentales que aplican a plantas cuyo modelo matemático es muy difícil de obtener.

En la figura 8 se aprecian los aspectos a tener en cuenta para la sintonización del controlador, donde L corresponde al tiempo de retardo T a la constante de tiempo y K el set point de la variable a controlar.

FIGURA 9 Respuesta del sistema a una entrada de escalón unitario(Katsuhiko, 1998, pág. 671)



3.3.2.2 Dispositivos de control

Entre los dispositivos de control más usados a nivel industrial se encuentran los autómatas programables o PLC, los cuales ejercen control sobre cualquier tipo de variables. Sin embargo existen mecanismos especializados que debido a su bajo precio y sencillez pueden realizar un control sobre variables específicas. A continuación se describirán algunos de los dispositivos de control, en base a las variables que intervienen en el diseño.

- **Control de velocidad en motores:** El dispositivo más reconocido a la hora de ejercer una regulación en la velocidad de un motor es un variador de velocidad (figura 10); algunos de los variadores de velocidad no solo son capaces de modificar la velocidad sino que además tiene la ventaja de garantizar que esa velocidad se mantenga, ya que poseen entradas análogas y controladores PI, haciendo posible la implementación de controles por realimentación. Además garantizan un arranque suave, evitando sobre-picos de corriente y protegiendo a los motores.
- **Control de temperatura:** Un controlador de temperatura (figura 11), como su nombre lo indica es un dispositivo con la capacidad de regular la temperatura en un sistema. La gran mayoría de estos controladores poseen los elementos necesarios para realizar control en lazo cerrado, solamente programándolos y haciendo uso de la instrumentación adecuada.

FIGURA 10 Variador de velocidad(Invertek Drives, 2007)



FIGURA 11 Controlador de temperatura HS 7200(Design instruments, 2006)



HS-7200

3.3.2.3 Actuadores

Los actuadores son elementos capaces de ejecutar una instrucción tras haber recibido una orden de un controlador. Estos pueden ser eléctricos, neumáticos o hidráulicos. Las electroválvulas son actuadores electromecánicos con diferentes características que hacen el control en sistemas de tuberías y de acuerdo a su acción se pueden clasificar en varios tipos; los dos más importantes son:

- Electroválvula ON/ OFF: Consiste en un válvula que al recibir una señal eléctrica, se abre o se cierra completamente dependiendo de dicha señal.
- Electroválvula proporcional: Como su nombre lo indica, su acción es proporcional a la señal de control recibida (figura 12).

FIGURA 12 Electroválvula proporcional(Severn Trent, 2003)



3.3.2.4 Sensores

Los sensores son dispositivos capaces de tomar la señal de una magnitud física y transformarla en una señal correspondiente de otro tipo.

- Sensores de temperatura: Los sensores de temperatura que más se utilizan en la industria, son de tipo resistivo, ya que fácilmente producen una señal eléctrica al entrar en contacto con la magnitud medida. De esta forma se acoplan muy bien a los circuitos acondicionadores. Entre los más destacados tenemos:
 - RTD: Se basa en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. El más usado es la PT100, un RTD de platino cuya resistencia a 0° es 100 .
 - Termistores: Muy parecido a la RTD el termistor es un semiconductor que de igual forma, su resistencia varía de acuerdo a la temperatura.
- Sensores de velocidad: los sensores de velocidad más conocidos son:
 - LVT: Constan de un núcleo permanente en forma de varilla que es conectado al dispositivo cuya velocidad se va a medir. Arriba y debajo de la varilla se disponen dos espiras conductoras en las que se desarrolla un voltaje proporcional al cambio en el campo magnético
 - Efecto hall: Consta principalmente de un conductor por el cual circula una corriente en presencia de un campo magnético. Sí fluye corriente por un sensor Hall y se aproxima a un campo magnético que fluye en dirección vertical al sensor, entonces el sensor crea un voltaje proporcional al producto de la fuerza del campo magnético y de la corriente.
 - Encoder: El encoder transforma el movimiento angular en una serie de impulsos, de tal forma que la frecuencia en pulsos es directamente proporcional a la velocidad; la detección del movimiento angular se basa en la exploración fotoeléctrica

En la tabla 2 se muestran otros tipos de sensores de acuerdo a la magnitud física a ser medida.

TABLA 2 Algunos sensores y métodos de detección(Areny, 2003)

Tipo de sensor	MAGNITUDES			
	Posición Distancia Desplazamiento	Velocidad	Temperatura	Presión
Resistivos	Potenciómetros Galgas		RTD Termistores	Potenciómetro Tubo Bourdon
Capacitivos	Condensador diferencial			Condensador Variable- diafragma
Inductivos	LVDT Efecto hall	LVT Efecto hall Corrientes Foucault		
Generadores			Termopares Piroeléctricos	Piezoeléctricos
Digitales	Codificadores incrementales y absolutos	Codificadores incrementales	Osciladores de cuarzo	
Uniones p-n	Fotoeléctricos	Encoder incremental	Diodo Transistor	
Ultrasónicos	Reflexión	Efecto Doppler		

4. DISEÑO

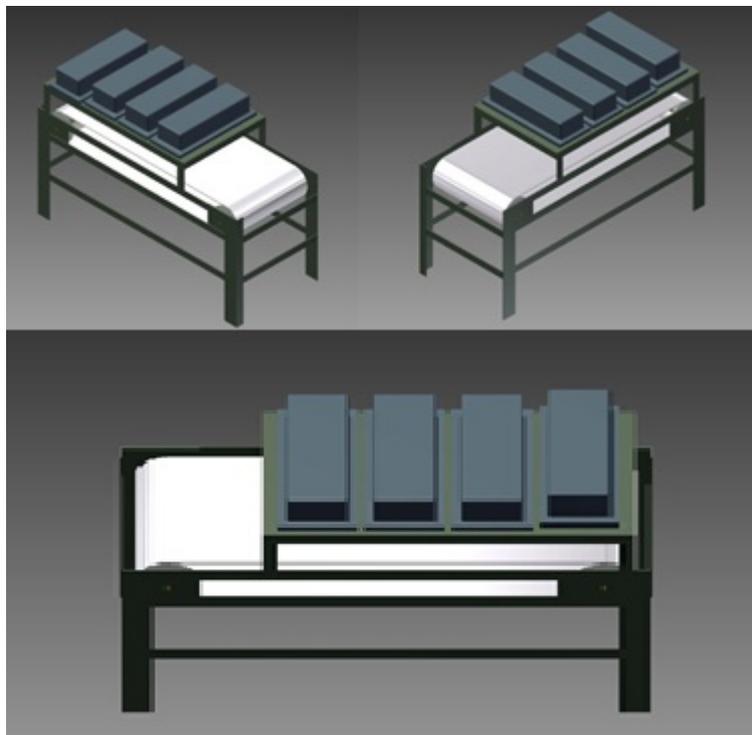
4.1 PRUEBAS PRELIMINARES

Tras la realización de los estudios sobre sistemas similares, que se han construido hasta el momento; el diseño estará basado en una banda transportadora contando con dos diseños en particular.

4.1.1 MÁQUINA BASADA EN UN “TÚNEL DE AREPAS”

El primer diseño consiste en una banda transportadora compuesta por una malla en acero inoxidable la cual reemplaza la cinta, pero como las arepas tienen que asarse por ambos lados se someten a temperatura por medio de un túnel el cual consta de flautas en la parte inferior y quemadores infrarrojos en la parte superior, ambos dispositivos funcionales a gas, gracias a que este es un combustible muy económico y de fácil acceso en la fábrica. Todo el sistema se representa en la figura 13.

FIGURA 13 Máquina basada en un "túnel de arepas"(INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres)



Para la implementación de este prototipo se realizaron dos pruebas una en Bogotá con masa de maíz, como lo muestran las figuras 14, 15 y 16.

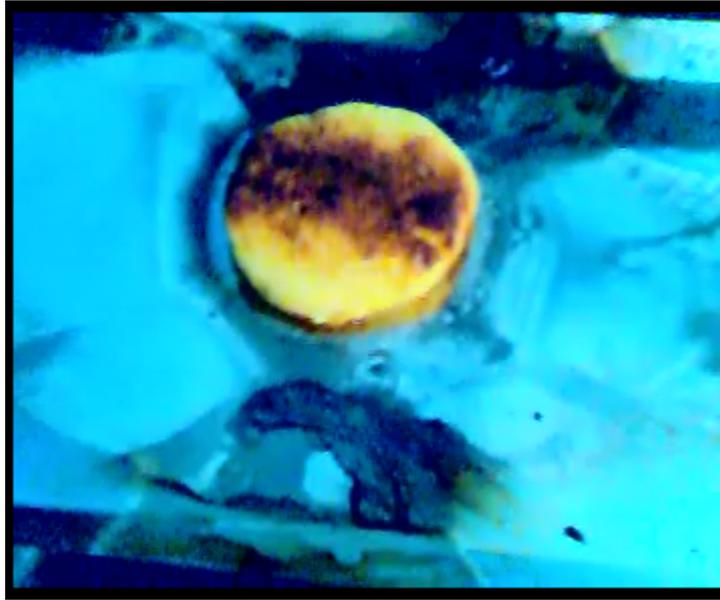
FIGURA 14 Prueba de cocción(EI Mouallem, Paez, & Torres)



FIGURA 15 Prueba de cocción usando infrarrojo a gas (El Mouallem, Paez, & Torres)



FIGURA 16 Resultado - Prueba de cocción(El Mouallem, Paez, & Torres)



Esta prueba arrojó muy buenos resultados ya que se comprobó que al exponer la arepa al calor por ambos lados el proceso no solo era efectivo sino que se ahorra tiempo puesto que el producto estaba listo en menos de la mitad del tiempo que se estaba implementando en la actualidad. El paso a seguir consistió en realizar las pruebas en la fábrica de Boyacá, directamente en el asador con la masa y el queso incorporado.

Al efectuar las pruebas en la fábrica, por sus componentes, estas se expanden y la masa pierde su consistencia al punto de quedar muy frágil y deshacerse con facilidad, al aplicarle calor por los dos lados, el suero y el agua en el queso se evaporan mucho más rápido causando que se inflen las arepas y deshidratando por completo la masa al punto de quedar frágiles y quebradizas.

4.1.2 MÁQUINA BASADA EN DOS BANDAS TRANSPORTADORAS

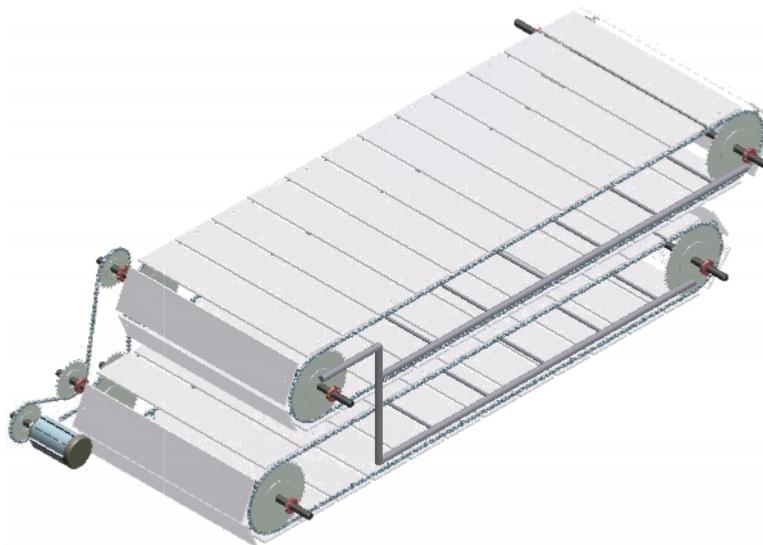
Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el primer diseño y los resultados obtenidos en la investigación se opta por la implementación de dos bandas transportadoras, con ella no afectaríamos la consistencia, el color, la forma, y mucho menos el sabor ya que en esencia es el mismo proceso que se está llevando hasta el momento pero con la diferencia que es móvil y la arepa giraría para ser cocinada por los dos costados. En la figura 17 se observan las planchas en las cuales realiza el proceso de cocción de la arepa.

FIGURA 17 Planchas donde se realiza el proceso actual(EI Mouallem, Paez, & Torres)



En la figura 18 se muestra la idea, para el diseño de la máquina basada en dos bandas

FIGURA 18 Máquina basada en dos bandas(INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres)



4.2 DISEÑO MECÁNICO

El diseño del prototipo que ilustra el proceso de cocción de las arepas fue logrado mediante la ejecución de una serie de pasos planificados con anterioridad, además de tener en cuenta aspectos como la calidad del producto que se está manejando, de tal forma que no sea afectado.

Para tal fin se hizo una previa investigación acerca de las soluciones industriales que existen en el mercado, así como las investigaciones realizadas por algunas universidades y que afectan el campo que se está manejando.

Posteriormente, se realiza un análisis de la información recopilada y se decide trabajar, basados en dos de las ideas que se lograron encontrar a través de la investigación, con el fin de tener dos alternativas a la hora de la elección de la máquina que realizaría el proceso requerido.

A través del software INVENTOR 2011 se desarrollan los prototipos de manera virtual antes de realizar cualquier otro tipo de prueba.

4.2.1 MÁQUINA BASADA EN UN “TÚNEL DE AREPAS”

4.2.1.1 Descripción general

La máquina basada en un túnel de arepas, constaría de una banda transportadora, la cual estaría conformada por una malla metálica que sería calentada por quemadores a gas ubicados en la parte interna de la estructura (la malla metálica estaría sujeta a dos rodillos ubicados en los extremos de la estructura, y facilitarían el movimiento de esta); en la parte superior de la máquina estarían ubicados quemadores infrarrojos, tal como lo ilustra la figura 19.

4.2.1.2 Funcionamiento

El funcionamiento de esta máquina es sencillo: la arepa se sitúa en la entrada de la máquina, para que sea trasladada al interior de esta, donde por acción del calor suministrado, en la parte superior por los infrarrojos y en la parte inferior por la banda caliente, se realice la cocción y al finalizar el recorrido, se obtenga un producto terminado. Este proceso se puede observar en la figura 20.

FIGURA 19 Máquina basada en un "Túnel de arepas – Partes (INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres)

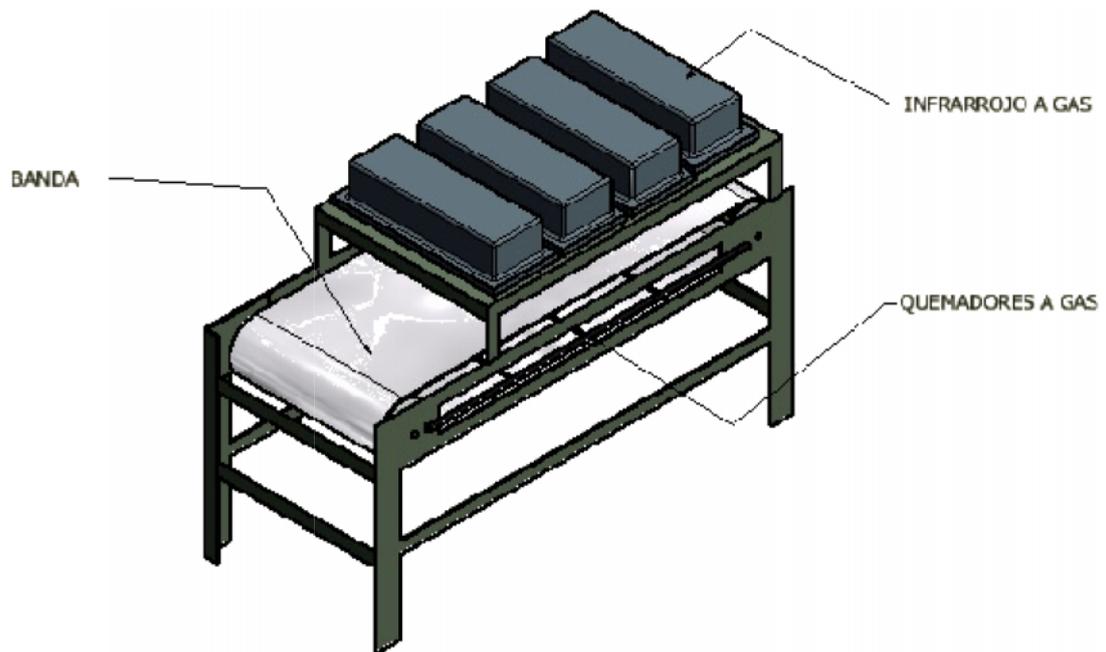
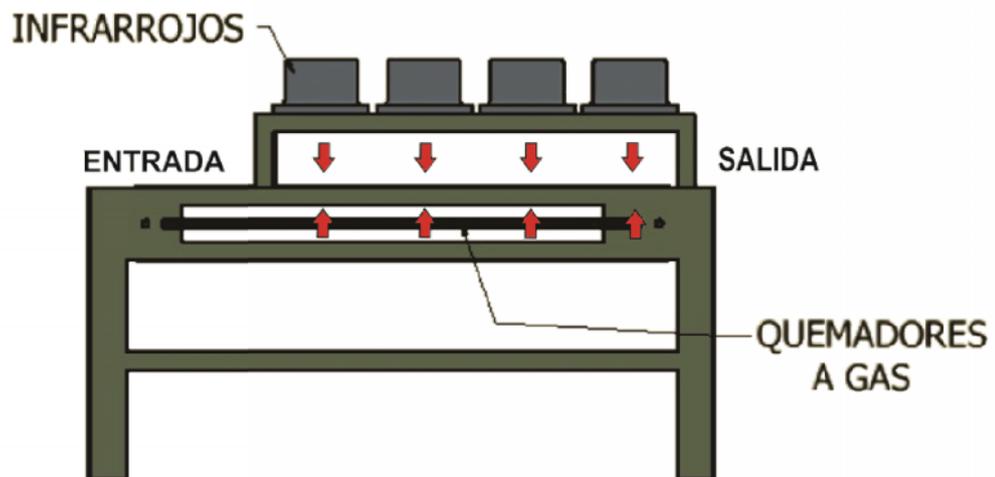


FIGURA 20 Funcionamiento (INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres)



Tras haber medido el tiempo de cocción de la arepa, un motor acoplado a uno de los rodillos se encarga de garantizar que la duración de esta, no se exceda ni sea menor a la necesaria para que el proceso sea exitoso. De igual manera una electroválvula controlara el flujo de gas que llegará a los infrarrojos y a los quemadores; de tal forma que se pueda establecer un control de la temperatura sobre el sistema implementado.

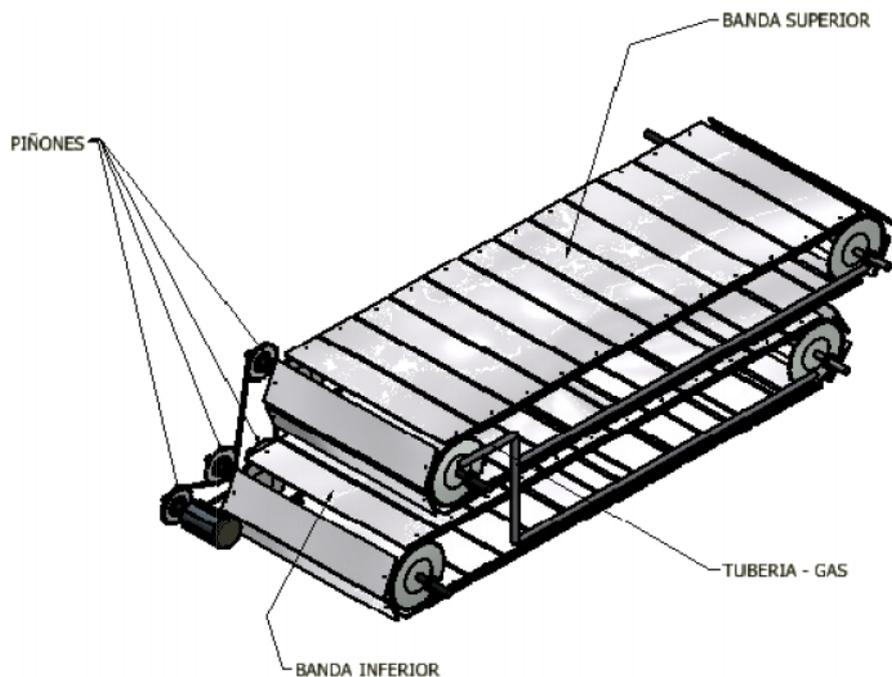
4.2.2 MÁQUINA BASADA EN DOS BANDAS TRANSPORTADORAS

4.2.2.1 Descripción general

La máquina basada en dos bandas transportadoras sería de aspecto muy similar a la anterior, pero contaría con dos bandas transportadoras, conformadas por planchas metálicas, quemadores a gas, varios piñones, rodamientos, ejes y una cadena de rodillos.

Las bandas irán una sobre otra, separadas por cierta distancia y ubicación. Un motor y un arreglo de piñonera garantizarán que el desplazamiento de estas sea el correcto, como se aprecia en la figura 21.

FIGURA 21 Máquina basada en dos bandas transportadoras (INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres)



4.2.2.2 Partes

- Ejes: los ejes corresponden a cuatro tubos metálicos de 70 cm de largo con un diámetro de 2 cm; en cada extremo estos ejes llevarán soldados los piñones principales.
- Piñones principales: se encargan de sostener la cadena principal y permitir el movimiento de las bandas
- Cadena principal: corresponde a una cadena de rodillos que está diseñada para sostener las planchas (figura 22). Con el fin de reducir costos y ya que se trata de un prototipo dicha cadena será reemplazada por una cadena acondicionada para tal función (figura 23).
- Piñones externos: en la parte externa de la estructura de la máquina estará ubicado el arreglo de piñones que hace posible realizar el movimiento inverso de las dos bandas. Este arreglo consta básicamente de cuatro piñones, el primero estará ubicado en el eje de la banda superior, el segundo estará ubicado en el eje de la banda inferior, el tercero estará acoplado al rotor del motor y el cuarto a un eje auxiliar que tensará la cadena y hará posible que las bandas giren en sentidos opuestos. Lo anterior expresado lo ilustra la figura 24.

FIGURA 22 Cadena de rodillos con aleta 90°(Chains & Sprockets S.A, 2008)



FIGURA 23 Cadena de rodillos modificada(INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres)

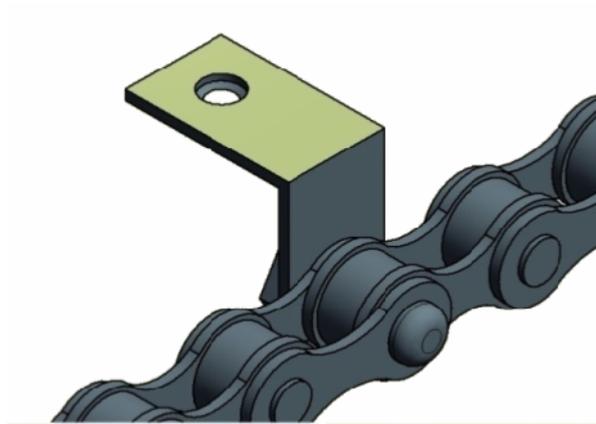
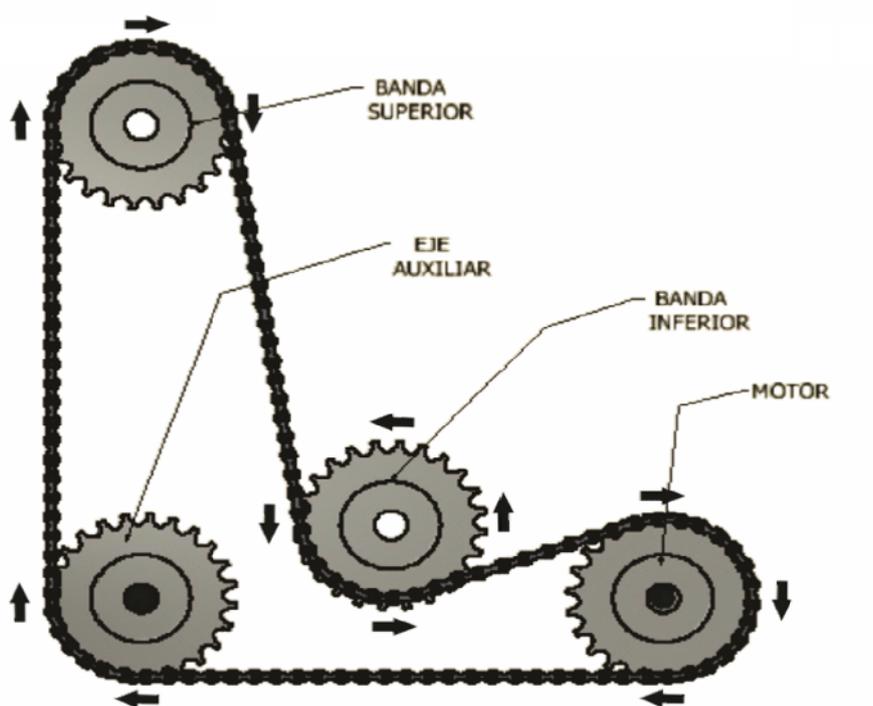


FIGURA 24 Sistema de transmisión(INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres)

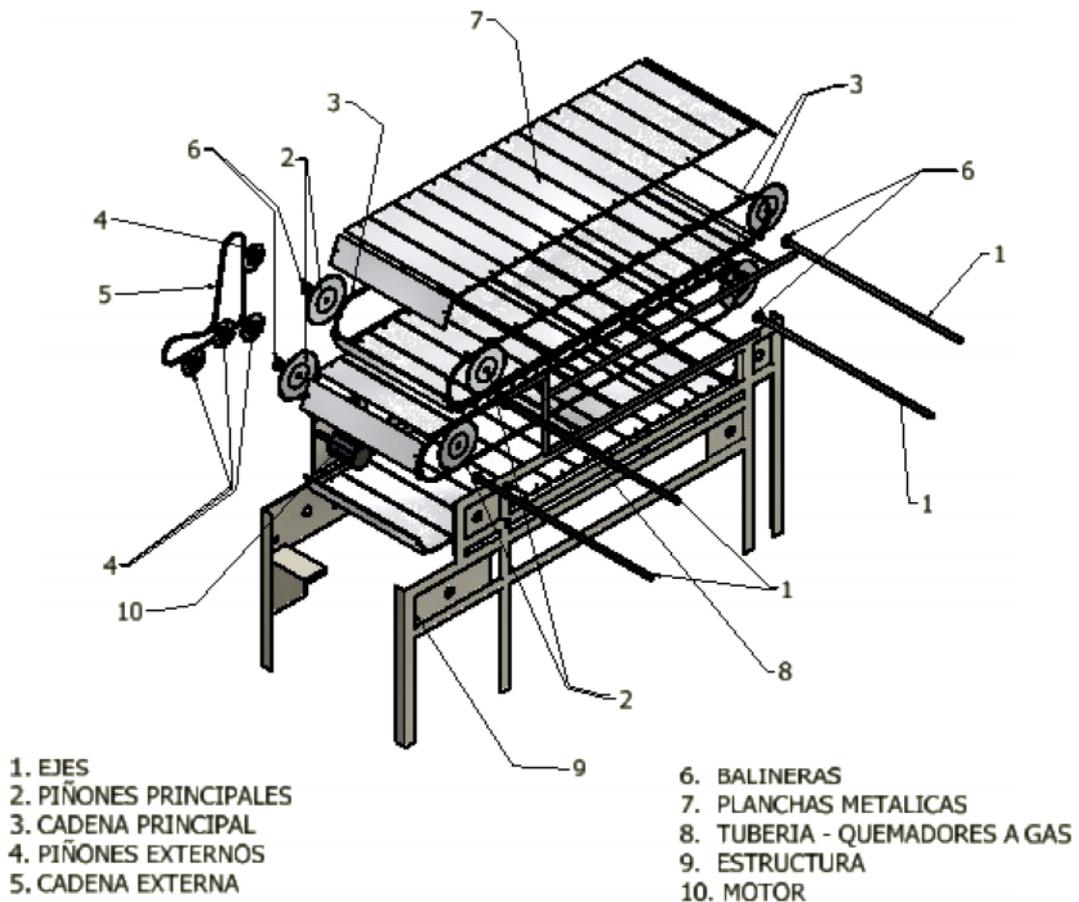


- Cadena externa: Junto con los piñones externos permite que las bandas giren en dirección opuesta.
- Rodamientos: Reducen la fricción entre los ejes y la estructura que los soporta y por lo tanto garantizan que la fuerza que necesita el motor para mover las bandas sea menor.
- Planchas metálicas: Sobre estas se lleva a cabo la cocción de las arepas.

- Quemadores a gas: Ubicados en medio de cada banda, calientan las planchas a la temperatura deseada.
- Estructura: En esta construcción metalmecánica se anclan todas las partes

En la figura 25 se puede apreciar con gran claridad la distribución de las partes dentro de la máquina

FIGURA 25 Despiece de la máquina (INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres)

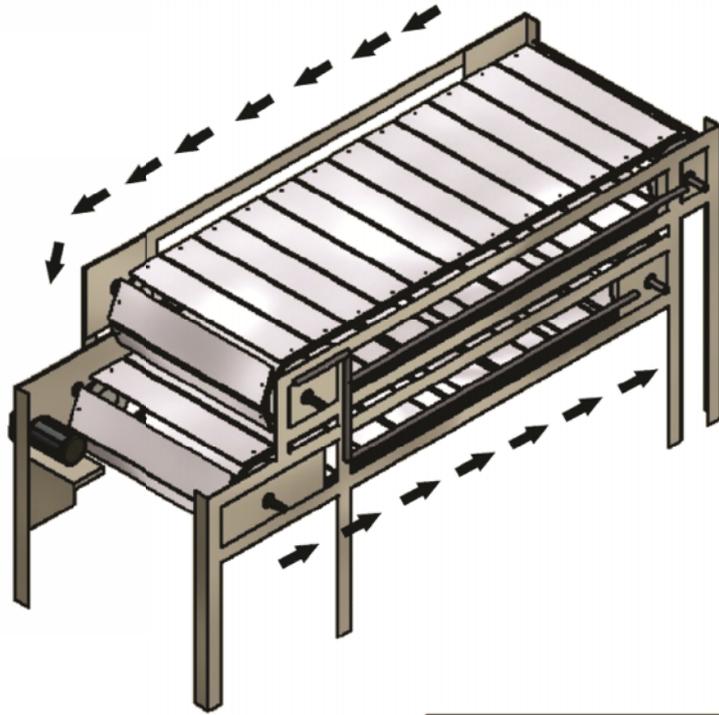


4.2.2.3 Funcionamiento

El funcionamiento de esta máquina es muy similar a la anterior; la arepa se coloca sobre las planchas de la banda superior, previamente calentadas por los quemadores a gas (el tiempo de desplazamiento debe ser igual al tiempo de cocción por un solo lado), al finalizar este recorrido la arepa caerá en la banda inferior girando, de tal forma que la parte que aún no se ha asado quedará sobre las planchas y realizará el proceso anterior. Al finalizar este recorrido, el proceso se ha completado (figura 26).

En este proceso también es preciso ejercer un control electrónico en dos de las principales variables que se presentan en el sistema. Es de vital importancia garantizar que tanto la velocidad de las bandas, como la temperatura sean las indicadas para el proceso.

FIGURA 26 Funcionamiento - Máquina de dos bandas transportadoras (INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres)



4.2.3 CÁLCULOS DE POTENCIA

Una vez definido el diseño del prototipo, los materiales, es posible realizar los cálculos sobre las fuerzas que intervienen en el sistema, con el fin de decidir el tipo de motor a utilizar y los elementos necesarios para que la máquina cumpla con su propósito. Dichos cálculos se realizarán usando el sistema de medición inglés.

4.2.3.1 Cálculos de tensión en las cadenas

Para realizar dicho cálculo:

$$P(lb) = P_t F K_1 \quad (1)$$

Dónde:

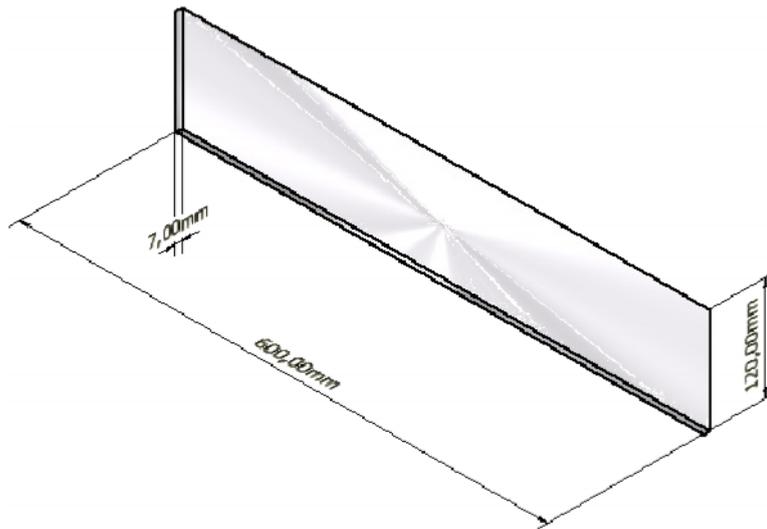
P_t = Peso total a transportar (lb)

F = Coeficiente de fricción, deslizamiento o rodamiento

K_1 = Coeficiente de velocidad de la cadena

Para calcular el peso a transportar, se sabe que las planchas (figura 27) son el resultado de una aleación hierro (40%), aluminio (60%) de 0.6m x 0.12m x 0.007m. Con estos datos:

FIGURA 27 Dimensiones de la plancha (INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres)



$$D = m/v \quad (2)$$

D = Densidad

v = Volumen

m = Masa

$$D_{Fe} = 7874 \text{ kg/m}^3$$

$$D_{Al} = 2698,4 \text{ kg/m}^3$$

$$v_{Total} = 0,0005 \text{ m}^3$$

$$v_{Fe} = 0,0005 \times 40\% = 0,0002 \text{ m}^3$$

$$v_{Al} = 0,0005 \times 60\% = 0,0003 \text{ m}^3$$

$$m_{Fe} = 7874 \text{ kg/m}^3 \times 0,0002 \text{ m}^3 = 1,57 \text{ kg}$$

$$m_{Al} = 2698,4 \text{ kg/m}^3 \times 0,0003 \text{ m}^3 = 0,8 \text{ kg}$$

$$m_{Total} = 2,37 \text{ kg}$$

Teniendo en cuenta que el número de planchas es 28 el peso a transportar será 66,36 kg por cada banda más 8,4 kg que corresponden al peso de las 84 arepas (3 por plancha) cuyo peso unitario es de 100g.

Al final se obtiene un peso total de 74,76 kg es decir 164,47 lb.

Se toma el coeficiente de fricción de la tabla 3

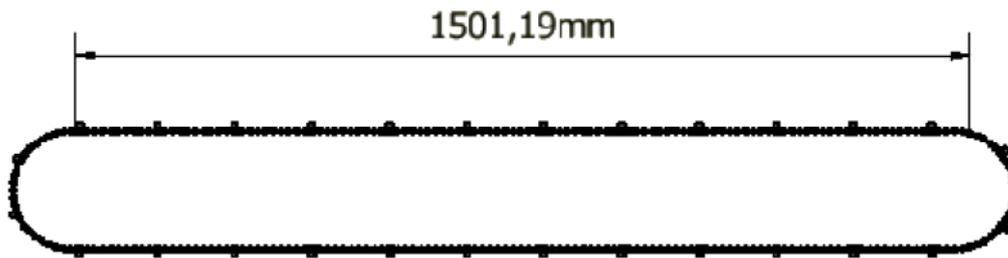
TABLA 3 Coeficientes de fricción de algunos materiales(Koshkin & Shirkévich, 1975)

Superficies en contacto	μ_k
Acero sobre acero	0.18
Acero sobre hielo (patines)	0.02-0.03
Acero sobre hierro	0.19
Hielo sobre hielo	0.028
Patines de madera sobre hielo y nieve	0.035
Goma (neumático) sobre terreno firme	0.4-0.6
Correa de cuero (seca) sobre metal	0.56
Bronce sobre bronce	0.2
Bronce sobre acero	0.18
Roble sobre roble en la dirección de la fibra	0.48

Por último para hallar el coeficiente de velocidad de la cadena se debe calcular la velocidad de la misma teniendo en cuenta que la arepa debe recorrer 1,5 m (figura 28) en 5,5 minutos;

$$Vel = 0,88 \text{ ft/min}$$

FIGURA 28 Dimensión de la cadena (INVENTOR 2011, El Mouallem, Paez, & Torres)



De la tabla 4, velocidad de la cadena tomamos el $K_1 = 1.0$

TABLA 4 Factor de velocidad de una cadena (Vásquez, 2004)

Chain Speed ft./min.	Speed Factor (k_1)
0 ~ 50	1.0
50 ~ 100	1.2
100 ~ 160	1.4
160 ~ 230	1.6
230 ~ 300	2.2
300 ~ 360	2.8
360 ~ 400	3.2

De esta forma, se calcula la tensión utilizando (1):

$$P(lb) = 164,47lb \times 0,18 \times 1.0$$

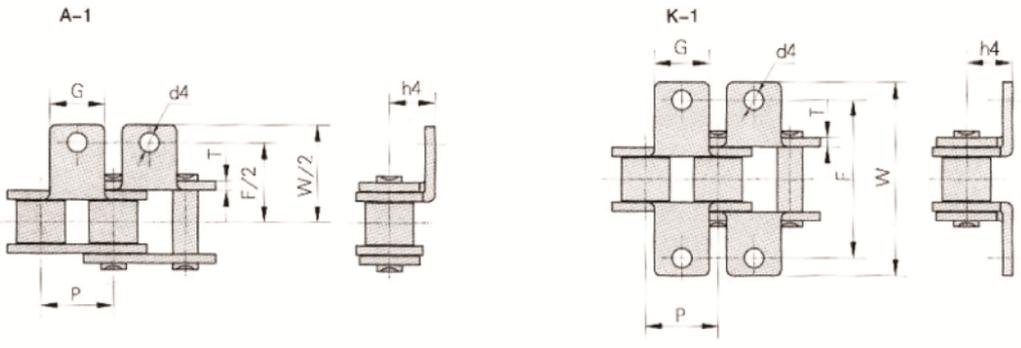
$$P(lb) = 29,6 lb$$

Con este dato se puede seleccionar el tipo de cadena, según la tabla 5.

Teniendo en cuenta la tensión necesaria para lograr el desplazamiento de una banda, se puede continuar con la selección del tipo de cadena que se usará con el fin de poder re calcular la tensión, sabiendo el peso de la cadena y de los accesorios que esta llevará.

Para dicha selección se usarán los datos suministrados por el fabricante, los cuales se pueden apreciar en las tablas 5 y 6; el primer parámetro a tener en cuenta es el tipo de cadena, ya que esta debe poseer un aditamento especial (aleta) el cual soportará las planchas. Una vez ubicado (tabla 5) nos fijamos en el diámetro de la perforación de la aleta y de acuerdo a esto se selecciona una cadena número 50, ya que la mencionada perforación (d_4) es superior a 5mm ideal para un buen tornillo.

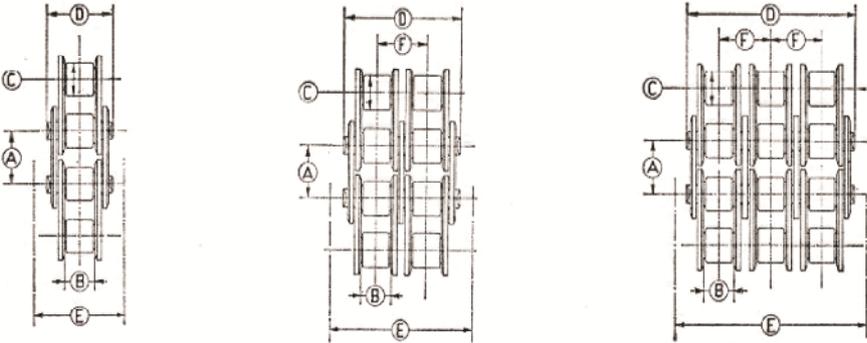
TABLA 5 Cadenas con aleta 90°(Chains & Sprockets S.A, 2008)



DIN/ISO CADENA No.	ANSI CADENA No.	P mm	G mm	F mm	W mm	T mm	h4 mm	d4 mm
06C	35	9.525	7.9	19.00	28.60	1.30	6.35	3.4
08A	40	12.700	9.5	25.40	35.20	1.50	7.90	3.4
085	41	12.700	9.5	24.00	33.4	1.30	6.90	3.6
10A	50	15.875	12.7	31.75	46.2	2.03	10.30	5.5
12A	60	19.050	15.9	38.10	55.6	2.42	11.90	5.5

Para garantizar la durabilidad de la cadena en la tabla 6, se verifican las principales características y la tensión máxima de ruptura.

TABLA 6 Características de las cadenas (Chains & Sprokets S.A, 2008)



FILAS	DESIGNACION	PASO A		Ancho interior mínimo		∅ del rodillo o casquillo	Ancho máx. sobre ejes		Luz lateral mínima	Separación entre filas	Superficie de articulación cm ²	Carga aprox. de rotura kg.	Eslabones por metro aprox.	Peso por metro kg.
		Pulgadas	mm.	B mm.	C mm.	D mm.	E mm.	F mm.						
NORMA ISO 606														
15			5,—	2,5	3,2,—	4,—	7,4	—	—	—	0,07	350	167	0,120
18			6,—	2,0	4,—	5,—	8-6	—	—	—	0,11	500	125	0,180
28			8,—	3,—	5,—	6,—	11-6	—	—	—	0,17	750	105	0,270
32		3/8	9,525	5,72	6,35	7,62	12,40	17,50	—	—	0,285	1000	105	0,400
25*		1/4	6,35	3,18	3,30	4,13	8,—	12,5	—	—	0,11	450	157	0,140
35*		3/8	9,525	4,77	5,08	6,35	11,90	17,—	—	—	0,27	1050	105	0,330
40			10,—	4,—	6,—	7,—	13,4	22,—	—	—	0,45	1850	79	0,640
41		1/2	12,70	7,95	7,92	9,14	13,4	19,50	—	—	0,32	910	79	0,400
50		5/8	15,875	9,53	10,16	11,43	20,5	26,5	—	—	0,71	2900	63	1,060
60**		3/4	19,05	12,70	11,91	14,27	28,—	32,—	—	—	1,05	3900	53	1,580

La tensión de ruptura es de 2900 kg, lo cual significa que sirve para el diseño.

Lo siguiente es recalculer la tensión teniendo definida la cadena; para eso:

$$P(lb) = (2,1W + M)f_r c \quad (3)$$

P = Empuje total

W = Peso de las cadenas y aditamentos

M = Peso del material por unidad de longitud

f_r = Coeficiente de fricción

c = Distancia entre centros

$$W = (3,64 \times 2)(1,06) = 7,7 \text{ kg}$$

$$W = 16,9 \text{ lb}$$

$$P(lb) = (2,1 \times 16,9 + 36,86) 0,18 \times 4,92$$

$$P(lb) = 64,07 \text{ lb/ft}^2$$

La tensión de todo el sistema sería 128,14 lb/ft², ya que son dos bandas las que se tienen de desplazar.

Con esto se puede calcular la potencia requerida para mover el sistema:

$$Pot = \frac{P \times S}{3300} \quad (4)$$

$$S = \frac{P_c \times N \times n}{12} \quad (5)$$

Dónde:

Pot = Potencia (HP)

S = Velocidad de la cadena (ft/min)

M = Peso del material (lb/ft)

C = Distancia entre centros de la cadena

n = Velocidad del piñón (rpm)

N = Número de dientes del piñón

P_c = Paso de la cadena (in)

Para calcular la velocidad del piñón, se debe seleccionar un piñón que corresponda al paso de la cadena seleccionada (segunda columna – tabla 6), que sería 5/8 de pulgada. Para este caso se ha determinado que el piñón va a tener un diámetro de 20,9 cm, ya que se había tomado esta medida para el cálculo de la longitud de la cadena; con lo que tendrá 40 dientes (tabla 7).

$$V = w \times r \quad (6)$$

$$w = \frac{V}{r} \quad (6.1)$$

$$w = \frac{0,88 \text{ ft/min}}{0,328 \text{ ft}}$$

$$w = 2,68 \text{ rad/min}$$

Una vez obtenida la velocidad angular se hace la siguiente relación para obtener la velocidad en RPM:

$$n = \frac{w}{2\pi \text{ rad}} = \frac{2,68 \text{ rad/min}}{2\pi}$$

$$n = 0,42 \text{ RPM}$$

$$S = \frac{0,625 \times 40 \times 0,42}{12}$$

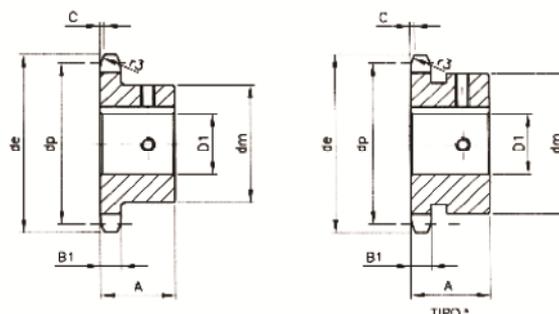
$$S = 0,875$$

$$POT = \frac{128,14 \times 0,875}{3300}$$

$$POT = 0,3 \text{ HP}$$

TABLA 7 Características de los piñones(Engranajes Miralles , 2009)

PIÑONES PARA CADENAS DE RODILLOS
PASO 5/8" ø RODILLO 10,16



Z	De	Dp	Dm	D1	A	B1	Tipo *
35	184,0	177,10	95	20	35	9,1	Mas medidas SB
40	209,2	202,34	100	20	35	9,1	Mas medidas SB

4.3 DISEÑO ELECTRONICO

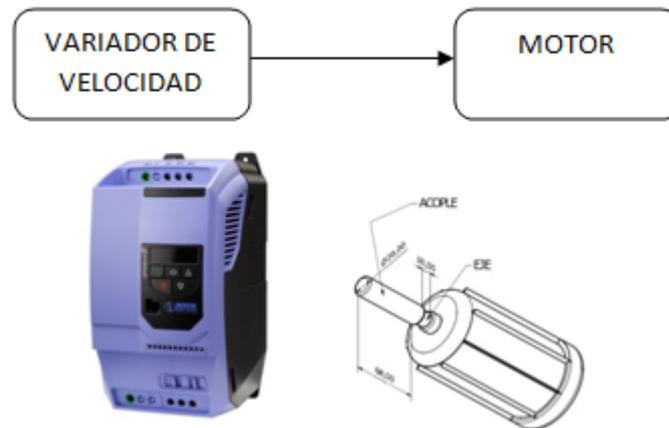
4.3.1 CONTROL DE VELOCIDAD

Sabiendo que el tiempo necesario para la cocción de una arepa es de 5.5 minutos, es preciso garantizar que este tiempo sea el que las arepas permanezcan sobre las planchas. Para tal fin se establecen dos tipos de controles, mediante los cuales se realizara una acción reguladora sobre el motor.

4.3.1.1 Control en lazo abierto

En este tipo de control se aplica la señal de control de un variador de velocidad directamente al motor, conociendo la velocidad a la cual se tiene que desplazar la banda (figura 29).

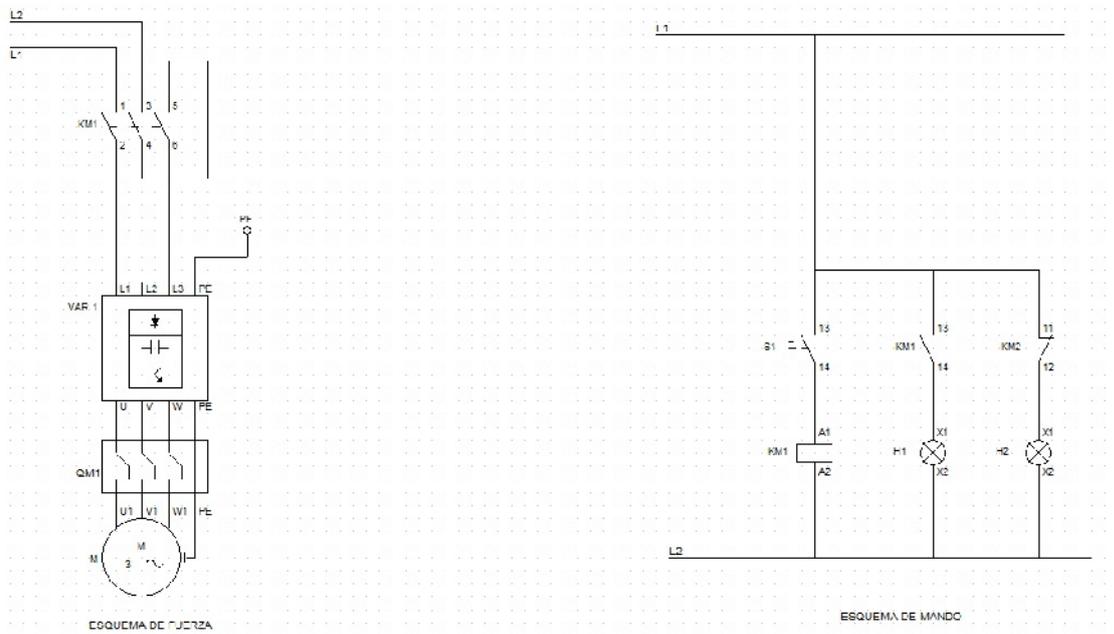
FIGURA 29 Control de velocidad en lazo abierto (El Mouallem, Paez, & Torres)



El diseño eléctrico del sistema (figura 29) consta de dos etapas; la primera etapa de fuerza en la cual interviene directamente el motor y el variador, los cuales son accionados por un contactor KM1; de igual forma el motor se halla protegido por un relé térmico QM1, el cual se dispara si hay un sobre calentamiento, evitando que el motor sufra algún daño.

La etapa de mando consta de un pulsador normalmente abierto que al ser presionado activa la bobina del contactor KM1 y el contacto normalmente abierto, haciendo que el piloto H1 se encienda indicando que el motor está en marcha; por otro lado se abre el contacto normalmente cerrado que desactiva el piloto H2. Si el pulsador no ha sido accionado el piloto H2 estará encendido indicando que el motor está parado (figura 30)

FIGURA 30 Diagrama eléctrico de conexiones – control lazo abierto(CADe_SIMU, El Mouallem, Paez, & Torres)



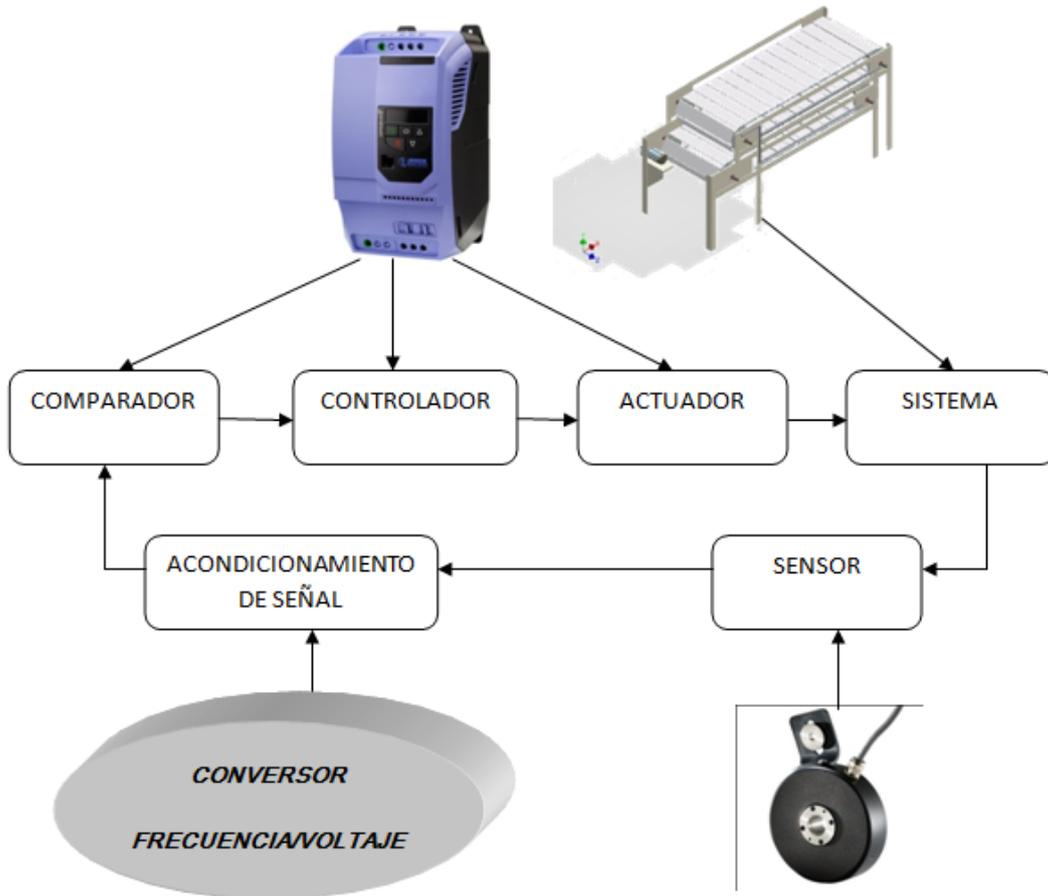
4.3.1.2 Control en lazo cerrado

El control en lazo cerrado a través de la retroalimentación permite que la acción de control actúe en función de la señal de salida. En dicho control intervienen los siguientes elementos:

- Comparador: se encarga de comparar la señal de salida entregada por el sensor y la señal de entrada previamente programada.
- Controlador: recibe la señal de error del comparador y decide si es necesario ejercer una acción de control sobre el sistema.
- Actuador: si la señal de error es diferente de cero ejerce una acción de control sobre el sistema.
- Sistema: bandas transportadoras accionadas por un motor eléctrico
- Sensor: se trata de un encoder, el cual mide la velocidad del motor y entrega una salida en términos de frecuencia.
- Acondicionador de señal: toma la señal del sensor y la convierte en una señal eléctrica que pueda ser reconocida por el comparador. Para tal fin se hace uso del integrado LM2907 el cual es un convertidor frecuencia – voltaje con una configuración proporcionada por la hoja de datos del fabricante (figura 32)

Las funciones del comparador, controlador y actuador son realizadas por un variador de velocidad previamente programado. Todo el sistema se ilustra en la figura 31.

FIGURA 31 Control de velocidad en lazo cerrado (El Mouallem, Paez, & Torres)



El diseño eléctrico es muy similar al anterior, solo se diferencia en que se hace necesario la inclusión de una fuente DC de 220VAC a +12VDC y 5VDC, la cual alimentará el circuito conversor frecuencia – voltaje y el encoder, como se aprecia en la figura 33.

FIGURA 32 Circuito conversor frecuencia – voltaje (National Semiconductor , 2008)

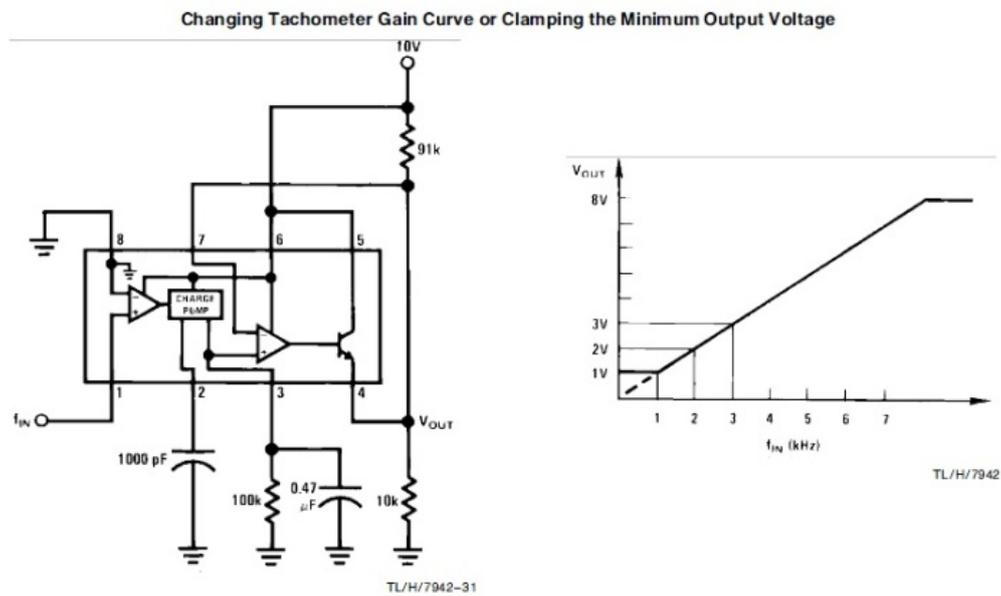
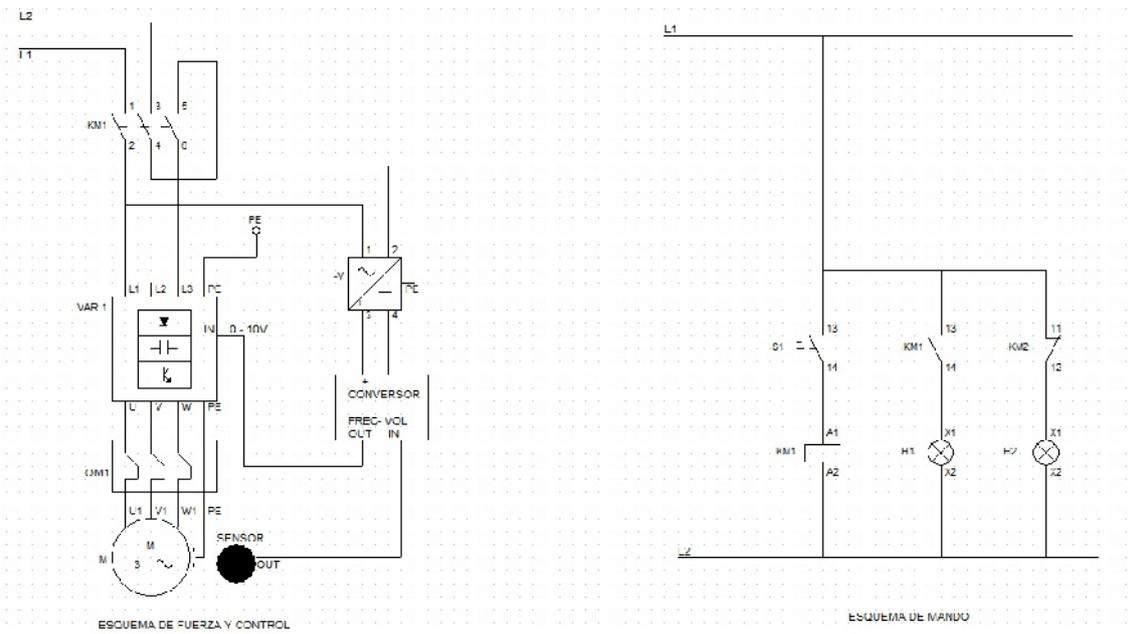


FIGURA 33 Diagrama eléctrico de conexiones – control lazo cerrado(CADe_SIMU, El Mouallem, Paez, & Torres)



4.3.1.3 Puesta en marcha del variador de velocidad

El variador tenido en cuenta para el diseño es un INVERTEK OPTIDRIVE E2, el cual realizará la acción reguladora sobre el sistema ya que posee varias entradas analógicas y un controlador PI. El parámetro de control P41 (Ganancia proporcional) puede ser aumentado hasta 30 pero un valor tan alto causaría inestabilidad en el sistema y solo se usa para vencer altas inercias.

Por otro lado el parámetro de control P42 (Constante de tiempo integral) puede variar de 0 a 30 segundos, pero si el valor es muy alto, la respuesta del sistema será demasiado lenta. Para realizar dicha programación se deberá ajustar el PI con valores bajos y aumentarlos hasta que la respuesta sea la deseada. A continuación se describe la conexión del control del variador, (figura 34) teniendo en cuenta que en T6 (bornera 6) estará la entrada de la señal del sensor acondicionada previamente, así como la configuración delta o estrella (figura 35) que debe ser tomada en cuenta a la hora de conectar el motor; y luego en la figura 36 a través de un diagrama de flujo se muestra la programación del variador.

FIGURA 34 Diagrama de conexiones del variador (Invertek Drives, 2007)

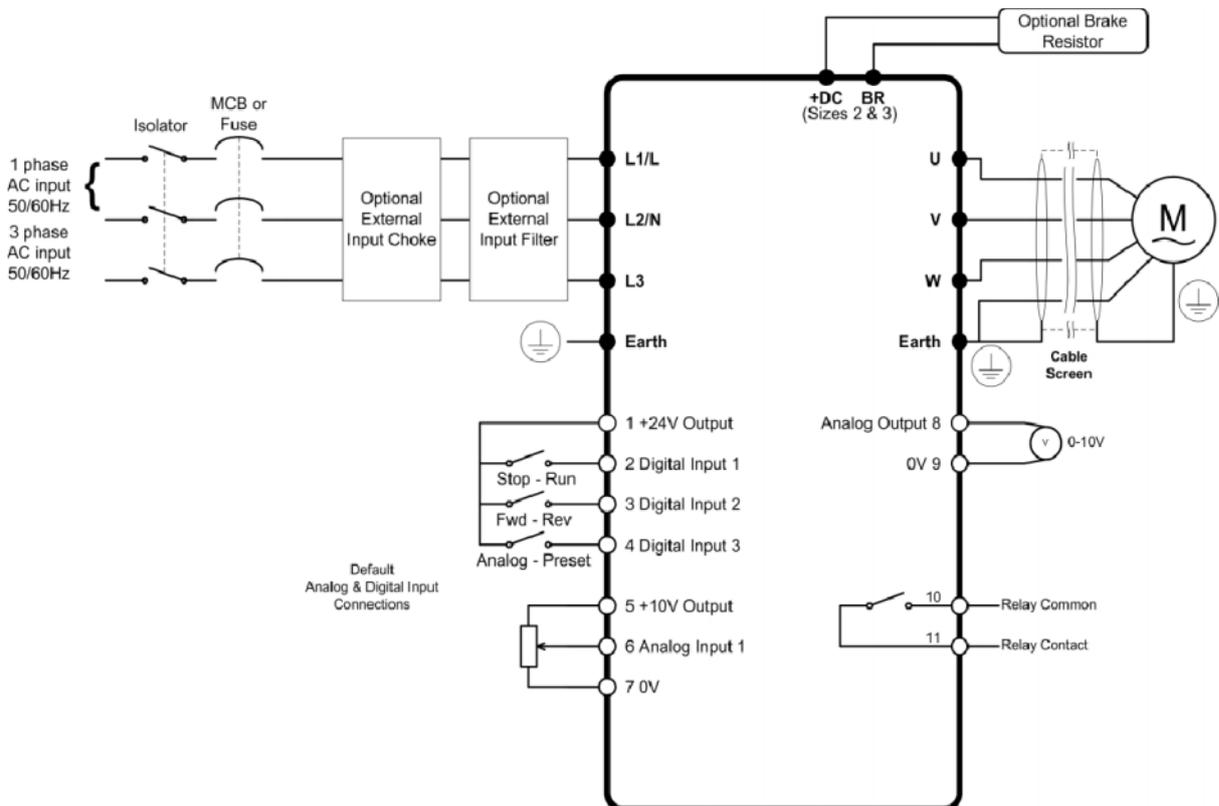


FIGURA 35 Configuración Delta – Estrella(Invertek Drives, 2007)

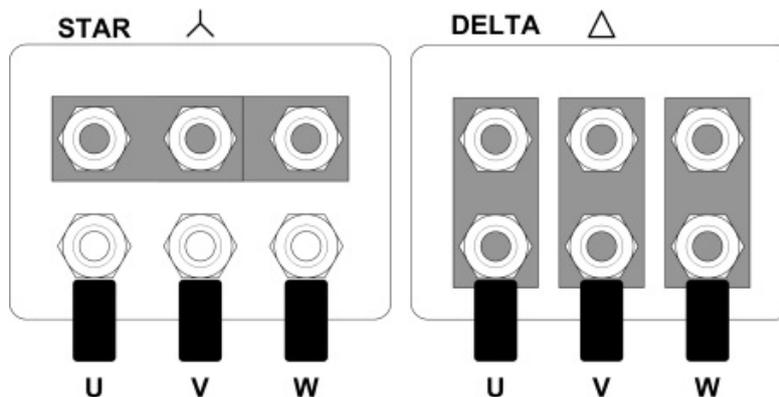
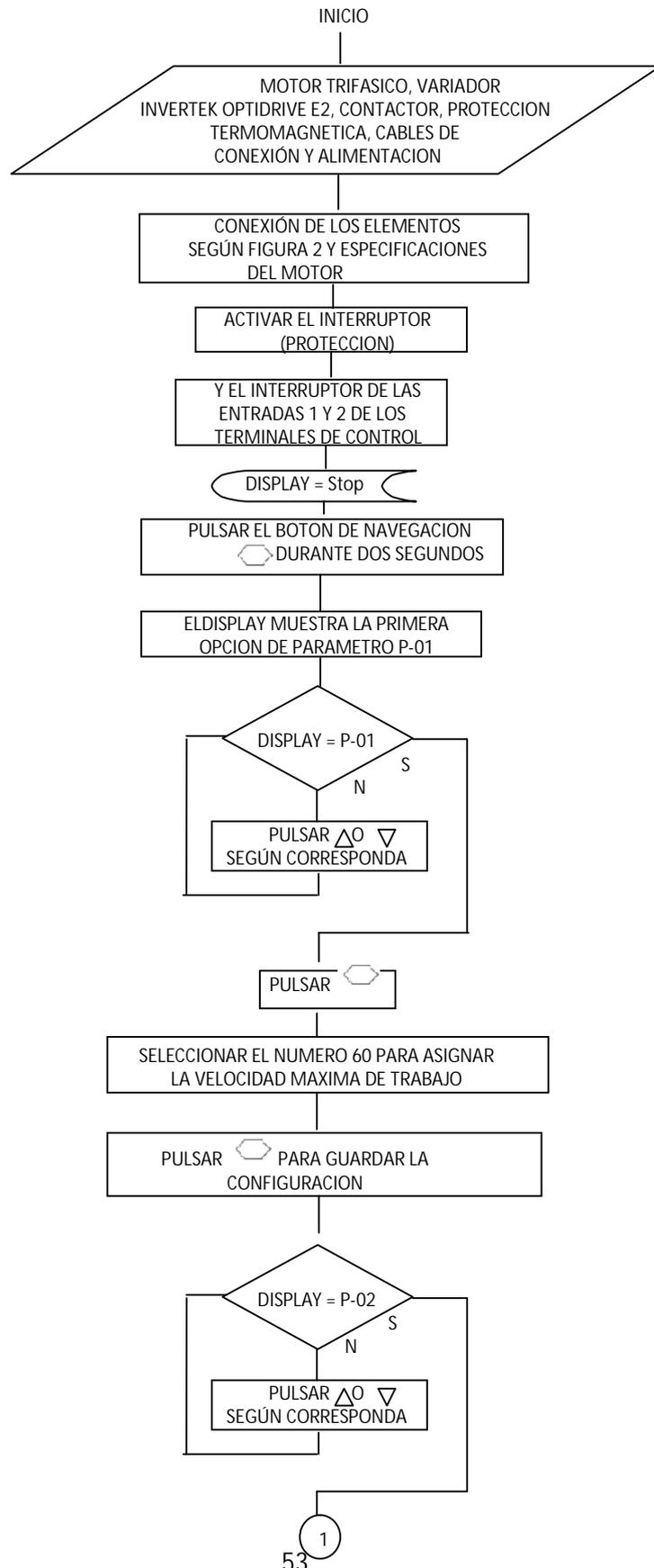
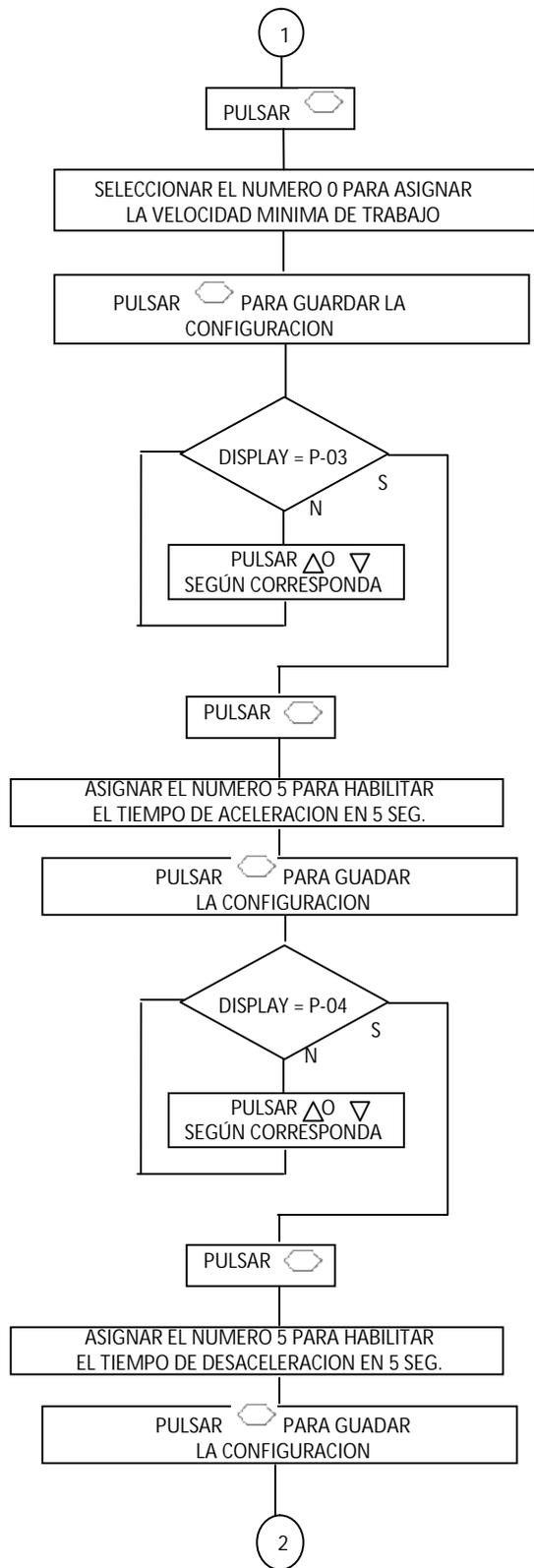
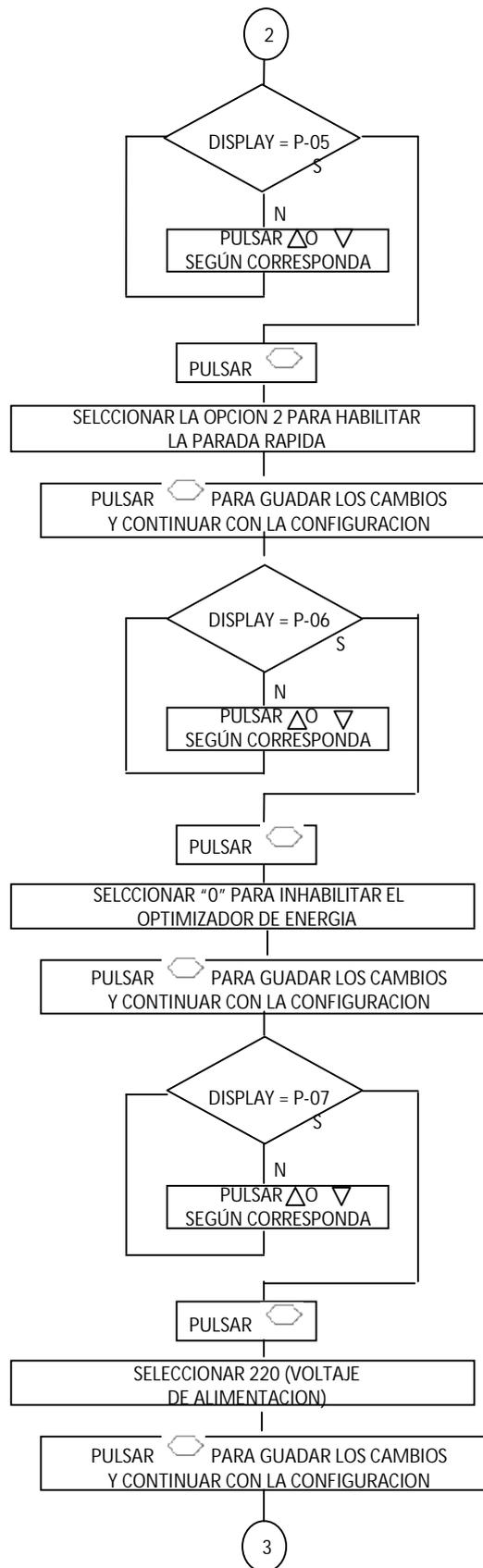
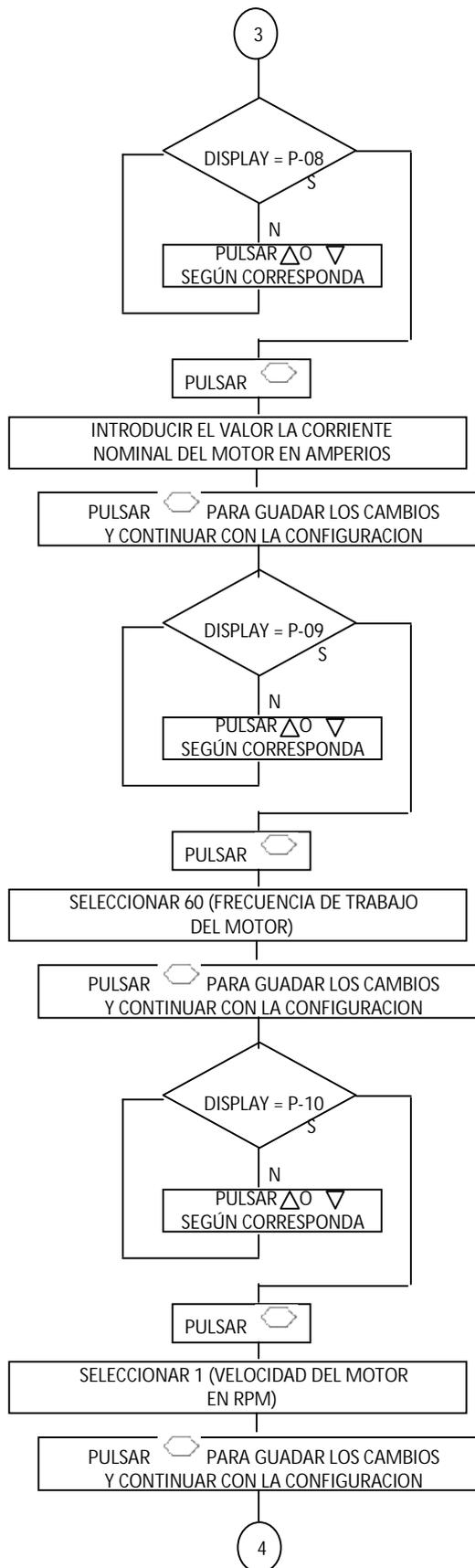


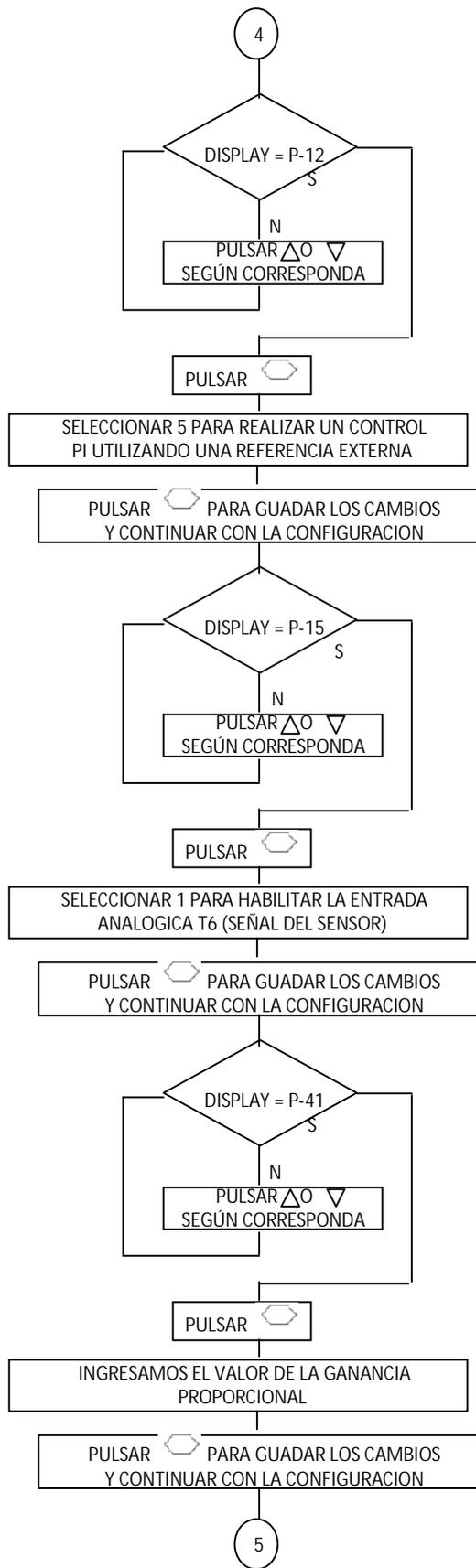
FIGURA 36 Diagrama de flujo - Programación del variador (El Mouallem, Paez, & Torres)

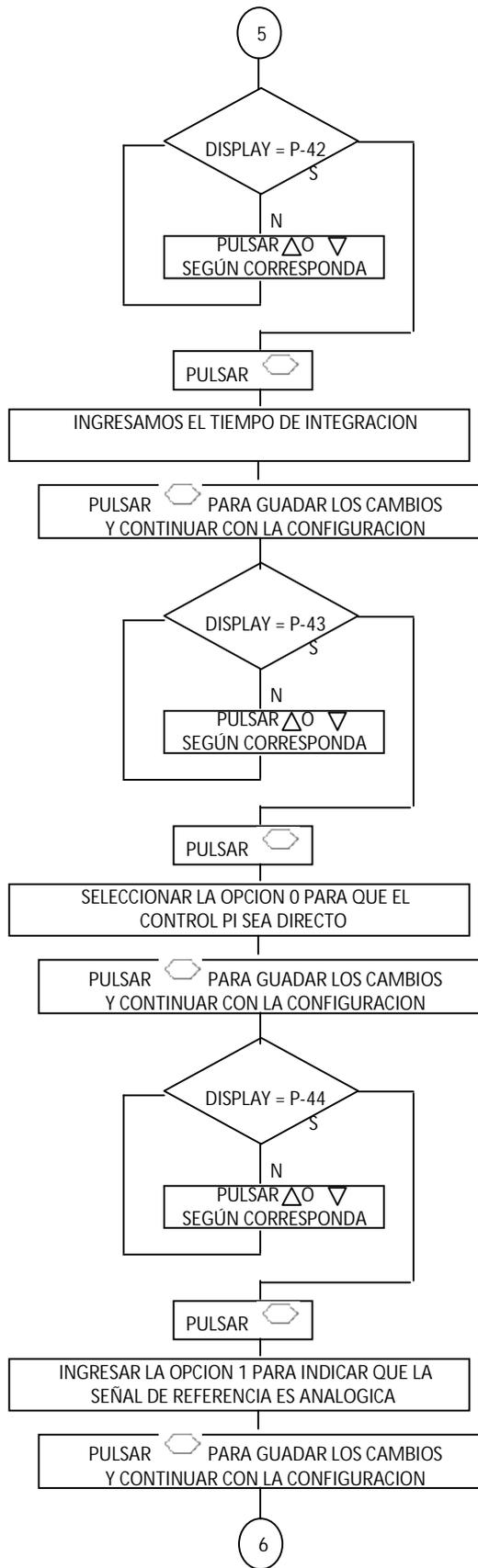


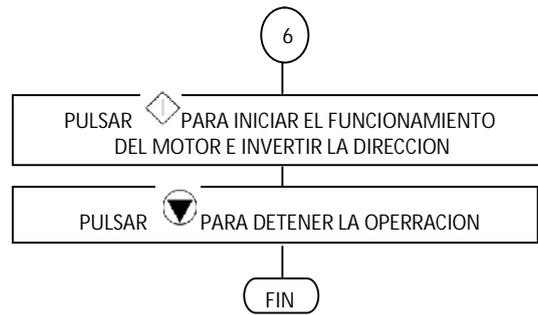












4.3.2 CONTROL DE TEMPERATURA

En una visita de campo realizada a la fábrica de arepas “LOS ANDES” (Samacá, Boyacá), con el fin de recabar datos específicos al proyecto, se tomaron mediciones de la temperatura, entre otras, del ambiente dentro de la planta y la temperatura en las planchas.

Desde el comienzo del proyecto se tenía una gran incertidumbre sobre la temperatura a la que se están exponiendo los operarios, para así implementar el mecanismo más apropiado y tomar las respectivas medidas de protección. Para esto se realizaron diferentes mediciones como la de la temperatura ambiente, la de la plancha y el tiempo que dura en calentarse al comienzo de la jornada.

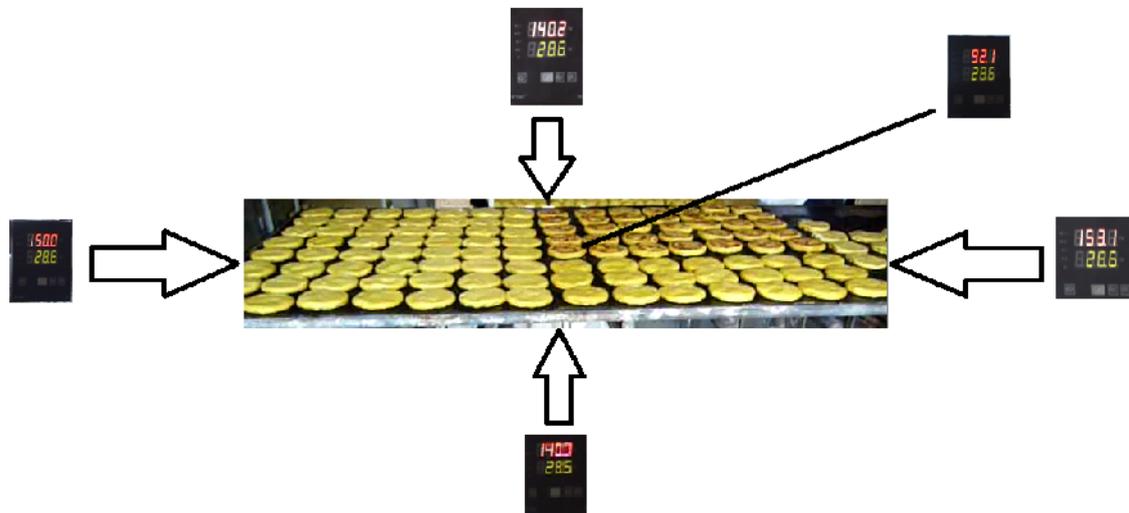
Temperatura ambiente la cual es de 38 grados centígrados (figura 37)

FIGURA 37 Temperatura ambiente en la fábrica de arepas (El Mouallem, Paez, & Torres)



La temperatura de la plancha se tomó en diferentes puntos como lo ilustra la figura 38.

FIGURA 38 Registro de temperatura en la plancha (El Mouallem, Paez, & Torres)



La temperatura ambiente en la planta oscila entre los 37 – 39 °C, a la cual son expuestos los trabajadores de la fábrica; como se indica entre las justificaciones del trabajo. La temperatura máxima en las planchas para proceder a la cocción del producto es de aproximadamente 150 °C; en la figura 39 se puede observar el cambio de temperatura de la plancha desde el momento del encendido de las planchas (38°C – temperatura ambiente), hasta conseguir un máximo de 151°C, específico para la cocción de las arepas.

FIGURA 39 Curva característica de la temperatura (El Mouallem, Paez, & Torres)

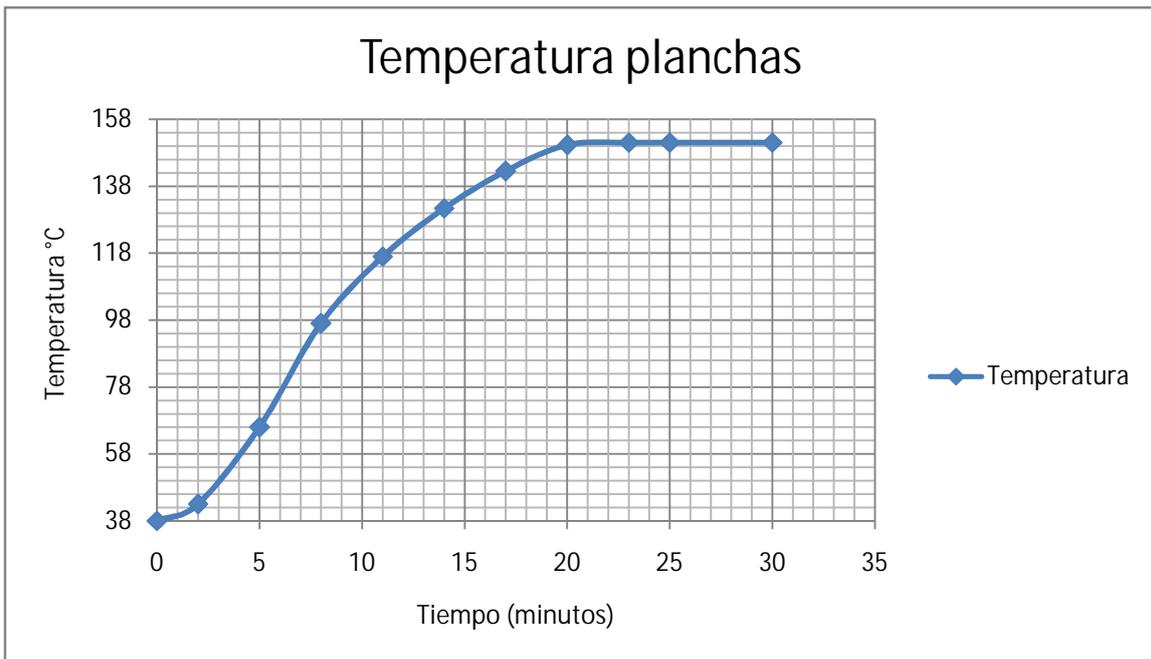


TABLA 8 Variación de la temperatura respecto al tiempo (El Mouallem, Paez, & Torres)

Tiempo (s)	Temperatura(°C)
0	38
2	43
5	66
8	97
11	117
14	131,4
17	142,5
20	150,3
23	151
25	151
30	151

De acuerdo a la respuesta temporal del sistema se puede identificar en la figura 39 un sistema de primer orden con retardo que por sus características se calcula lo siguiente:

- Ganancia (K): $151^{\circ}\text{C} - 38^{\circ}\text{C} = 113^{\circ}\text{C}$.
- Salida en Tau () 63.21 %: $38^{\circ}\text{C} + 63.21\% * 113^{\circ}\text{C} = 109.42^{\circ}\text{C}$ en aproximadamente 10 minutos

- Retardo (L): 2 minutos = 120 segundos.
- Tau (): 8 minutos = 480 segundos.

En conclusión su función de transferencia es:

$$G(s) = \frac{Ke^{-Ls}}{\tau s + 1} \quad (7)$$

$$G(s) = \frac{113e^{-120s}}{480s + 1}$$

4.3.2.1 Sintonización de controlador PID mediante el método de Ziegler-Nichols

Se sabe que:

- Ganancia (K): 113
- Retardo (L): 120 segundos.
- Tau (): 480 segundos.

Usando la regla de sintonización de Ziegler Nichols (tabla 9), se calculan los parámetros del controlador

TABLA 9 Sintonización según Ziegler Nichols (Katsuhiko, 1998, pág. 672)

	Kp	Ti	Td
P	1/K(/L)		
PI	0.9/K(/L)	L/0.3	
PID	1.2/K(/L)	L/0.5	L/2

$$Kp = \frac{1,2}{113 \times \left(\frac{480}{120}\right)} = 0,04247$$

$$Ti = \frac{120}{0,5} = 240$$

$$Td = \frac{120}{2} = 60$$

P: proporcional: $Kp = 0,04247$

I: integral: $\frac{Kp}{Ti} = 0,0001769$

D: derivativo: $Kp \times Td = 2,5482$

4.3.2.2 Protocolo de conexión y programación básica del sistema de control de temperatura

El sistema de control de temperatura está compuesto básicamente por tres elementos fundamentales. El controlador HS 7200, la electroválvula, el sensor de temperatura (PT100). El diagrama de conexión se muestra en la figura 40, en donde también se incluye un breaker de inicio. Todo el lazo cerrado de control se puede observar en la figura 41.

En cuanto a la programación, el procesador multivariable será configurado en modo de controlador continuo por modulación de corriente, que consiste básicamente en que el controlador produce una acción correctora modulando la corriente 4-20mA de una salida analógica (bornes 23 y 24), que es enviada al servo actuador del proceso, que convierte esa señal en una posición proporcional de la válvula.

Si la variable controlada se desvía del set point (150°C) por debajo, el control proporcional corrige aumentando la salida de corriente hacia 20mA, y si la variable está por encima del SP, disminuye la corriente hacia 4 mA, por lo tanto la variable tiende a centrarse en el set point, como se aprecia en la figura 42.

FIGURA 40 Diagrama de conexión - Control de temperatura(CADe_SIMU, El Mouallem, Paez, & Torres)

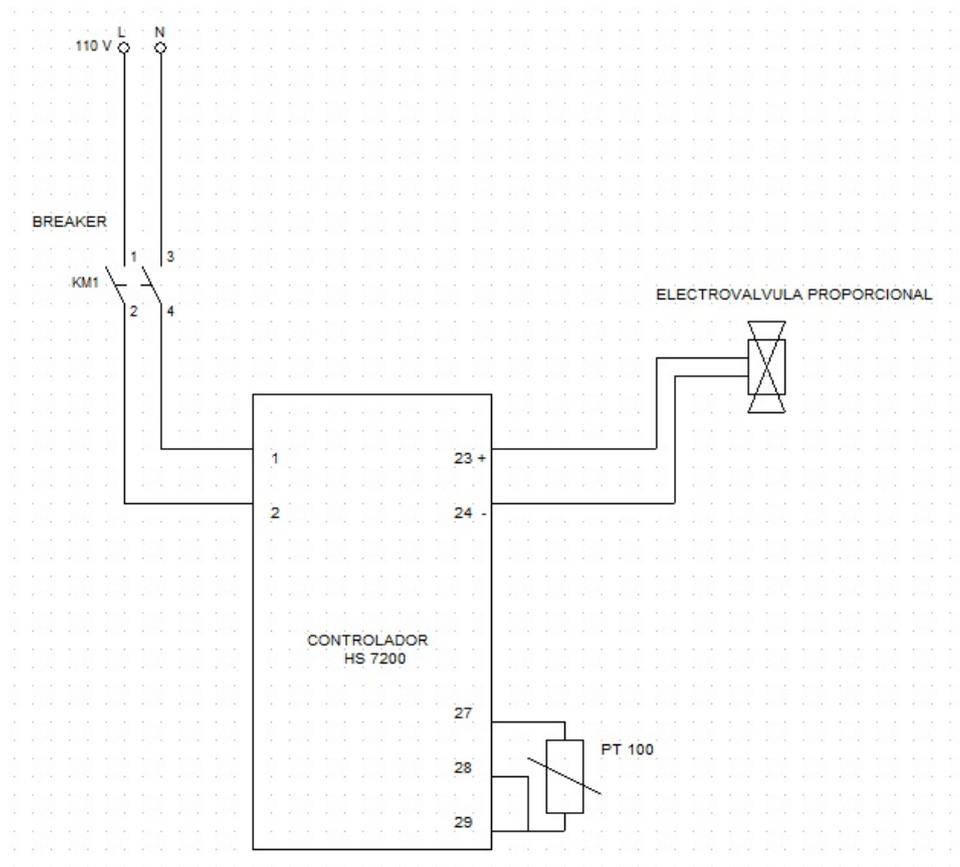


FIGURA 40 Control de temperatura en lazo cerrado(EI Mouallem, Paez, & Torres)

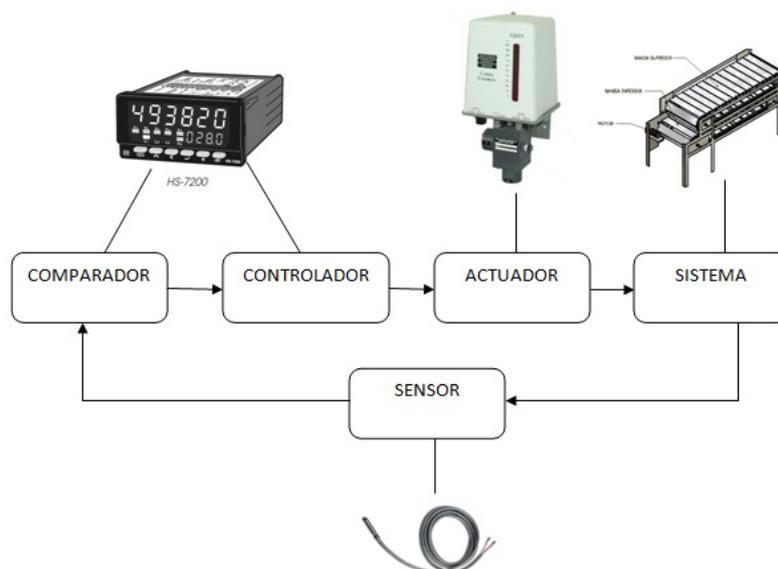
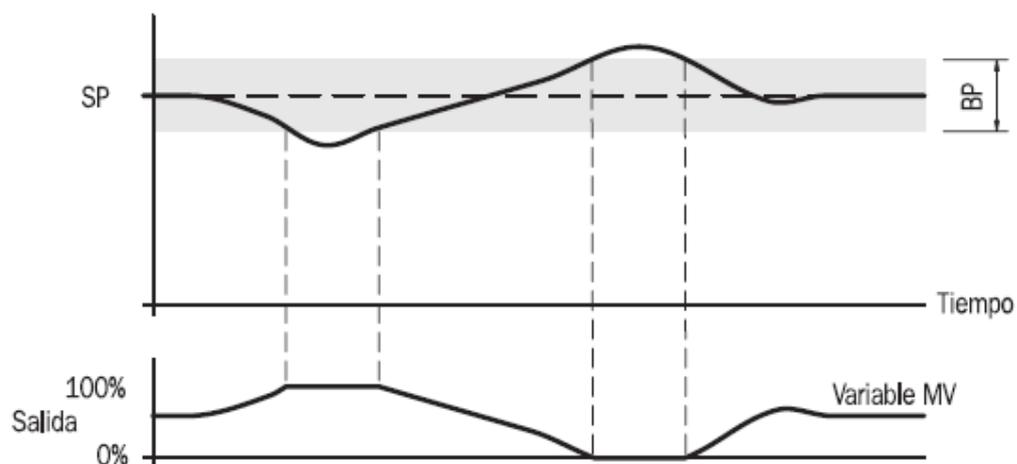


FIGURA 41 Comunicación 4-20 mA(Design instruments, 2006)

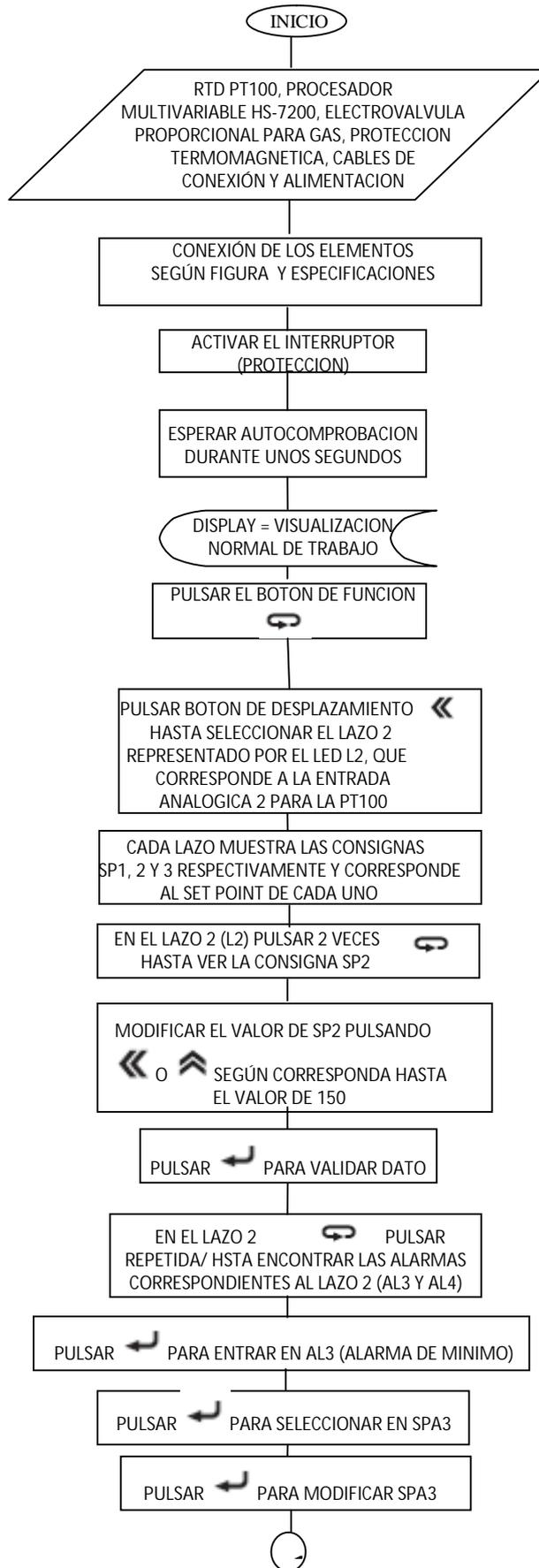


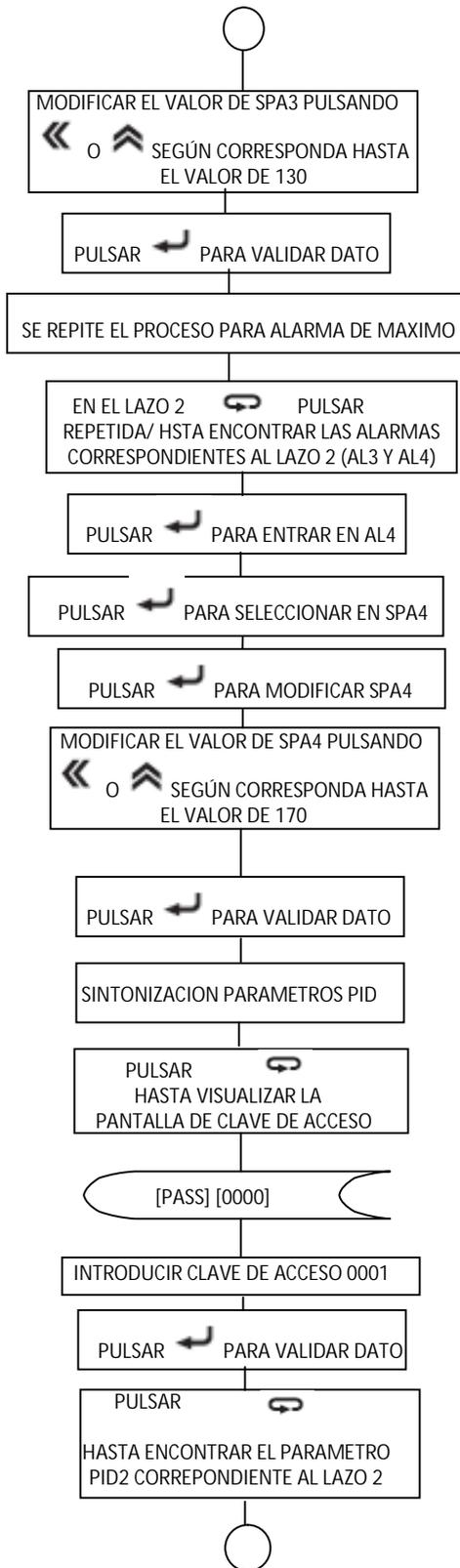
A continuación se incluye en diagrama básico de programación para la configuración que se precisa.

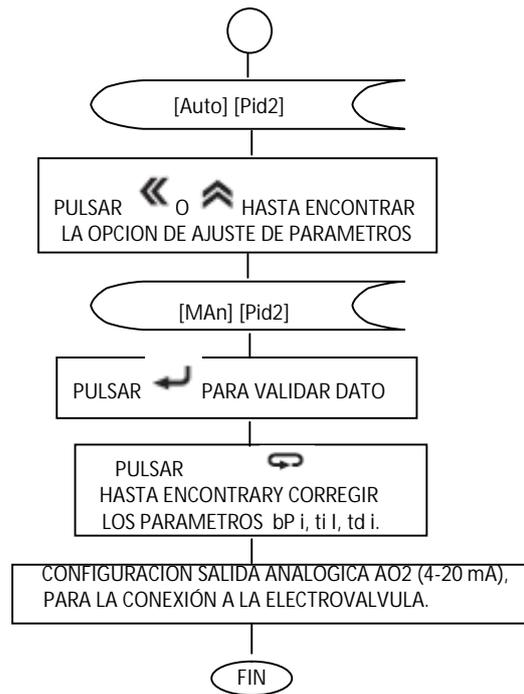
NOTA: El dispositivo está protegido contra manipulaciones por 4 niveles de acceso desde una única pantalla [PASS] [0000], pero el controlador tiene una clave única por defecto que es 0001 ([PASS] [0001]), la cual se puede modificar en cada uno de los niveles según criterio. La anterior configuración no incluye los parámetros específicos del sistema, ya que varía según la configuración.

Si se requiere es posible optimizar los ajustes mediante la función FuzzyLogic.

FIGURA 42 Diagrama de flujo - Programación del controlador de temperatura (El Mouallem, Paez, & Torres)







CONCLUSIONES

- El controlador y la electroválvula, con la configuración propuesta resultan ser la solución más óptima y sencilla a los requerimientos del sistema, regulando una cantidad efectiva de gas, ya que en la actualidad no hay ningún tipo de control la temperatura, y tampoco un flujo de gas controlado.
- Los controles en lazos cerrados ofrecen ciertas ventajas respecto a los controles en lazo abierto ya que a través de ellos se pueden monitorear las respuestas del sistema y ejercer una acción de control automatizado en un 100%, porque los controladores (variador de velocidad y controlador de temperatura) tienen un efecto instantáneo y acorde con la necesidad sobre las variables del sistema (velocidad y temperatura).
- El programa AUTODESK INVENTOR proporcionó las herramientas necesarias para plasmar el diseño, creación y simulación de las ideas surgidas para la solución del requerimiento, con todos los parámetros reales de la solución. Haciendo uso de herramientas como inventor se puede lograr diseños, integrando aspectos electrónicos y mecánicos de tal forma que pueda corregir errores previos a la implementación.
- La implementación del variador de velocidad, en adición al aprovechamiento de todas sus funciones, fue la solución acertada a la necesidad en los tiempos de cocción, mediante el control de la velocidad de la banda transportadora en su recorrido; además de esto se consigue reducir el consumo de energía eléctrica, ya que hoy en día la fábrica utiliza aproximadamente 7 motores para diferentes áreas del proceso; con la implementación de la máquina propuesta la cantidad resume a un solo motor para su funcionamiento.

BIBLIOGRAFIA

1. Areny, R. P. (2003). Sensores y acondicionadores de señal (Tercera ed.). Barcelona: Marcombo.
2. Arias Martínez, O., & Vásquez Sanjuan, J. J. (06 de 06 de 2011). Universidad autónoma de Puebla. Recuperado el 31 de 10 de 2010, de http://www.acredit.ece.buap.mx/_DOCUMENT%20COMPROBAT%20DE%20AUTOEVALUAC/17_IA%2045%20C.8.1.2/Memorias%20FCE/digital/P-SD-001.pdf
3. Chains & Sprokets S.A. (2008). Recuperado el 08 de 06 de 2011, de http://www.chainsandsprockets.es/pdf/1_cadenas.pdf
4. Design instruments. (2006). Design instruments. Recuperado el 08 de 06 de 2011, de <http://www.desin.com/pdf/MIA-COMUNICACIONES-es-0226-I344-0.PDF>
5. Engranajes Miralles . (2009). Engranajes Miralles . Recuperado el 09 de 05 de 2011, de <http://www.engranajemiralles.com/Catalogo/CATALOGO%20PAG.15%20PI%D1ONES%20S.%205-8%20con%20S.B..pdf>
6. Gonzáles Rey, G. (08 de 06 de 2011). EL PRISMA . Recuperado el 08 de 06 de 2011, de http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/transmisioncorrea/
7. Industrias Tecnidiscol. (06 de 06 de 2011). Industrias Tecnidiscol. Recuperado el 06 de 06 de 2011, de http://www.fordelprogreso.zobyhost.com/index.php?option=com_content&view=article&id=299&Itemid=347
8. Inverttek Drives. (2007). Invetek. Recuperado el 08 de 06 de 2011, de <http://www.inverterdrive.com/file/Inverttek-Drives-Optidrive-E2-Manual/default.aspx>
9. Katsuhiko, O. (1998). Ingenieria de control moderna (Tercera ed.). Pearson.
10. Koshkin, N. I., & Shirkévich, M. G. (1975). Manual de física elemental. Mir.
11. Kuo, B. C. (1996). Sistemas de control automático (Séptima ed.). Ciudad de México: Prencite Hall.
12. Leentech . (2009). Recuperado el 22 de 03 de 2011, de <http://www.lenntech.es/tabla-peiodica/densidad.htm>
13. Mecaplast S. L. (06 de 08 de 2011). Mecaplast. Recuperado el 06 de 08 de 2011, de <http://www.mecaplast.es/www/catalogos/cadenasocm.pdf>
14. Morales Requena, L. A. (06 de 06 de 2011). UNIVERSIDAD CENTRAL DE GUATEMALA. Recuperado el 31 de 10 de 2010, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0143_ME.pdf

15. Mott, R. L. (2006). Diseño de elementos de máquinas (Cuarta ed.). México: Pearson.
16. National Semiconductor . (2008). National Semiconductor . Recuperado el 10 de 05 de 2011, de <http://www.national.com/ds/LM/LM2907.pdf>
17. Pachón, J. H. (06 de 06 de 2011). UNIVERSIDAD DISTRITAL. Recuperado el 31 de 10 de 2010, de http://jorgehernando.wikispaces.com/file/view/ieee_seminario_de_investigacion_13_de_mayo_de_2010.pdf
18. Rúales Ríos, D. A. (06 de 06 de 2011). Repositorio Digital ESPE. Recuperado el 31 de 10 de 2010, de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/442>
19. Severn Trent. (2003). Severn Trent. Recuperado el 08 de 06 de 2011, de http://www.severntrentservices.com/en_us/LiteratureDownloads/Documents/100-0003SP.pdf
20. Tutoriales Autodesk Inventor . (2009). Recuperado el 20 de 02 de 2011, de <http://www.tutoriales-autodesk-inventor.blogspot.com/>
21. Vásquez, M. C. (2004). Universidad de las Americas Puebla . Recuperado el 01 de 06 de 2011, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/corona_v_m/capitulo5.pdf

DATASHEETS

- <http://www.national.com/ds/LM/LM2907.pdf>
- <http://www.inverterdrive.com/file/Invertek-Drives-Optidrive-E2-Manual/default.aspx>
- http://www.severntrentservices.com/en_us/LiteratureDownloads/Documents/100-0003SP.pdf
- <http://www.desin.com/pdf/HT-HS7200-es-0206-H123-54-2.pdf>
- <http://www.ingecozs.com/pt100.pdf>
- http://www.chainsandsprockets.es/pdf/1_cadenas.pdf
- <http://www.engranajemiralles.com/Catalogo/CATALOGO%20PAG.15%20PI%D1ONES%20S.%205-8%20con%20S.B..pdf>

ANEXOS

