

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE MADERA COMO
COMBUSTIBLE PARA EL PROCESO DE COCCIÓN
ARTESANAL DE LADRILLOS**

Tesis para optar el Título de **Ingeniería Mecatrónica**, que presenta el bachiller:

Carlos Javier Lázaro Meza

ASESOR: Roberto Sumiyoshi Furukawa Fukuda

Lima, Setiembre del 2014

Resumen

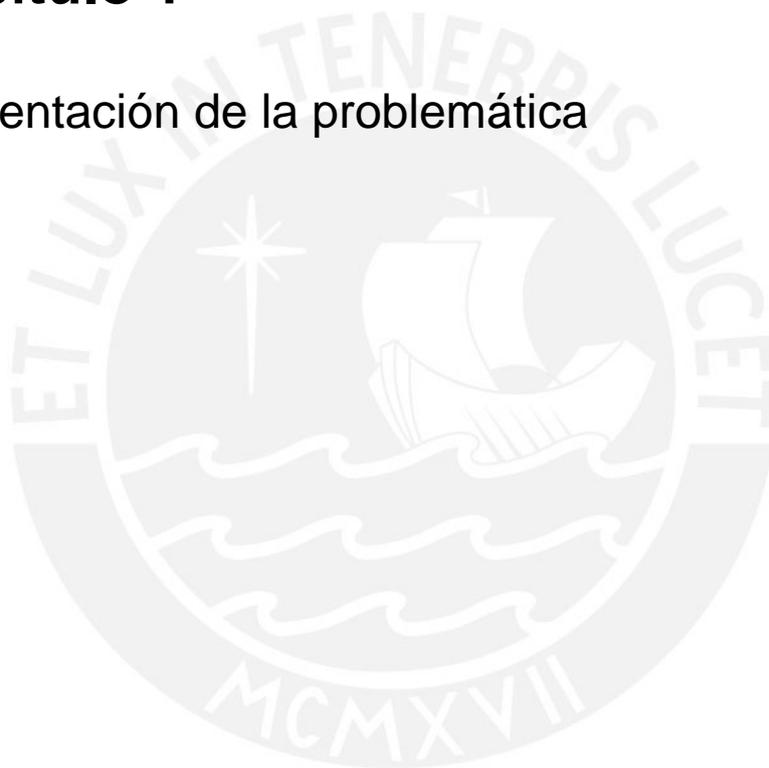
El presente trabajo se enfoca en reducir el consumo de madera como combustible del proceso de cocción artesanal de ladrillos para reducir el volumen de emisión de gases contaminantes, frenar la deforestación de los bosques y reducir los costos de producción de las ladrilleras artesanales. El estudio se centra en las ladrilleras ubicadas en el distrito de la Habana, provincia a de Moyobamba, departamento de San Martín. Para lograr este objetivo se plantea en un primer lugar un rediseño del horno, usando como base para este el horno vertical que posee buenos resultados en Asia pero con muy poco estudio de su desempeño en otras regiones. La principal razón de la eficiencia detectada en el horno vertical es que es un horno de flujo continuo de ladrillos, entendiéndose por flujo continuo que el horno tiene la capacidad de producir ladrillos mientras se le ponga combustible, descargue los ladrillos cocinados y se coloque más ladrillos secos, sin la necesidad de apagar la leña como los hornos actuales empleados por la ladrillera mencionada; además, añade los sub procesos de calentado del aire de combustión y enfriado de ladrillos cocinados (ambos procesos en un mismo proceso), y el calentado de ladrillos secos, todo esto gracias al empleo de la convección del aire reutilizando energía producida y que en los hornos actualmente utilizados es descargada a la atmosfera. A este modelo se plantea añadir lógicas de control y automatización, usando para esto el sensado constante de la temperatura interna del horno a través del empleo de termocupla para reducir, en gran medida, las pérdidas energéticas o exceso de energía producidas por el uso de técnicas artesanales de observación y retiro de los ladrillos, siendo hasta la fecha desarrolladas de manera empírica. De esta manera, se plantea tener un control del volumen del combustible inyectado como variable fundamental para el control de la temperatura, este control se desarrollara a través del control de giro del alimentador diseñado que cumple la función de válvula de paso para el combustible; todo esto a fin de mantener una temperatura homogénea al interior del horno, tener un control del consumo de madera y obtener ladrillos de buena calidad. Como complemento a este control se plantea el uso de madera triturada para asegurar la utilización del 100% de combustible en la combustión, a fin generar más calor sin la necesidad de consumir más combustible. Por último, se plantea la automatización del proceso de descarga del nuevo horno, entendiéndose por descarga el retiro de ladrillos quemados o cocidos para su distribución al mercado.

Índice

1. Presentación de la problemática.....	4
2. Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto.....	7
2.1 Objetivos del sistema mecatronico.....	8
2.2 Requerimientos del sistema mecatrónico.....	8
2.3 Concepto del sistema mecatrónico	10
3. Sistema mecatrónico.....	12
3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico.....	13
3.2 Sensores y actuadores.....	15
3.3 Planos del sistema mecatrónico.....	20
3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico.....	34
3.5 Diagramas de flujo del programa de control.....	39
4. Presupuesto.....	45
5. Conclusiones.....	49
Bibliografía.....	51

Capítulo 1

Presentación de la problemática



Para un entendimiento de la problemática a resolver se plantea exponer el proceso de quema artesanal de ladrillos.

El proceso de producción de ladrillo se inicia con la extracción de materia prima desde las canteras. Esta materia prima extraída es llevada a almacenes donde se mezcla con agua. La composición química de esta mezcla depende de las propiedades de la arcilla de la zona, por lo cual es un factor importante en la definición de las propiedades térmicas del ladrillo según Stephen Guggenheim en [10]. Cabe resaltar que para efectos del alcance del curso no se analizaron esta composición.

Una vez en el almacén la mezcla de arcillas y agua se coloca en una faja transportadora que lleva esta mezcla al primer proceso que consiste en extraer el aire. Luego la mezcla es transportada al proceso de moldeo que se realiza al compactar la mezcla a los respectivos moldes según la forma del ladrillo que se desea obtener,

Luego de este moldeo los ladrillos formados (también conocidos como “Green bricks”) son llevados a la zona de secado en donde la exposición continua a la energía solar permite extraer el agua de constitución presente en la mezcla y que se ha usado para facilitar la mezcla y el moldeo; en otras palabras, secarlos. Este paso se puede considerar un pre-proceso de cocción principalmente porque si se ingresa ladrillos “húmedos”, entendiéndose por húmedos a los ladrillos moldeados con toda el agua de constitución, al horno se tendría que considerar mayor generación de calor para poder extraer toda esta agua, generando un incremento en el consumo energético del horno. Todo este proceso de exposición a la energía solar toma 5 días aproximadamente en temporada de verano y hasta 15 días en temporada de lluvias.

Finalmente los ladrillos están listos para ser introducidos al horno. En primer lugar los ladrillos secos dentro del horno pasan por un periodo de calentamiento de aproximadamente 48 horas, este pre-proceso se lleva a cabo para conseguir que los ladrillos adsorban energía y de esta manera eliminar cualquier rastro de agua de constitución que pueda quedar, es por ello que este proceso se desarrolla de manera lenta y a no tan altas temperaturas (aproximadamente 100 °C), todo esto para evitar un cambio brusco que pueda dañar a los ladrillos. Luego de este proceso de calentado, los ladrillos son sometidos al proceso de cocción, en el cual la temperatura del horno es llevada a los mil grados aproximadamente y es mantenida en ese estado al introducir combustible bajo el criterio del quemador; este proceso se desarrolla durante 48 horas aproximadamente para alcanzar cada uno de los puntos eutécticos y extraer el agua intersticial de los ladrillos. Por último, el proceso final es el de extracción de los ladrillos del horno que depende de cada tipo de horno, un ejemplo es el horno circular cerrado que debido a su forma geométrica y a su sellamiento en el proceso de cocción para reducir las pérdidas de calor en los alrededores, toma un tiempo de espera de 4 días para que el calor en el interior del horno sea lo suficientemente bajo para que los empleados de la planta extraigan los ladrillos cocidos. Los tiempos de cada tipo de horno serán presentados en el siguiente punto cuando se explique a detalle la característica de cada uno de estos.

De esta manera, el principal consumo energético de la planta se encuentra en la cocción de los ladrillos ya sea mediante cualquiera de los dos hornos que la planta posee. Para dar una mayor visión de este consumo energético se dará detalle de cada uno de estos:

1. Horno abierto o “scove kiln”: Las ventajas de este horno son principalmente los tiempos para obtener los ladrillos listos (ver figura 1-1), esto principalmente debido a que no se encuentra sellado y el calor se dispersa en el medio ambiente permitiendo el enfriado sea más rápido; sin embargo, su principal limitación se encuentra en esta misma distribución ya que hay fuertes pérdidas de calor hacia el exterior.

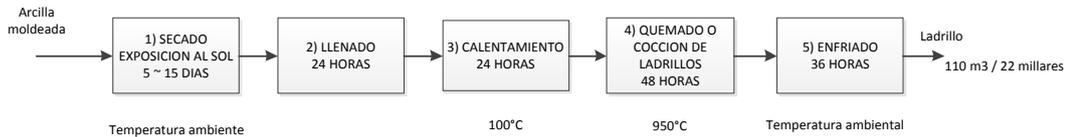


Fig. 1-1 Diagrama de tiempos horno abierto

2. Horno circular cerrado de garrafa o “down-draught kiln”: Las principales ventajas de este tipo de horno es su bajo consumo de combustible en comparación con el horno abierto (ver figura 1-2); sin embargo, su principal desventaja es el tiempo que toma para obtener los ladrillos listos; esto, debido a su diseño cerrado que atrapa el calor pero que no permite abrir el horno para retirar los ladrillos de manera inmediata debido a las altas temperaturas en el interior.



Fig. 1-2 Diagrama de tiempos horno cerrado

Como ya se mencionó el principal combustible usado es la madera seca de todo tipo de árbol que hay en la zona, principalmente el Cedar. La madera llega a la planta en camiones, motivo por el cual la unidad de medida son los metros cúbicos (m³). A la fecha ya ha existido distintas propuestas impulsadas por el gobierno regional y la misma planta para reducir el uso de madera; ya que, al ser la tala de estas el principal factor de la deforestación de los bosques y su quema, la emisión de gases contaminantes; sin embargo, las propuestas expuestas consisten en el cambio del combustible, por ejemplo el carbón mineral, que posee una capacidad térmica mayor pero genera mayor emisión de gases contaminantes, y la cáscara de arroz, que posee menor capacidad térmica, menor emisión de gases pero su adquisición conlleva otra problemática que posteriormente será expuesta. Otra alternativa de combustible que en la actualidad se encuentra en proceso de evaluación es el uso de gas natural que posee mayor capacidad térmica y menor emisión de gases contaminantes; sin embargo, conlleva generar gastos de transporte debido a la locación de las plantas de distribución de este, cuya ubicación más cercana sería la costa y su transporte mediante el flete de camiones cisterna; además, significaría en una inversión para actualizar de todos los equipos de la planta para el almacenamiento y utilización del gas natural.

Capítulo 2

Objetivos, Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto



2.1 Objetivos del Sistema Mecatrónico

2.1.1 Objetivos General

- Reducir el consumo de madera a un mínimo de 30% del consumo actual en el proceso de cocción de ladrillos artesanales mediante la automatización de todo el proceso para la reducción de la emisión de gases contaminantes y reducir la deforestación de los bosques.

2.1.2 Objetivo específico

- Utilizar un horno que nos permita obtener bajos tiempos de quema y bajo consumo de combustible.
- Diseñar un mecanismo que permita tener un control de la alimentación de madera.
- Mantener la temperatura interior del horno constante controlando la inyección de combustible.
- Implementar un sistema que me permita reducir el número de personas involucradas en el proceso de quema.

2.2 Requerimientos del sistema mecatrónico

2.2.1 Requerimientos mecánicos

- El combustible principal será la madera picada.
- La estructura que soporta los almacenes de madera debe de ser lo suficientemente resistente para soportar el peso de la madera picada y el peso de los almacenes (aproximadamente 12 toneladas).
- El dispensador de madera debe de ser lo suficientemente liviano y a la vez resistente para no generar demasiada inercia que genere un sobre esfuerzo en el motor.
- Las vigas, que soportan el peso total de la carga de ladrillos mientras se descarga la carga ya cocinada, debe de soportar el peso impuesto sin doblarse.
- El pistón hidráulico debe de estar diseñado y seleccionado para soportar la carga total de la carga (aproximadamente 15 toneladas)
- La pared refractaria del horno debe de atrapar el calor generado por la combustión para obtener una mayor eficiencia energética.
- El extractor de aire debe poseer la capacidad de extracción del aire del horno para que no afecte a los operarios cuando se realice la colocación de una nueva carga.

2.2.2 Requerimientos electrónicos

- La corriente de línea debe de ser capaz de suministrar la potencia necesaria para encender los motores utilizados.
- La termocupla empleada debe de poseer la capacidad para todo el rango de temperaturas al interior del horno.
- La termocupla debe de ubicarse entre las dos bocas de alimentación para obtener una medición de la temperatura al interior de la zona de quemado.
- Se debe de amplificar la señal emitida por la termocupla ya que esta es del orden de los micros amperio.
- Se debe de convertir la señal análoga de la termocupla a digital para el análisis realizado por el Programable Logic Controller (PLC) y de manera

inversa para enviar al Variador de frecuencia (VDF) para mover el motor del alimentador de madera.

- Se necesita utilizar un VDF para controlar la cantidad de madera introducida en las bocas de quema del horno.
- Los cables soportan la temperatura del exterior del horno.

2.2.3 Requerimientos de control

- El sistema debe de contar con un control cerrado para la alimentación de madera que permita mantener una temperatura adecuada dentro del horno.
- El controlador debe de ser capaz de interpretar los datos emitidos por la termocupla para poder emitir una respuesta al VDF que controla el motor para la alimentación.
- Es necesario que el controlador tenga la capacidad de mantenerse encendido durante largos periodos y que soporte la temperatura ambiental de 28°C en condiciones de humedad relativa de 80%.



2.3 Concepto de la solución

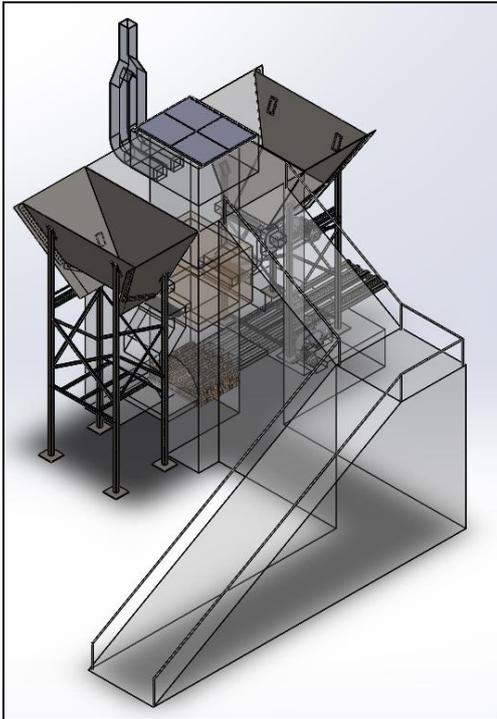


Fig. 2-1 Vista isométrica del horno

La figura 2-1 muestra la solución de la problemática planteada. Se ha diseñado un sistema de alimentación y almacén de madera picada además de la implementación de este en un horno vertical como alternativa a los modelos de hornos anteriores. Todo este proceso de cocción será controlado por dos principales partes, un control cerrado que solo se encargue de mantener constante la temperatura interna del horno mediante el giro de los alimentadores de madera y otro sistema que controle el retiro de las vigas de soporte, accione el extractor y descienda las cargas para la extracción que viene a ser la automatización del proceso. Todo esto para cumplir con los requerimientos anteriormente planteados.

La figura 2-2 muestra la parte frontal del sistema, en donde se puede observar la zona de descarga y carga de los ladrillos, el almacén de madera picada (1), la ubicación de la pared de ladrillos refractarios para contener mejor el calor (2) y la chimenea por donde se extraerá el aire caliente para que se pueda dar la carga de ladrillos con mayor facilidad, la ubicación de la rampa por donde se llevaran los ladrillos secos a ser depositados en el horno (3), los motores de corriente alterna que servirán como actuador para mover los alimentadores (4) y por último, la baranda de seguridad de la rampa.

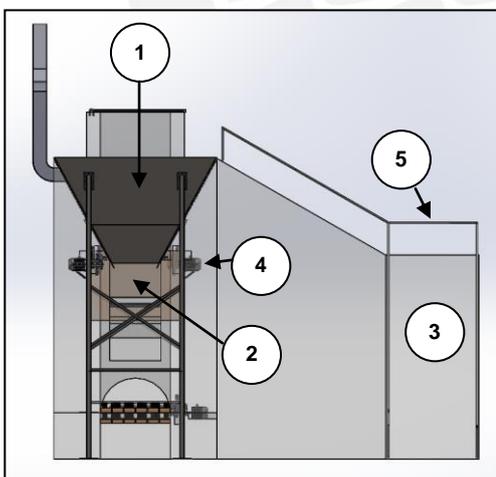


Fig. 2-2 Vista frontal del horno

En la figura 2-3 se muestra la vista lateral donde se observa la distribución de los almacenes de madera y de la ubicación de las bocas de alimentación donde la madera es depositada y se desarrolla la combustión (6), y la ubicación de la termocupla en medio de las bocas para la lectura de la temperatura del horno. En cada una de las bocas se ubican las rejillas que permiten realizar la ignición inicial así como permitir que la madera picada quede mientras que la ceniza caiga por su propio peso, esto debido a que las rejillas permiten el paso de objetos menores a 1x1cm. Además, permite observar la ubicación de las vigas que soportan todo el peso de la carga, así como el mecanismo que permite su retiro accionados por un motor de corriente alterna (7).

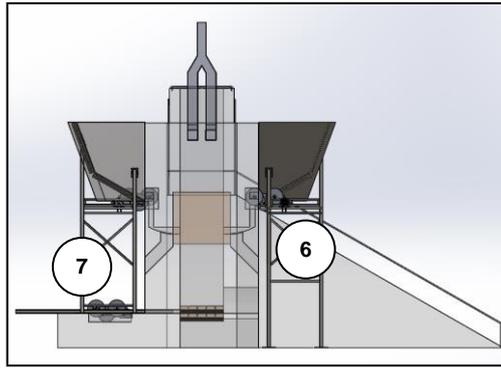


Fig. 2-3 Vista lateral del horno

En la figura 2-4 se muestra la vista superior donde se observa con mayor detalle la ubicación de la rampa por donde se llevan los ladrillos secos a la parte superior para depositarlos en el horno; además, se observa la tapa superior (8) que permite que los gases calientes del proceso salgan por la chimenea.

Por último, la figura 2-5 muestra la vista inferior donde se puede apreciar la ubicación del pistón hidráulico que permitirá el descenso de la carga y extracción de los ladrillos cocidos, así como la ubicación de los almacenes de madera con respecto a la base del horno.

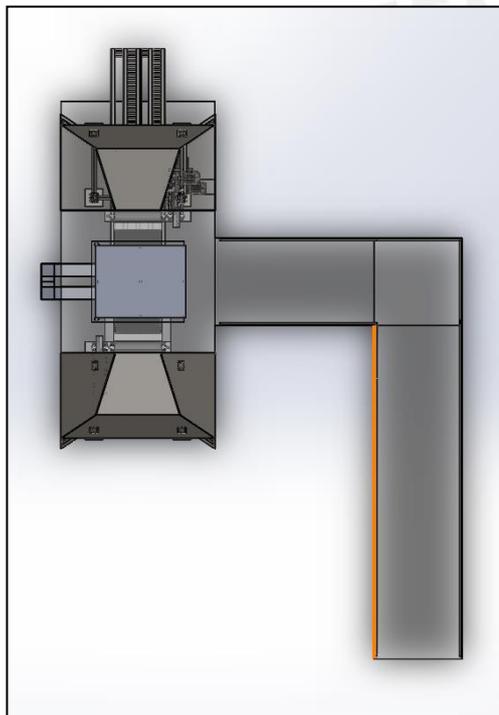


Fig. 2-4 Vista superior del horno

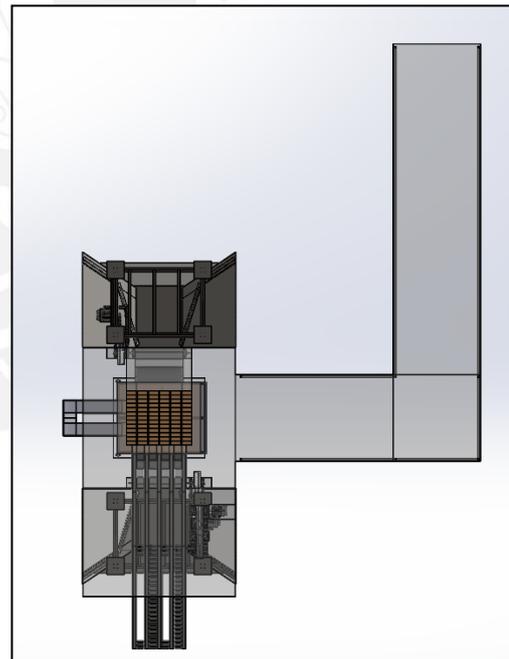


Fig. 2-5 Vista inferior del horno

Capítulo 3

Sistema mecatrónico



3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico

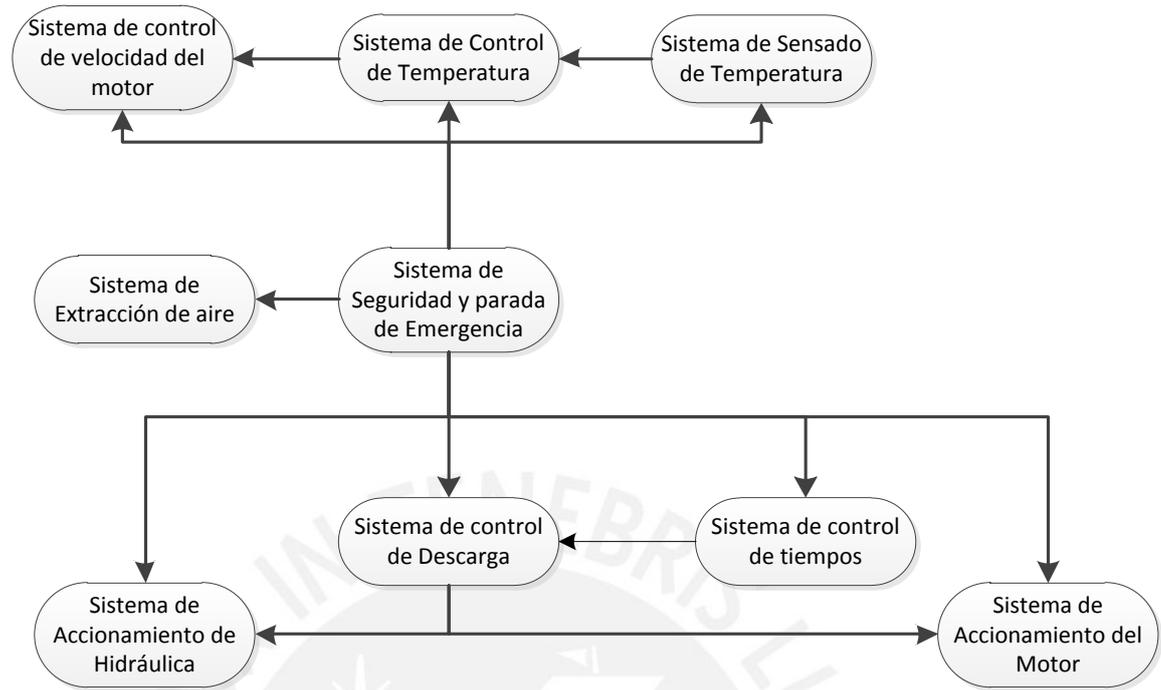


Fig. 3-1 Diagrama de Funcionamiento del sistema

En la figura 3-1 se muestra el diagrama de funcionamiento de todo el sistema. Se observa que el sistema planteado centra su funcionamiento en el bloque de control de temperatura, el bloque de descarga de ladrillos y el bloque de extracción de aire; cuya única conexión entre los tres es a través del sistema de alimentación y seguridad.

El sistema de alimentación y seguridad consiste en un botón de parada de emergencia y un sistema de prevención de sobrecarga mediante el uso de un rele térmico, así como los interruptores principales para activar o desactivar la alimentación de toda la planta con respecto a la corriente de línea

El bloque de control de temperatura consta del sistema de control de temperatura, de sensado de la planta y de control de la velocidad del motor.

El sistema de control de temperatura requiere el empleo de 1 entrada analógica de 0 a 10V, para recibir la señal de la termocupla, y una salida analógica de 0 a 10V, la cual será dirigida al variador. Es por ello que se eligió PLC siemens LOGO! 24C, alimentado mediante el LOGO! Power 24 VC/2.5 A. Este PLC es el encargado de desarrollar la lógica de control del sistema de alimentación obteniendo los datos del sistema de sensado de temperatura y entregando la acción de control al sistema de control de velocidad del motor de alimentación. Por otro lado, el variador debe de tener la capacidad de disminuir o incrementar la frecuencia de salida en función de un voltaje referencial en su entrada; por tal motivo, requiere ser un variador con entradas analógicas de 0 a 10V, el cual para este proyecto se usó el MICROMASTER 420.

El sistema de sensado de temperatura a su vez consta de la termocupla responsable de la adquisición de datos que es amplificada mediante el integrado AD595 y enviado a la entrada analógica del PLC LOGO!. Esta señal analógica es

procesada por el PLC para realizar la acción de control correctiva y enviar el control respectivo al sistema de control de velocidad.

El sistema de control de velocidad del motor de alimentación consiste en un módulo externo LOGO! AM2 AQ, el cual es un módulo de expansión de salida analógica que recibe la señal digital del PLC y lo envía al variador de frecuencia MicroMaster 420 de la marca siemens que entrega la frecuencia de línea para el motor en función del voltaje del AM2, esta variación del voltaje es lo que permite al motor incrementar o disminuir su giro para incrementar o disminuir la cantidad de combustible introducido. La comunicación entre los módulos de control y ampliación de LOGO! Se da de manera directa según su propia configuración, por lo tanto no es necesario cablear; por lo contrario la comunicación analógica si es necesario cablear empleándose para esto cable eléctrico N°12.

El bloque de descargas de ladrillos consiste en el sistema de control de tiempos, control de descarga, accionamiento de descarga y accionamiento de motor.

El sistema de control de descarga consiste en el sistema de control encargado de accionar el pistón hidráulico y las vigas de soporte. Para esta parte se usa el PLC LOGO! 12/24RC que recibe la señal del sistema de control de tiempos y al sensor de fin de carrera para marcar el nuevo inicio de un ciclo de descarga.

El sistema de control de tiempos consiste en el contador interno del PLC LOGO! 12/24RC que permite controlar los tiempos para retirar los ladrillos de la zona de quema, retirar un cargamento enfriado e introducir, de ser necesario, un nuevo cargamento. Este sistema es un sistema que se mantiene mientras el PLC este alimentado; es decir, siempre se va a resetear la cuenta para marcar el inicio y fin de la quema de un nuevo cargamento, esto debido a que el horno es uno de flujo continuo.

El sistema de accionamiento de la hidráulica está conformado por todo el mecanismo encargado de accionar el pistón hidráulico para el descenso de la carga, además de un limit switch encargado de detener el pistón para el reingreso de las vigas de soporte. Este sistema recibe la señal de inicio del sistema de descarga que a su vez recibe del sistema de control de tiempo.

El sistema de accionamiento del motor está conformado por un guarda motor de la marca Weg que controla la alimentación del variador de frecuencia MicroMaster 420, encargado de realizar la puesta en marcha del motor e invertir el sentido de giro de este, para el retiro y reingreso de las vigas de soporte; además, cuenta con un sensor de fin de carrero ubicado en el recorrido de las vigas, que envían una señal al inversor indicando que inicie el frenado, parado e inversión del giro del motor de las vigas.

El bloque de extracción de aire únicamente consta del sistema de extracción de aire que consiste en el accionamiento del extractor de aire para re direccionar el flujo de aire y gases calientes para permitir la carga de los ladrillos en el horno, este sistema consta del extractor de aire y los contactores para su encendido y apagado, cabe resaltar que esta acción se desarrolla de manera manual ya que es necesaria cuando se dispone a colocar una nueva carga de ladrillos secos en el horno.

3.2 Sensores y actuadores

3.2.1 Sensores:

3.2.1.1 Termocupla tipo K marca red lion modelo TMPKT J01

La termocupla tipo k nos permite tener un resultado de la temperatura al interior del horno. Este sensor genera entre sus dos terminales un valor de voltaje directamente proporcional a la temperatura a la que se encuentra el sensor. Posee un rango de temperatura de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+1372\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una sensibilidad $41\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ aproximadamente. Este sensor no necesita de una fuente de alimentación, pero si es necesario el acoplamiento de un amplificador de voltaje y realizar un compensación de juntura fría (cold junction compensator) para poder ser un valor medible para al ADC.

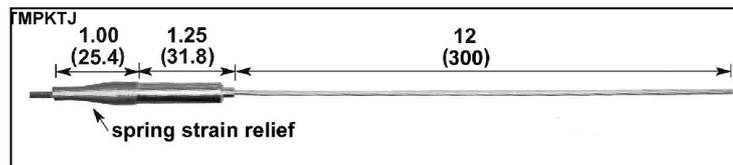


Fig. 3-2 termocupla tipo K

Este sensor debe de ser ubicado en la zona de quema del horno al ser esta donde resulta de vital importancia el control de la temperatura, motivo por el cual el sensor es ubicado en el medio de la pared refractaria frontal interior del horno entre las dos bocas de alimentación como lo muestra la figura 3-3, el sensor atraviesa la pared del horno estando los alambres soldados al interior del horno y el cableado en la parte exterior, de esta manera los cables pasan por la pared exterior del horno hasta el PLC. Para este cableado se conecta la terminal de la termocupla con cable n°12 ya que al exterior no se encuentra a tan altas temperaturas como al interior del horno (40°C aproximadamente).

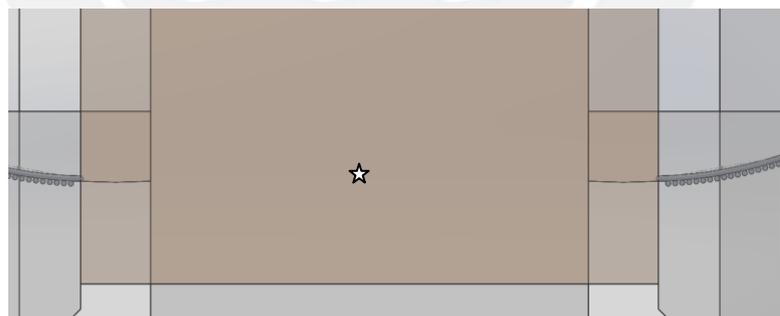


Fig. 3-3 Posición Termocupla tipo K

3.2.1.2 Amplificador de voltaje AD595CQ-ND

El amplificador de voltaje para termocupla tipo K, no es propiamente un sensor, pero es un integrado indispensable como complemento de la termocupla tipo K, ya que amplifica la señal emitida por la termocupla teniendo una sensibilidad de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ y realiza la compensación de juntura fría todo en un solo integrado. El integrado será alimentado por 24 VDC y tierra extraídos del PLC.

El integrado se encuentra montado en la tarjeta de la figura 3-5 ya que recibe la señal de la termocupla para amplificarla y derivarla a la entrada analógica del PLC.

Este integrado tiene un rango de operación entre -55°C a 125°C , por tal motivo se ubica en la zona donde se ubican todos los componentes electrónicos alejados del calor al interior del horno. Este integrado es alimentado con 5V extraídos del LOGO! Power 5V/3^a; además, su conexión también se efectúa por cables n° 12



Fig. 3-5 Amplificador de voltaje para tipo K

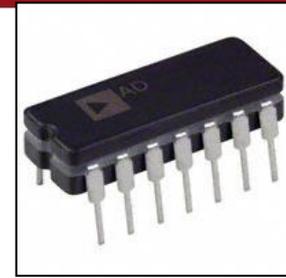


Fig. 3-4
Amplificador de
voltaje para
Termocupla tipo K

3.2.1.3 Sensor de fin de carrera normalmente cerrado para carrera vigas de soporte marca BREMAS modelo XZ-9102

Este sensor nos permite indicar al MicroMaster 420 encargado de retirar las vigas el término de la carrera de estas para no someter los motores a impacto con una pared o a que las vigas se desencajen de su posición de ensamblaje. Este sensor se conecta a la entrada digital del variador de frecuencia para generar la señal al llegar al final de carrera. Este sensor soporta una corriente máxima de 3A y 40°C de temperatura de trabajo.



Fig. 3-6 Sensor fin de
carrera para vigas

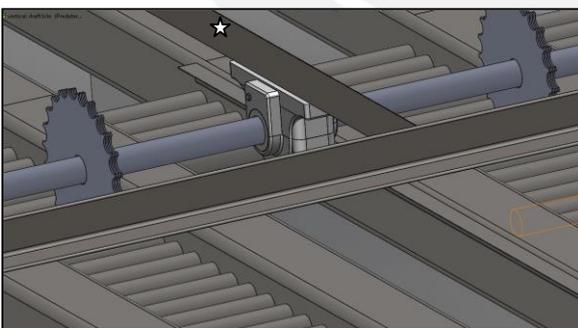


Fig. 3-7 Ubicación Sensor fin de carrera para vigas

Este sensor debe de ser ubicado próximo a las vigas para indicarnos la ubicación de este a lo largo de su recorrido, por tal motivo se encuentra ubicado en el soporte de madera pequeño en dirección a las vigas. Las vigas tiene un perfil estructural que sirve como indicador del recorrido final e inicial para el sensor como lo indica la figura 3-7. De esta manera cuando el sensor no presenta alimentación (normalmente abierto) indicara al MicroMaster 420 que debe de iniciar el frenado, detención e inversión del sentido de giro del motor. Así mismo para el cableado se emplea cable n°12.

3.2.1.4 Sensor de fin de carrera normalmente abierto para detener pistón marca BREMAS modelo XZ-9103

Este sensor nos permite indicar al sistema hidráulico encargado de descender la carga del horno y poder reingresar las vigas de soporte para poder de estas para no someter los motores a impacto con una pared o a que las vigas se desenganchen de su posición de ensamblaje. Este sensor necesita una alimentación de la sección hidráulica (tensión de línea) ya que funcionara como un interruptor de parada; así mismo, resiste una temperatura máxima de 40°C y una corriente de 3A.



Fig. 3-8 Sensor fin de carrera para hidráulica

Este sensor debe de ser ubicado al interior del horno vertical en la parte más baja de la zona de descarga para indicar el momento en el que se puede ingresar las vigas como lo indica la figura 3-9. De esta manera cuando el sensor no presenta alimentación (normalmente abierto) indicara al sistema hidráulico que debe de parar.



Fig. 3-9 Ubicación Sensor fin de carrera para hidráulica

3.2.2 Actuadores

3.2.2.1 Motor 1/8 hp marca weg modelo w22

Este motor nos permite realizar el giro constante del alimentador de madera. Este es el único actuador del bloque de control de temperatura, el cual será controlado mediante el control de su velocidad por el variador MicroMaster 420, el cual variara su velocidad para incrementar o disminuir el combustible y de esta manera controlar el calor interior. Es necesario acoplar este motor a un sistema de fajas y poleas para obtener una velocidad nominal de 3 rpm y un par torsor máximo de 10 N-m, obteniendo una potencia de 3.14 Watts; sin embargo, al no contarse con tales potencias normalizadas en los motores se elige 1/8 de HP según catálogo [23].



Fig. 3-10 Motor alimentador

El motor funciona con tensión de la línea trifásica de 220 VAC y debe ser ubicado en la zona de alimentación como lo muestra la figura 3-11.

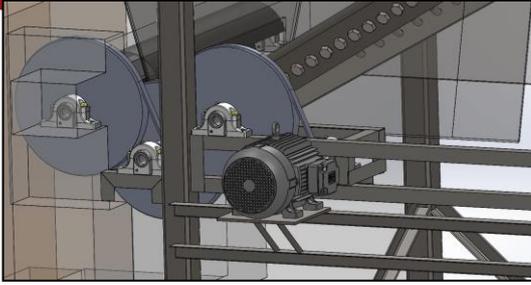


Fig. 3-11 Ubicación Motor alimentador

3.2.2.2 Motor 1/2 hp marca weg modelo w22

Este motor nos permite realizar el retiro de las vigas que soportan toda la carga de ladrillos. Este es uno de los principales actuadores del bloque de descarga, el cual será puesto en marcha en dos ocasiones: la primera cuando el pistón alcanza su máxima longitud para retirar las vigas (flecha roja figura 3-13) y el segundo cuando el pistón desciende 80cm para colocar nuevamente las vigas (flecha azul figura 3-13). Ambos desplazamiento se desarrollan hasta que el sensor de fin de carrer indique el término del recorrido. Para este actuador solo es necesario enviar la señal al MicroMaster ya que este es el encargado de arrancarlo, frenarlo, detenerlo e invertir el giro. Por otro lado, es necesario acoplar este motor a un sistemas de fajas y poleas de 4 rpm y un par torsor máximo de 500 N-m, obteniendo una potencia de 200 Watts.



Fig. 3-12 Motor vigas

El motor funciona con una tensión de línea trifasica de 220 VCA y debe ser ubicado junto a las vigas como lo muestra la figura 3-13.

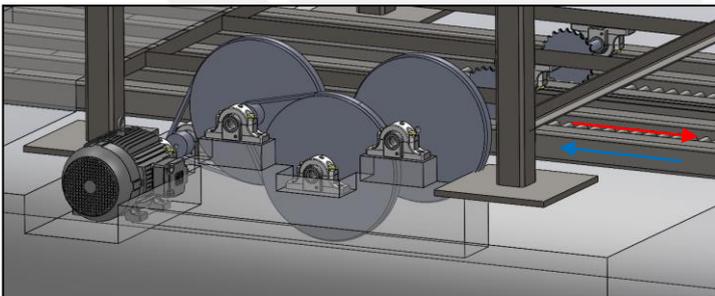


Fig. 3-13 Ubicación hidráulica

3.2.2.3 Pistón hidráulico

Este pistón es el responsable del descenso de la carga, este actuador es activado al recibir la señal del PLC de descarga que indica el inicio del ciclo. En primer lugar asciende hasta alcanzar su altura máxima (100 cm), para permitir extraer las vigas, a continuación desciende una altura de 80 cm para colocar nuevamente las vigas y poder retirar la carga final de 153 ladrillos, esta parada es marcada por la acción del sensor de fin de carrera al interior del horno.



Fig. 3-14 Pistón hidráulico de doble efecto

Este actuador soporta una carga de 15 toneladas la cual representa el peso de todos los ladrillos al interior del horno, pero esta carga solo se efectúa durante el tiempo necesario para descender los 80 cm para el reingreso de las vigas de soporte.

Es por ello que el pistón se ubica en la parte más baja de la zona de descarga a la altura de la base del horno como lo muestra la figura 3-15.

Los cálculos de selección del cilindro del pistón, bomba, falla por pandeo del pistón y componentes del sistema hidráulico se encuentran en el anexo 3.

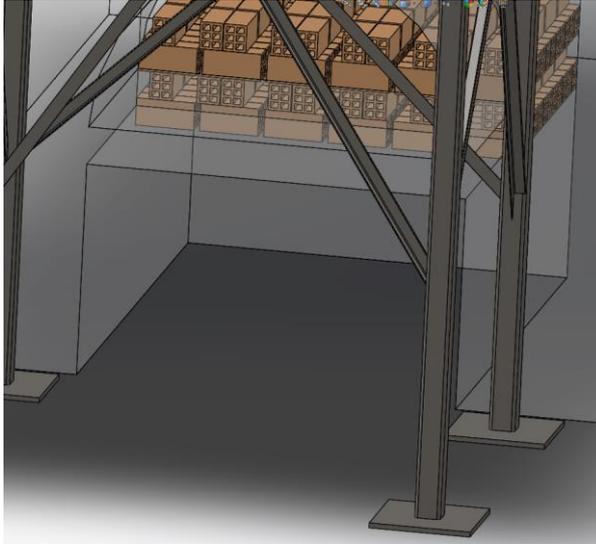


Fig. 3-15 Ubicación
hidráulica

3.3 Planos del sistema mecatrónico

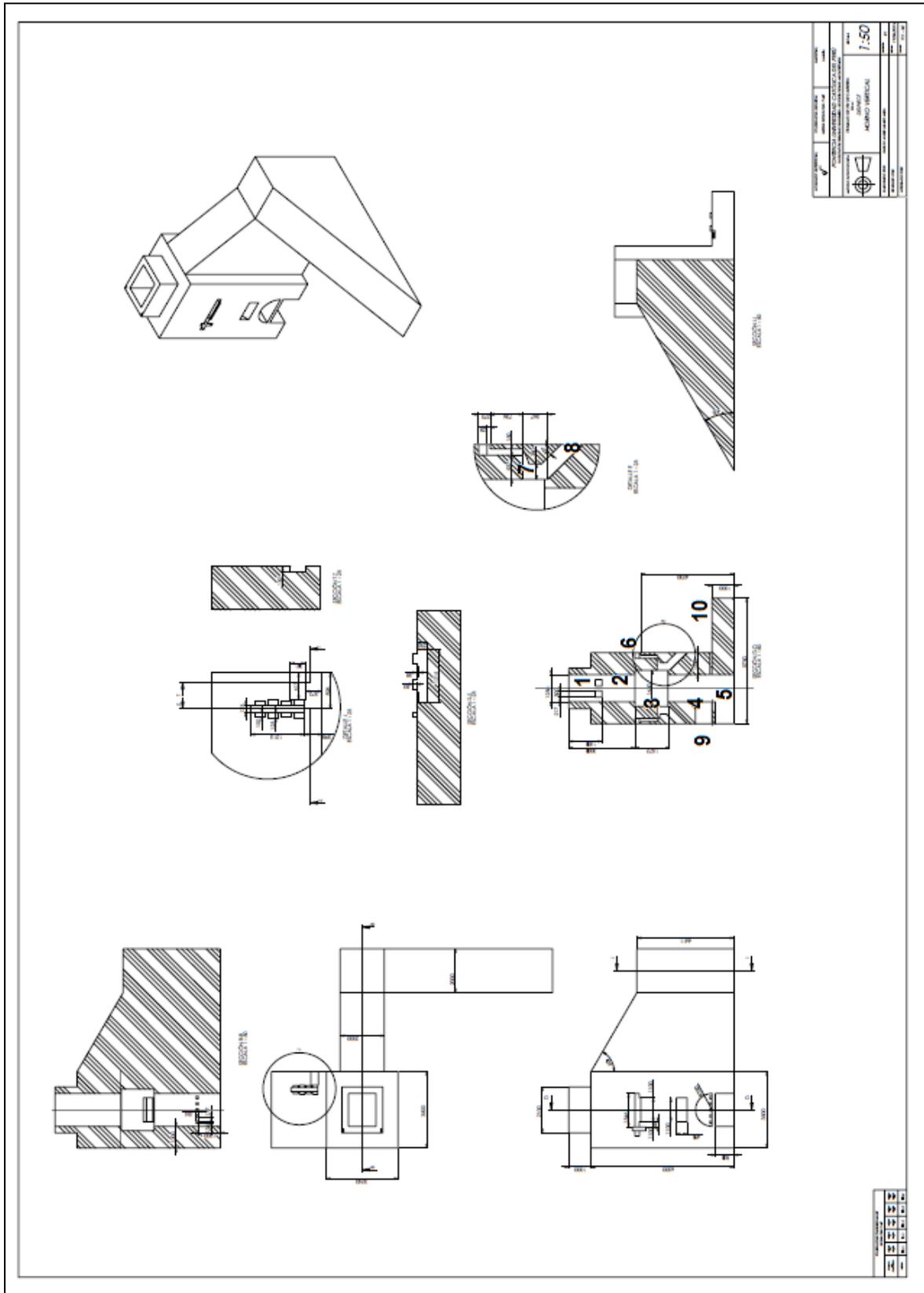


Fig. 3-15 Plano Horno Vertical

El primer plano (figura 3-15) no es un diseño mecánico; sin embargo, su construcción está basada para cubrir las necesidades del proyecto. Es así que este diseño cumple con las características térmicas requeridas.

De esta manera el diseño se centra en la reutilización de la energía producida con la inclusión de tres sub procesos de precalentado de aire de combustión, enfriado de ladrillos y precalentado de ladrillos.

El precalentado de ladrillos se realiza en la posición marcado por el número 2 en la figura 3-15, este subproceso se desarrolla ya que el horno aprovecha el flujo ascendente de “aire” caliente para transmitir el calor que este ha absorbido de la combustión para precalentar los ladrillos recién puesto, entiéndase por “aire” a los gases atmosféricos y aquellos procedentes de la combustión (nitrógeno y dióxido de carbono en su mayoría). Este subproceso también es desarrollado en los actuales hornos solo que utilizan un proceso de quema a “bajas” temperaturas (100°C conocido como fuego lento) pero que usan leña adicional para este proceso. Los cálculos de la energía transmitida por el aire están en el anexo 1.

El sub proceso de precalentado de aire de combustión y enfriado de ladrillos se realiza al mismo tiempo y se desarrolla en la posición marcada por el número 4 en la figura 3-15, este subproceso aprovecha el calor absorbido por los ladrillos que eleva la temperatura de estos utilizándolos como fuentes de emisión de calor, calor que es recogido por el aire que ingresa a las cámaras de combustión ubicadas en 7. De esta manera los ladrillos son enfriados ya que ceden calor al aire que ingresa al horno a temperatura ambiente (28°C en promedio anexo 2) y al mismo tiempo el aire, que será usado como fuente de oxígeno para la combustión, es calentado. De esta manera reduces los tiempos de espera para retirar los ladrillos fríos y cocinados, además de reducir pérdidas de calor debido a calentar el aire de combustión. Los cálculos de la energía transmitida se encuentran en el anexo 1.

De esta manera el horno presenta 5 zonas o subprocesos. La primera zona (numero 1 figura 3-15) o zona de carga en donde los ladrillos secos (arcilla moldeada en forma de ladrillo) es colocada. La segunda zona (numero 2 figura 3-15) o zona de calentado de ladrillos. La tercera zona (numero 3 figura 3-15) o zona de quemado donde los ladrillos son sometidos al fuego directo producto de la combustión de madera y la cual es recubierta por una pared de ladrillos refractarios para contener mejor el calor, entiéndase por ladrillos refractarios a aquellos que entre sus capacidades térmicas permite una conducción más lenta del calor permitiendo una menor descarga hacia la atmosfera. La cuarta zona (numero 4 figura 3-15) o zona de enfriado de ladrillos y precalentado del aire de combustión. Por último, la quinta zona (numero 5 figura 3-15) o zona de descarga en donde los ladrillos fríos y cocinados son extraídos del horno. De esta manera se observa que el flujo de ladrillos de la planta es de la parte superior a la parte inferior, con lo cual se ve la necesidad de colocar una rampa o escalera de acceso para subir los ladrillos secos.

Regresando al diseño del horno, observamos que la posición marcada por el numero 7 nos muestra las cámaras de combustión del horno. Estas cámaras se encuentran en la parte inicial de la zona de quemado ya que son las responsables de la cocción de los ladrillos.

Por otro lado, se observa en la posición marcada por el número 6 de la figura 3-15 la altura de la alimentación de los almacenes de madera, esta altura se seleccionó debido a que se desea evitar que el combustible se prenda producto de la radiación emitida por la combustión en las cámaras, motivo por el cual se alejó un metro

además de estar separados físicamente por el cilindro alimentador, el cual se describirá a continuación.

Por último, la combustión de madera genera residuos materiales o cenizas producto del material que no quema, este residuo debe de ser retirado uno para no limitar el espacio de la cámara reduciendo su capacidad de combustión y dos para evitar un sofocamiento por falta de oxígeno de la madera que conllevaría a extinción de la llama encendida. Esta acción se realiza mediante tomas que permiten que las cenizas salgan por acción de la gravedad (numero 8 figura 3-15).



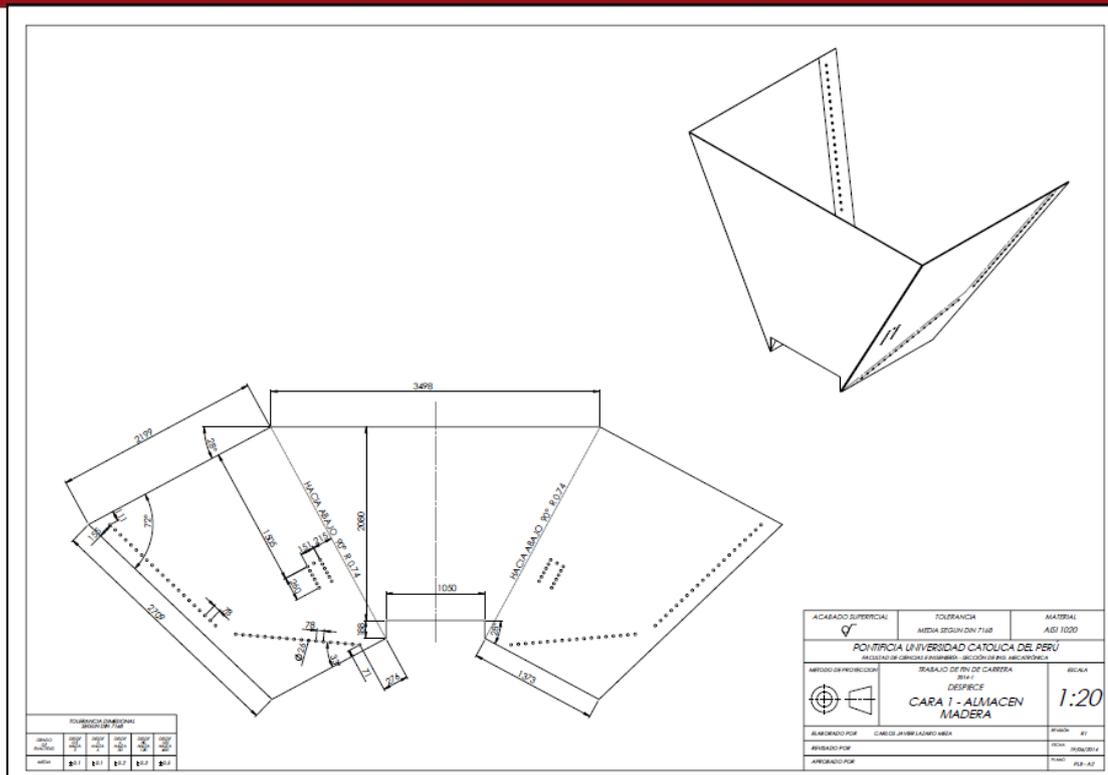


Fig. 3-16 Plano Cara 1 Almacén Madera

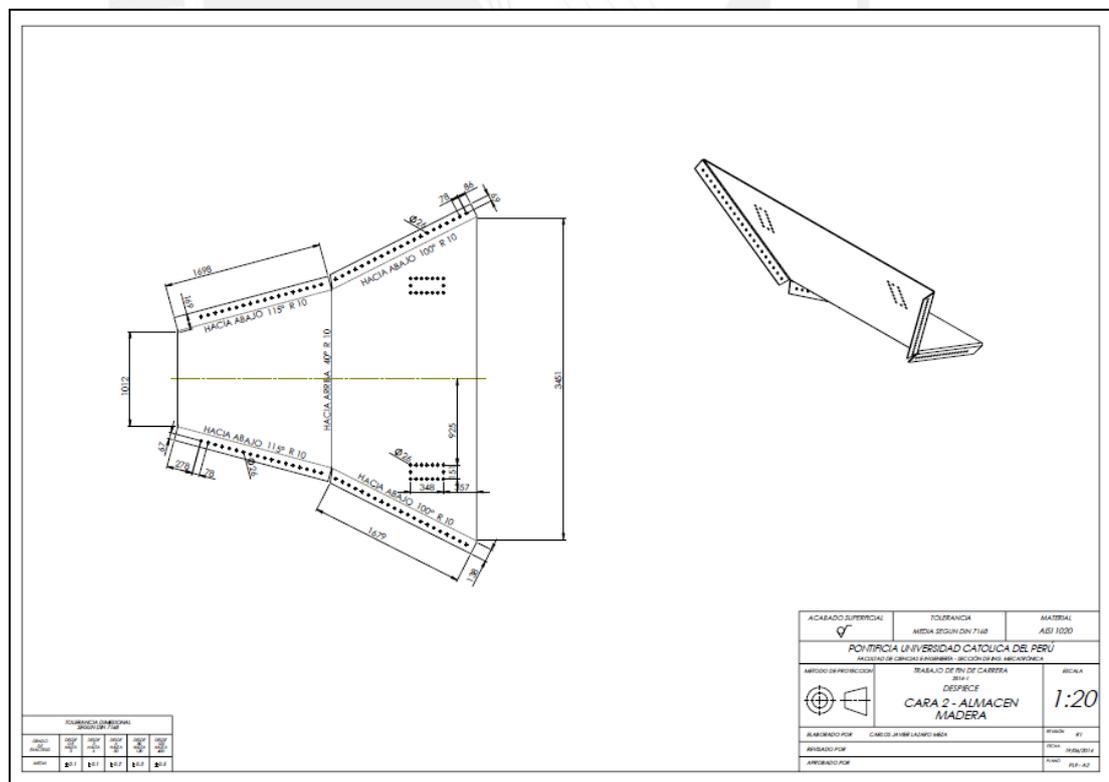


Fig. 3-17 Plano Cara 1 Almacén Madera

En la figura 3-16 y 3-17 se observa las dos piezas que conforman el almacén de madera picada los cuales están hechos de planchas de acero ISO 1020 de 3 mm de espesor y los cuales son maquinados por un proceso de chapa metálica.

La primera (figura 3-16) es la cara que se encuentra pegada a la cara exterior del horno y que presenta una ranura por donde el alimentador extrae la madera de los almacenes. La forma trapezoidal que presenta esta chapa metálica por tres razones. La primera se debe a que se espera utilizar a la gravedad como principal fuerza responsable de enviar la madera al alimentador y posteriormente a las bocas de combustión; la segunda, a hacer coincidir el ancho de la pared exterior del horno con esta cara chapa para un mayor apoyo del almacén; y tercero, para obtener el mayor volumen de madera picada posible para no interrumpir el flujo continuo del horno.

Por otro lado la segunda (figura 3-17) es la cara que permite dirigir la madera al alimentador del horno para su posterior entrega a la cámara de combustión. Esta geometría ha sido seleccionada por dos razones. La primera para aprovechar, de igual forma, la gravedad como principal fuerza de empuje de la madera hacia los alimentadores, y la segunda, como rampa que permita a los alimentadores extraer la mayor cantidad de madera posible de los almacenes. Además, esta chapa metálica se encuentra sujeta a la primera chapa mediante pernos de 1/2 pulgada de diámetro soldados para un adecuada resistencia.

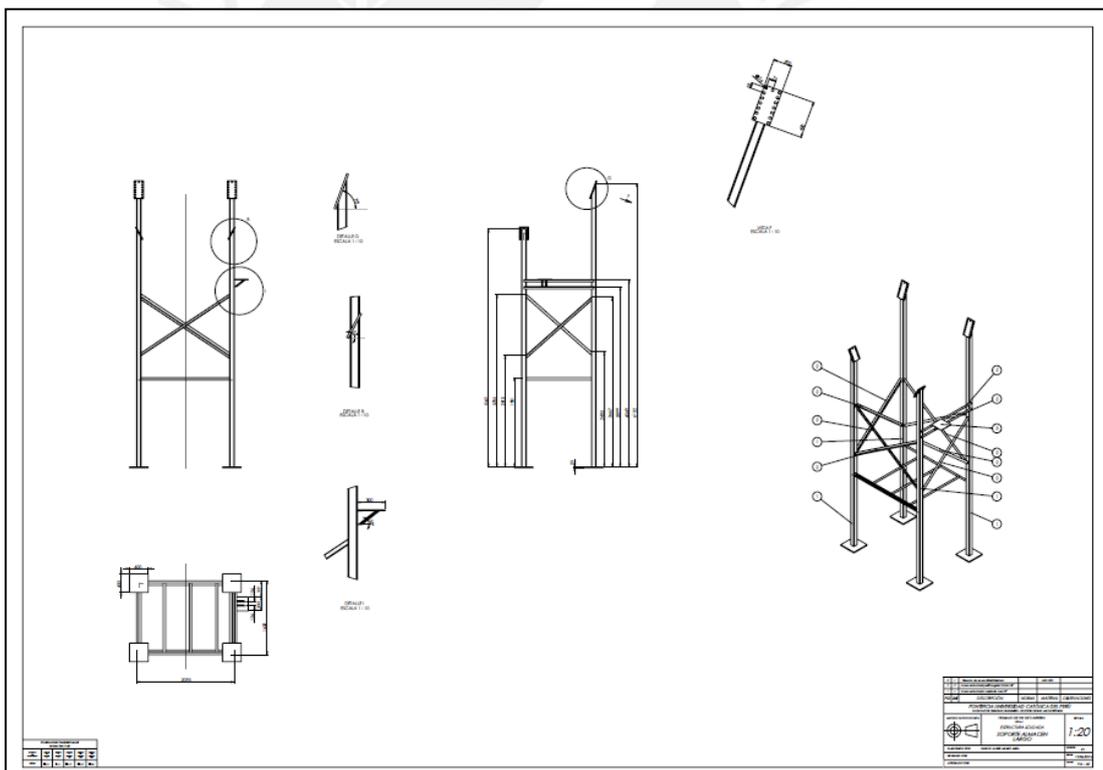


Fig. 3-18 Plano Soporte largo

Por último, para terminar la descripción del almacén se tiene el plano de ensamblaje (figura 3-19), que nos permite visualizar el ensamblaje de las dos caras expuestas, además de una estructura de soporte de todo el almacén (figura 3-18). Este soporte está construido mediante la utilización de dos perfiles de acero. El primero es un perfil cuadrado de 4" por 1/4" que corresponde a los 4 pilares; y el segundo es un perfil angular de 2" por 1/8", encargado de la función de refuerzos

estáticos. El simulación de elementos finitos de la resistencia de esta estructura se encuentra en el anexo 3. Cabe resaltar que de estos almacenes se utilizan dos tipos. El largo ubicado en la zona de descarga de 5142 mm de largo; y el pequeño ubicado en la zona de retiro de las vigas de 4142 mm de largo.

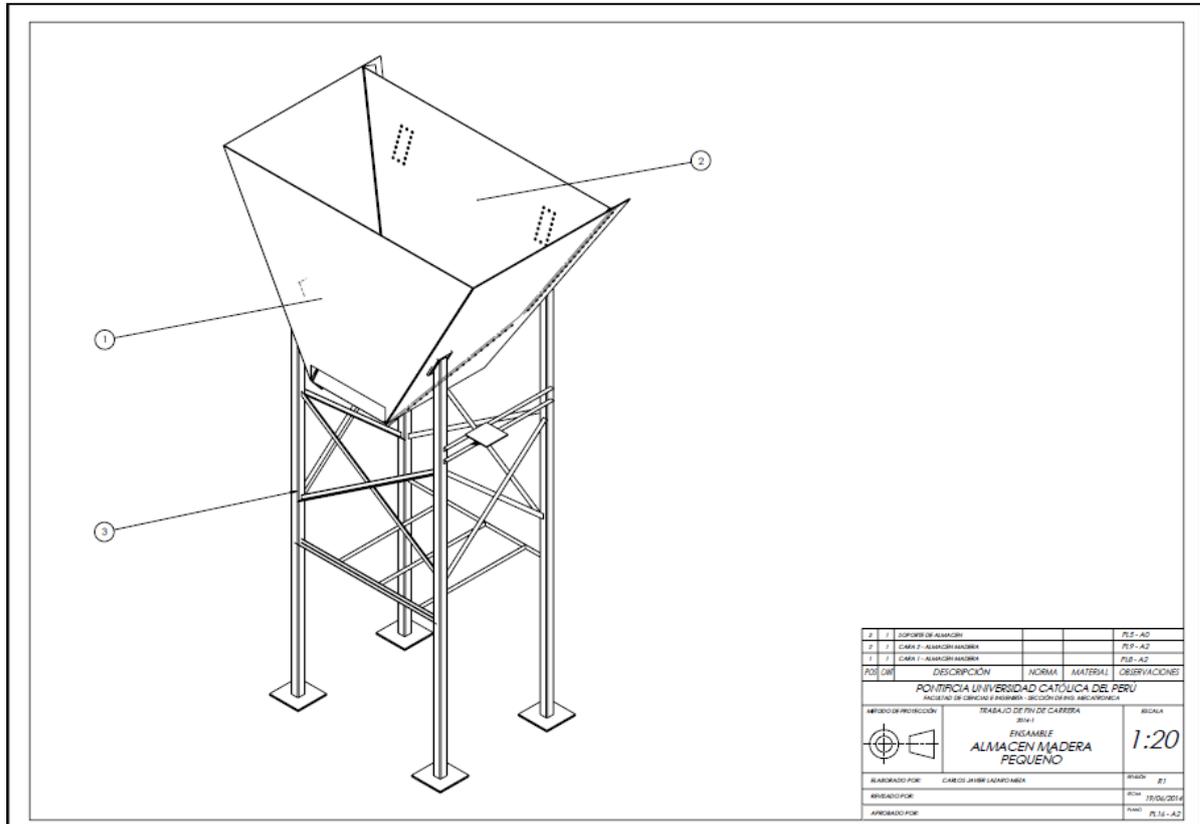


Fig. 3-19 Plano Ensamblaje Almacén

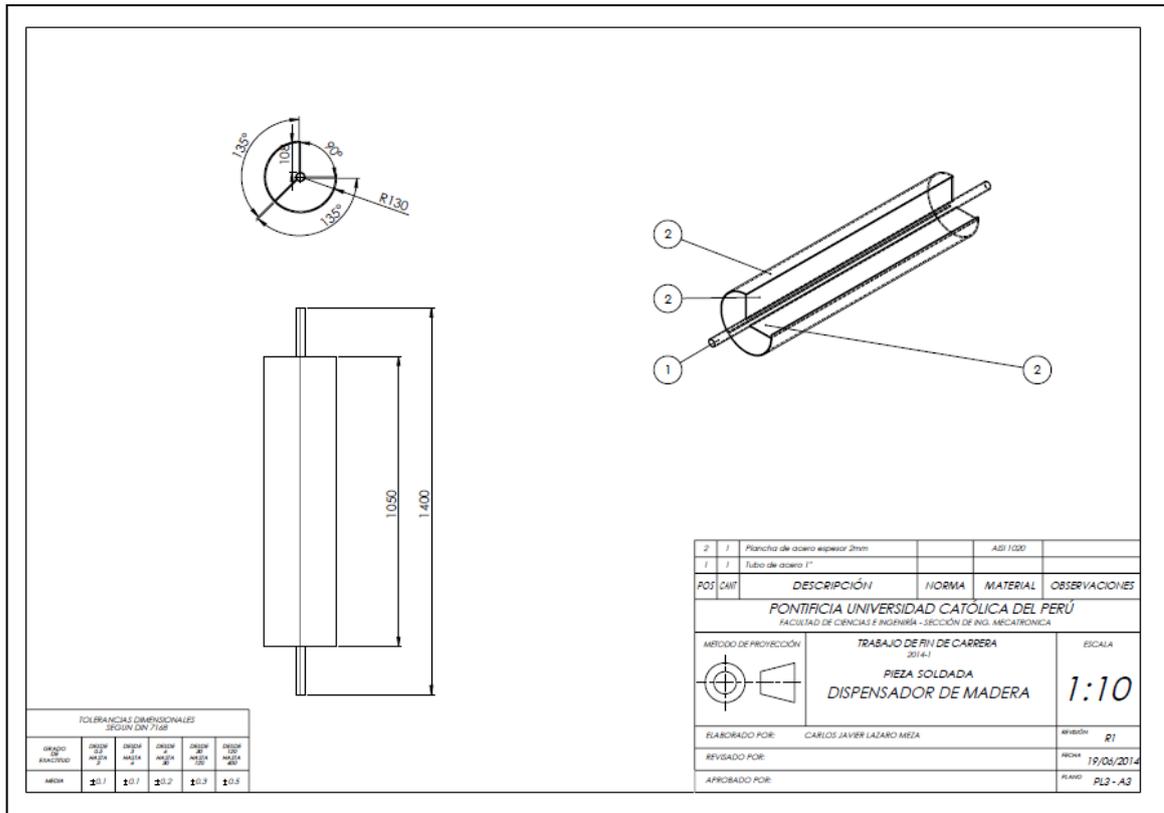


Fig. 3-20 Plano Alimentador

En la figura 3-20 se observa el plano del alimentador. Esta pieza también se encuentra hecha de planchas de acero ISO 1020 de 2 mm para su fácil elaboración y ensamblaje por medio de soldadura.

Esta pieza utiliza un tubo de metal de 1" como eje, al cual se encuentran soldadas las chapas de acero.

Este alimentador cumple la función de distribuir la madera de los almacenes a las cámaras de combustión y como aislante mecánico del calor de las cámaras a los almacenes de combustible. La distribución la realiza mediante el giro sobre su eje. En cada giro, el alimentador está diseñado para extraer 65 litros de madera como una especie de válvula de paso.

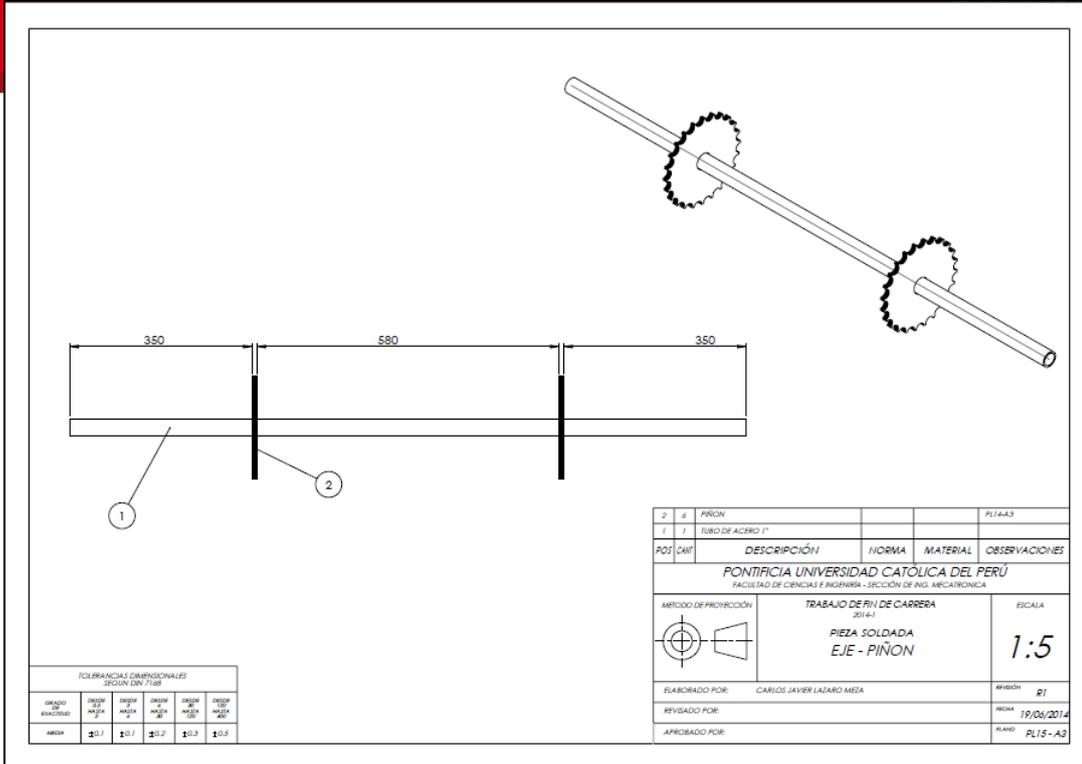


Fig. 3-21 Plano Eje-Piñón

En la figura 3-21 se observa la estructura encargada de retirar las vigas de soporte y que simula el mecanismo de piñón-cadena.

Su construcción está basada 2 juegos de 3 piñones (figura 3-22) soldados radialmente al eje del mecanismo a una distancia de para mejorar el agarre y evitar un sobre esfuerzo en el eje que pueda conducir a una rotura por fatiga. Este eje es un tubo de metal de 1" que se encuentra sujetado al soporte pequeño mediante chumaceras que permiten su giro.

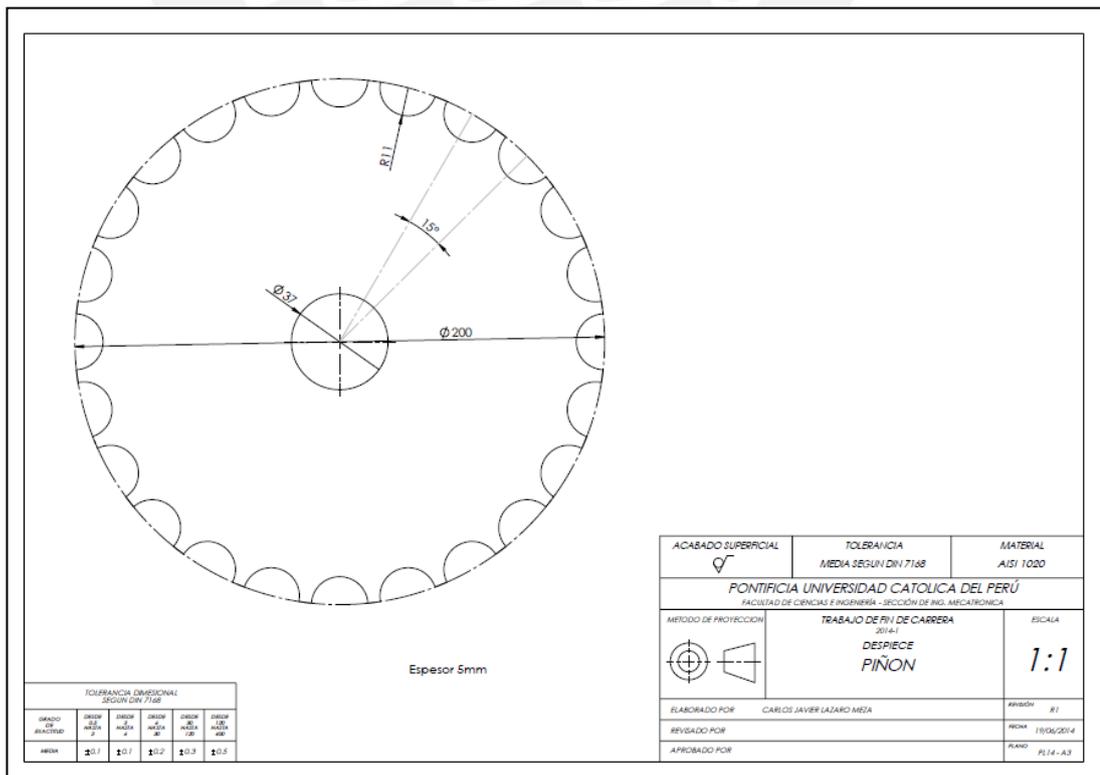


Fig. 3-22 Plano Eje-Piñón

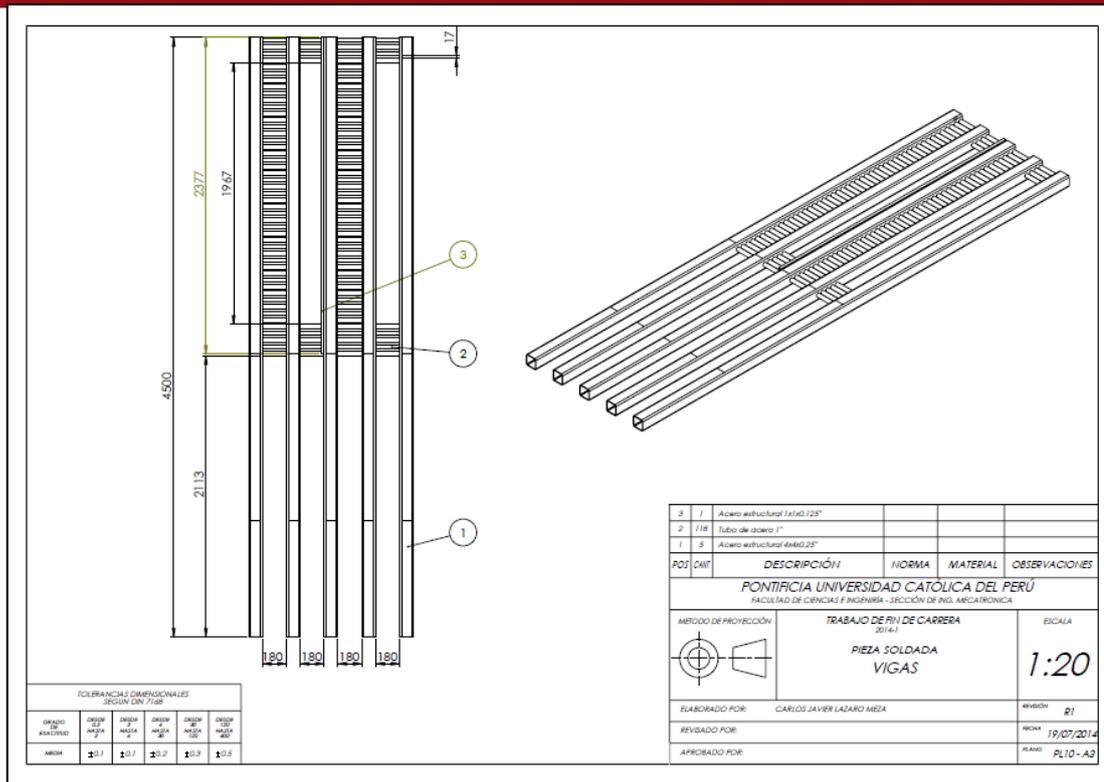


Fig. 3-23 Plano Vigas

En la figura 3-23 se observa la estructura que soporta todo el peso de la carga en todo el proceso a excepción de la descarga en donde el pistón neumático soporta dicha carga por un instante para bajar extraer un lote listo.

Esta estructura consiste en 5 perfiles cuadrados de 4" por 1/4" que se apoyan en las posiciones marcadas por los números 9 y 10 de la figura 3-15 en el horno para soportar todo el peso de la carga. Esta estructura, a su vez, se encuentra formadas por tubos de acero de 1" soldadas a los perfiles cuadrados que cumplen dos funciones, primero de conectar las 5 vigas y segundo la de imitar la función de las cadenas en un mecanismo piñón-cadena que facilite el retiro de las vigas para la descarga de un lote.

Por último, se observa que esta estructura posee un perfil angular adicional (numero 3 figura 3-23) que funciona como guía para el sensor de fin de carrera para indicar la parada del motor responsable de este movimiento.

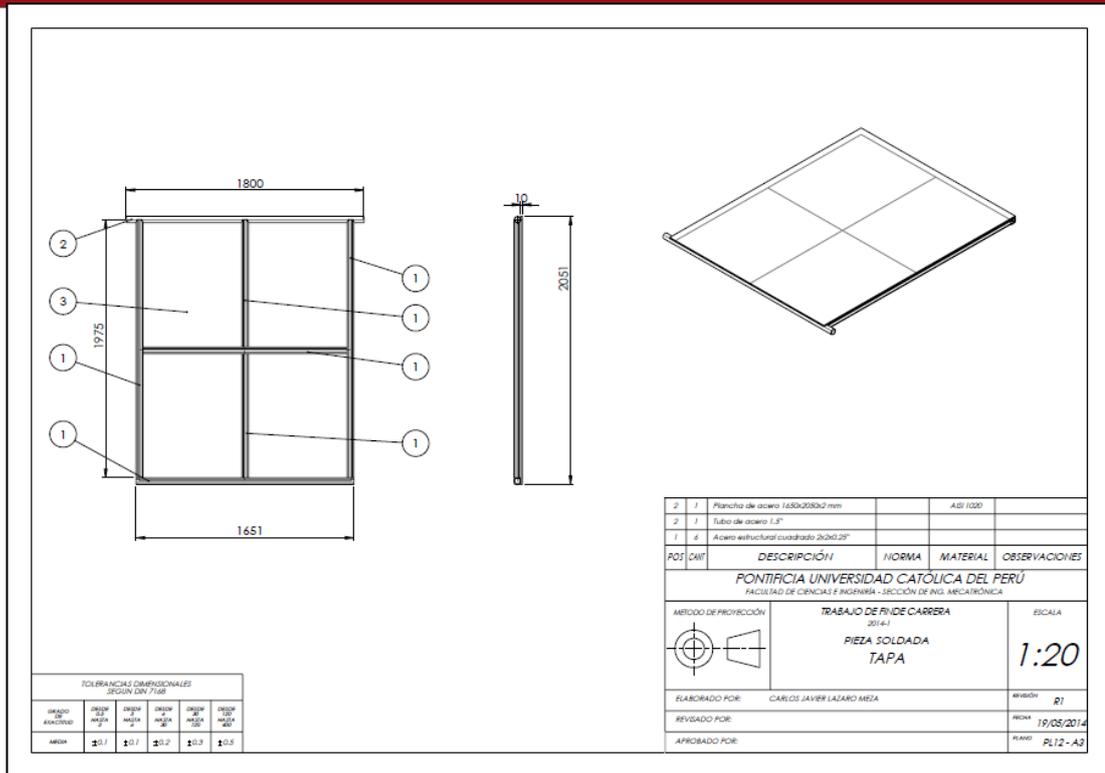


Fig. 3-24 Plano Tapa

En la figura 3-24 se observa la tapa que se ubica en la parte superior del horno. Esta tapa tiene la función de direccionar el “aire” caliente a la chimenea para forzar a este “aire” a recorrer más distancia y entregar más calor a los ladrillos secos.

Esta tapa se encuentra formada por un marco hecho de perfiles cuadrados de acero de 2” por 1/4” soldados entre si y un tubo de acero de 1” que cumple la función de eje de giro. Encima de esta estructura se ubica una plancha de acero de 2 mm de espesor.

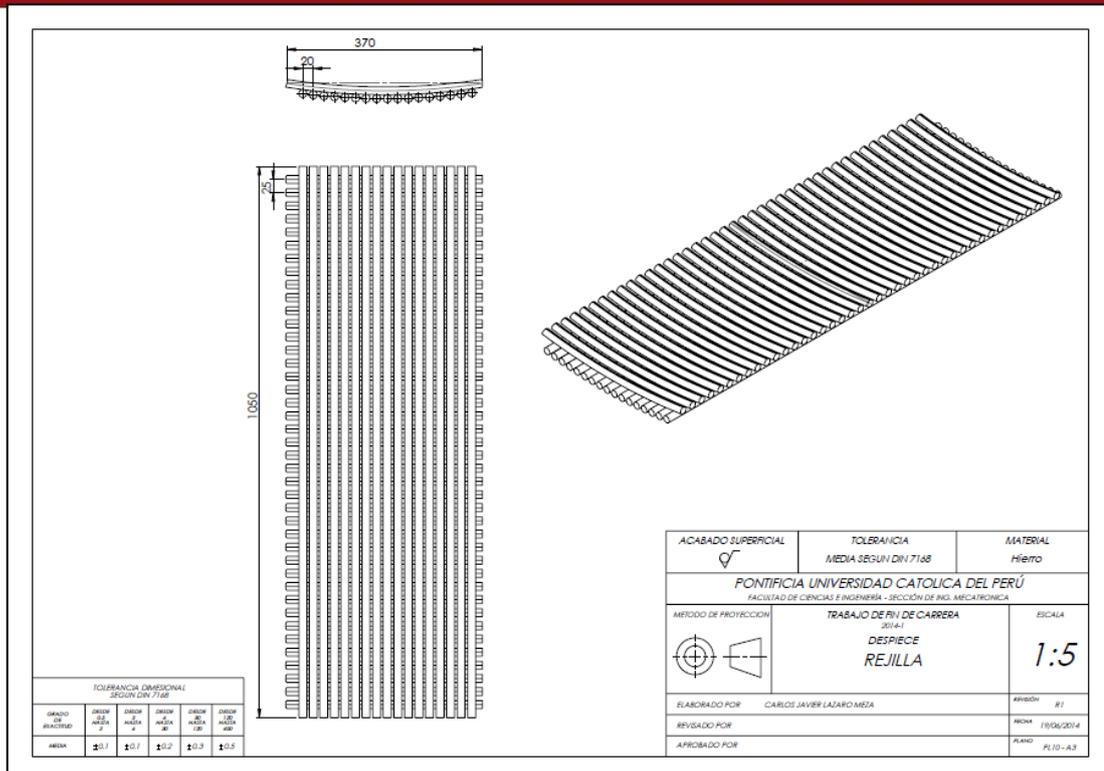


Fig. 3-25 Plano Rejilla

En la figura 3-25, se observa la rejilla que permite la descarga de ceniza al exterior del horno liberando espacio para la combustión. Se observa que este diseño son simples alambres de hierro soldados entre sí de tal manera que los agujeros dejados sean lo suficientemente pequeños para restringir el paso de madera triturada (1x1cm) pero lo suficientemente grandes para permitir el paso de la ceniza.

Por otro lado, se elige los alambres de hierro al no estar esto sometido a ninguna carga pero si a altas temperatura, siendo el punto de fusión del hierro 1538°C y la temperatura máxima alcanzada de 1000°C al interior del horno según el anexo 5.

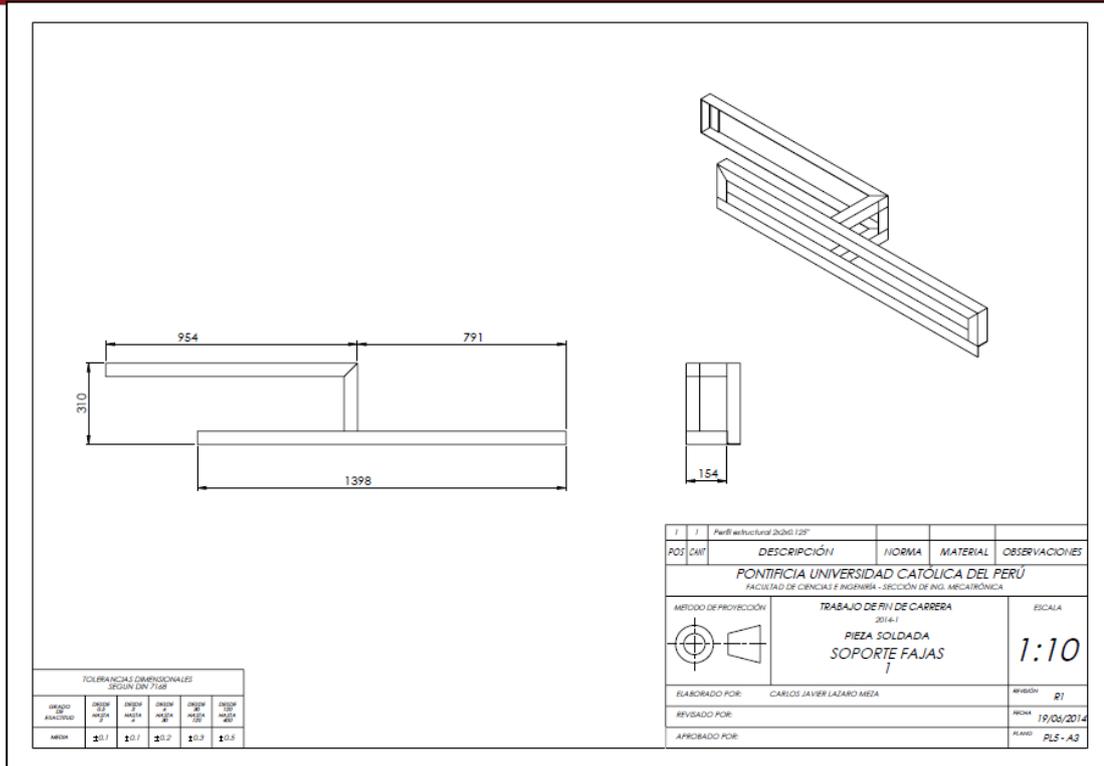


Fig. 3-26 Plano Soporte Fajas 1

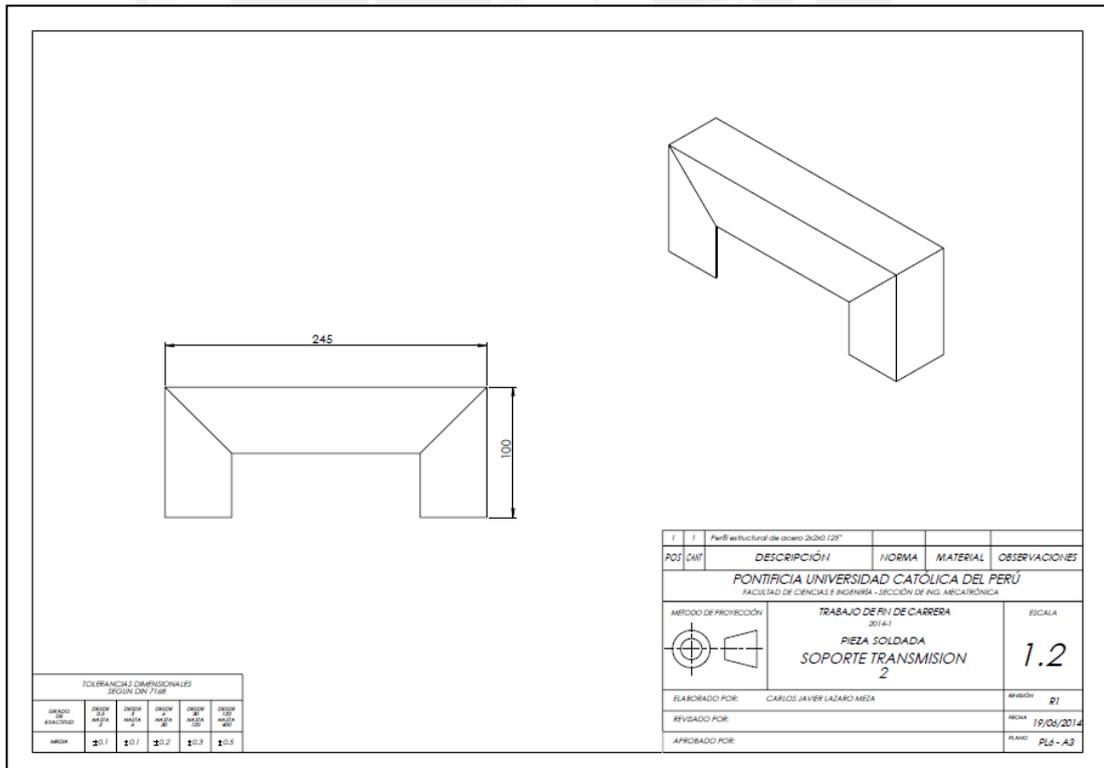


Fig. 3-27 Soporte Fajas 1

Las figuras 3-26 y 3-27 muestran los soportes para las chumaceras que sostienen a las fajas como se observa en la figura 3-11. La principal función de estas piezas es soportar el peso de las chumaceras, ejes, poleas y fajas que forman parte del sistema de fajas que permite obtener una velocidad nominal de 3 y 4 rpm para los motores.

Se eligió la utilización de sistema de fajas y poleas debido a la simplicidad de su funcionamiento, no se necesitan de elevadas potencias y bajo costo en comparación con las cajas reductoras de potencia.

Estas estructuras van soldadas a los soportes pequeño y largo de los almacenes a la altura de las bocas de alimentación.



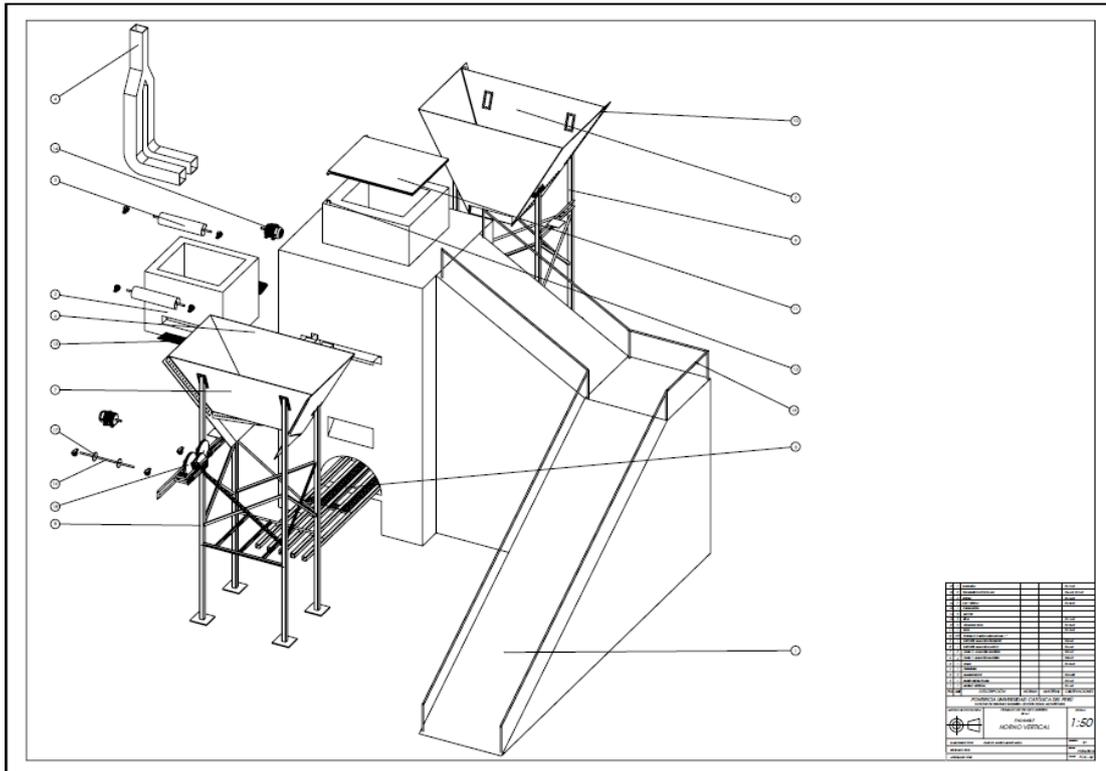


Fig. 3-28 Plano Tapa

En la figura 3-28 se puede observar el plano de ensamblaje de todo el sistema. Aquí se puede observar las posiciones y distribución de cada uno de las partes mecánicas. De esta manera se observan cada una de las zonas descritas en la figura 3-15 con sus respectivas piezas que acompañan cada uno de los bloques descritos.

Por otro lado se observa la ubicación de piezas que cumplen un papel de soporte y seguridad como la tapa y las barandas las cuales se pueden observar en los anexos 22 y 27.

Para la unión de todos los mecanismos descritos se usaran para los ejes chumaceras que permitan el giro sobre sus ejes y estas a su vez ancladas mediante estacas al horno o mediante pernos a los soportes de los almacenes.

3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico

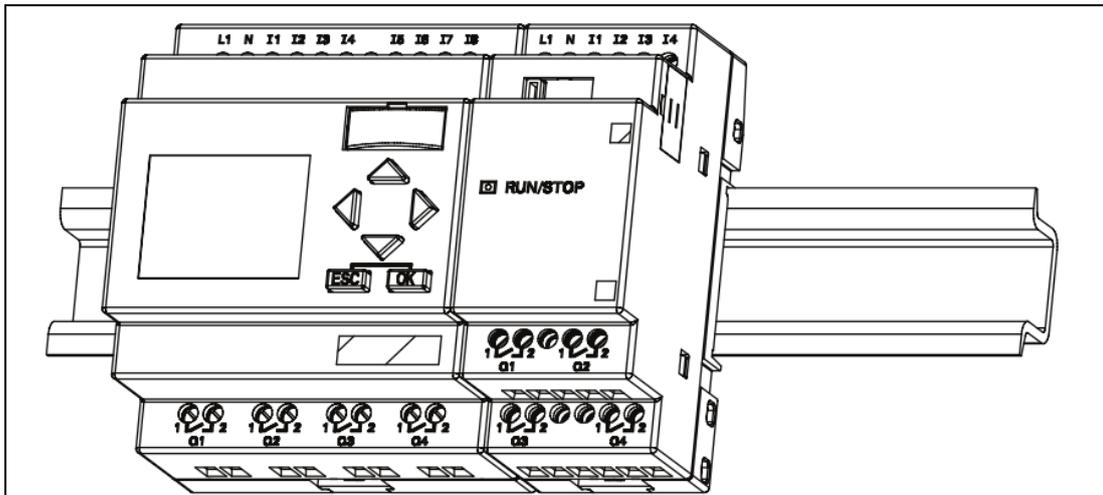


Fig. 3-29 Instalación de PLC LOGO! 24RC y LOGO! AM2 AQ

La figura 3-29 muestra la conexión final entre el PLC LOGO! 24 C y el módulo de amplificación LOGO! AM2 AQ, que al ser ua extensión del PLC solo necesita acoplarse. Sim embargo se observa que la fuente de alimentación debe de ser conectada a los terminales L+ y M de ambos equipos como lo indica la figura 3-30, esta alimentación es conectada desde el equipo LOGO! POWER que va conectado a la línea de corriente que pasa por la planta.

Por otro lado la señal amplificada de la termocupla por acción del integrado AD594 es enviada al puerto de entrada I1 del PLC, el cual puede ser configura como señal analógica o señal digital, el cual para efectos del proyecto es configurado como puerto de entrada analógica de 0 a 10V.

El PLC se comunica con el módulo de expansión por la misma conexión mecánica que se observa en la figura 3-29, esta conexión se efectúa debido a que el PLC no cuenta con puerto de salida analógica; sin embargo, el módulo de LOGO! AM2 AQ es un módulo exclusivo que presenta salidas analógicas de 0 a 10 V.

Esta señal analógica es entregada al variador de frecuencia MicroMaster 420, el cual es el transductor encargado de transformar esta señal a una frecuencia de salida que determina la velocidad del motor de alimentación, frecuencia que se usara para controlar la velocidad de este motor y por consiguiente la cantidad de volumen de madera entregado al horno.

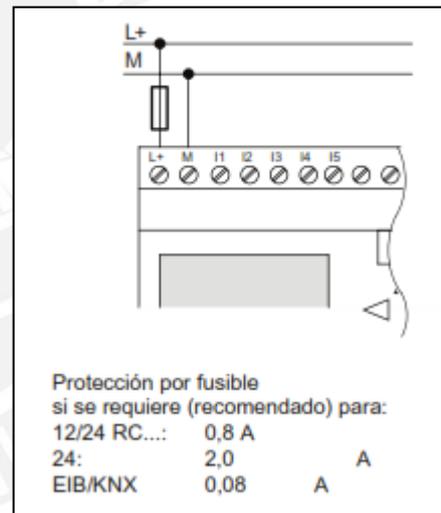


Fig. 3-30 Alimentación de PLC LOGO! 24RC y LOGO! AM2 AQ

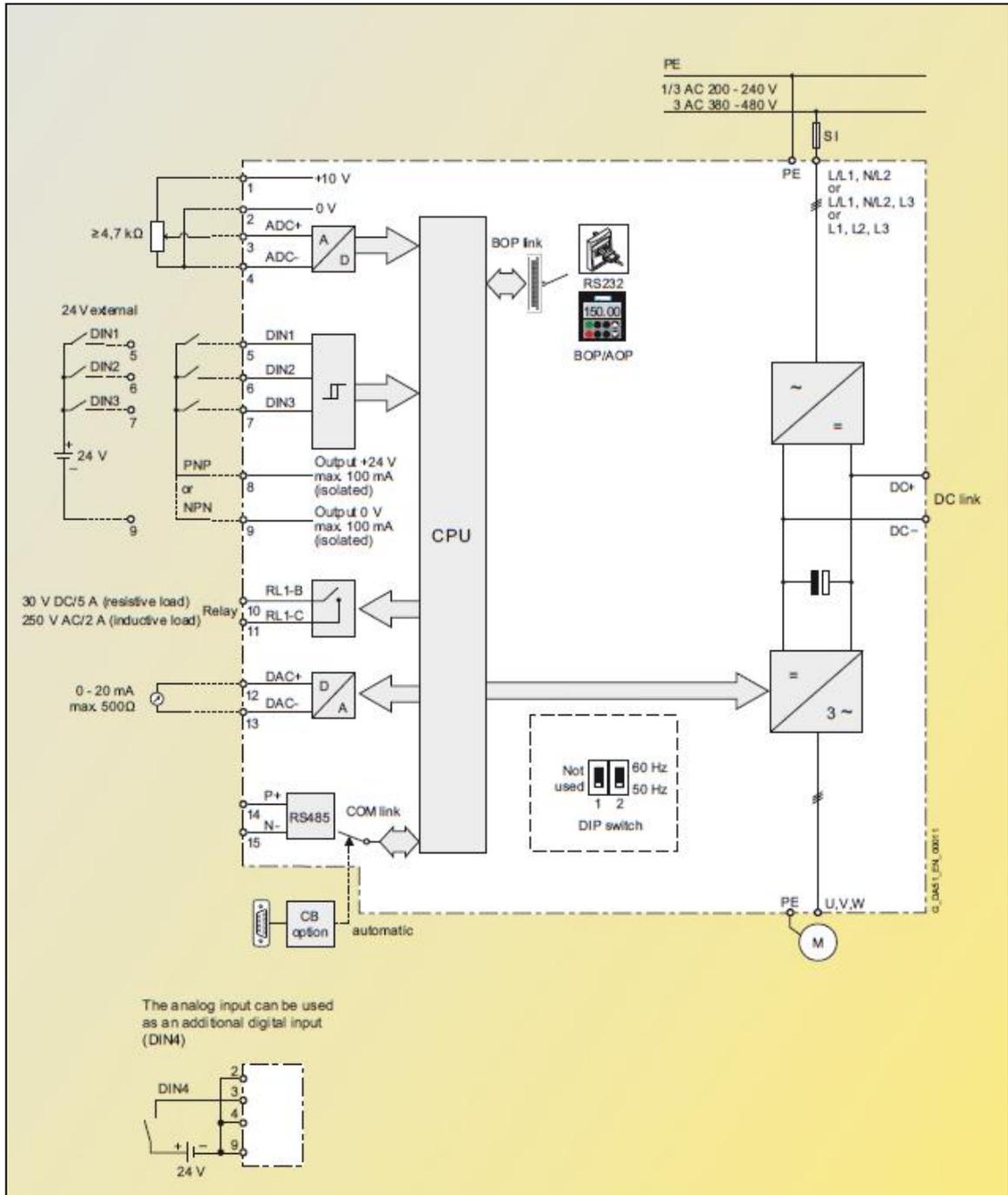


Fig. 3-31 Diagrama de conexión del variador de frecuencia MicroMaster 420 de la empresa Siemens

La figura 3-31 nos muestra el diagrama de conexión del variador de frecuencia que se usara en ambos bloques para el control de motor. Cabe recordar que para el caso del bloque de alimentación se usara el variador para modificar la velocidad del motor en función de la temperatura al interior del horno, mientras que en las vigas se usara el variador para arrancar el motor, frenar, parar e invertir el giro como pasos del bloque de descarga.

De esta manera la señal analógica emitida por el LOGO! AM2 AQ es recibida por las terminales 3 (ADC figura 3-31) como parámetro de entrada analógica del variador.

El motor es conectado a las terminales de salida trifásica del variador con lo cual la fuente de alimentación del motor se encuentra controlada por el variador. Además, en la alimentación del variador se conecta un guarda motor y un fusible encargados de la protección del variador de posibles altas tensiones.

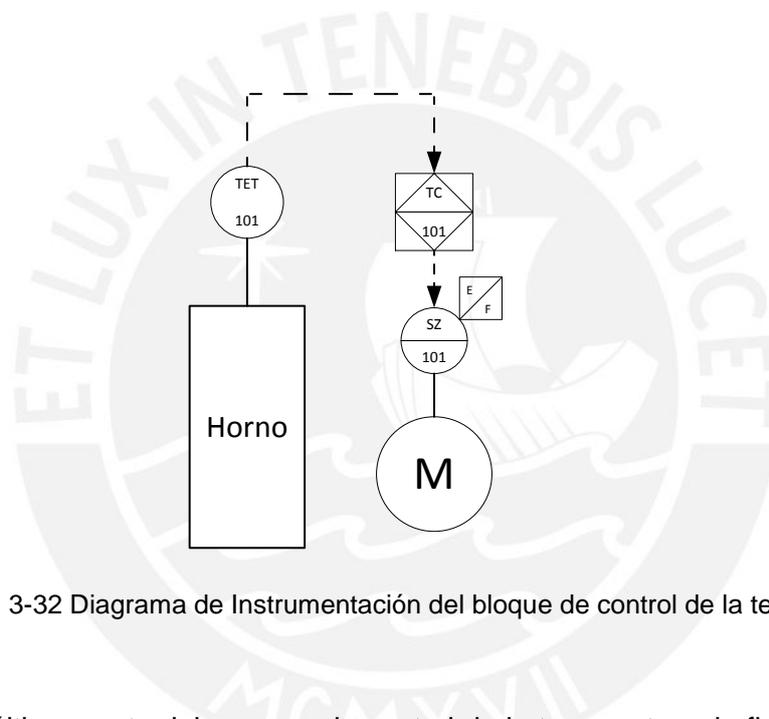


Fig. 3-32 Diagrama de Instrumentación del bloque de control de la temperatura

Como último punto del proceso de control de la temperatura, la figura 3-33 muestra el esquemático de la tarjeta amplificadora de la señal analógica de la termocupla tipo K.

En este esquemático se observa que la junta de la termocupla es conectada mediante el conector de termocupla (J1) de la empresa Omega Engineerin, para tener una mejor conexión con el integrado.

Así mismo la fuente de alimentación de 5V recibida del LOGO! Power 5V/3A es conectada a un capacitor de desacoplo de 0.1 uF y que tiene un led rojo conectado en serie con una resistencia de 330 Ohm que funciona como indicador de que la tarjeta se encuentra alimentada.

Por último la señal amplificada es sacada de los espadines hembra (J2) y dirigida a las entradas del PLC LOGO! 24C.

La figura 3-32 muestra el diagrama de instrumentación del bloque de control de la temperatura para observar mejor las conexiones entre estos equipos.

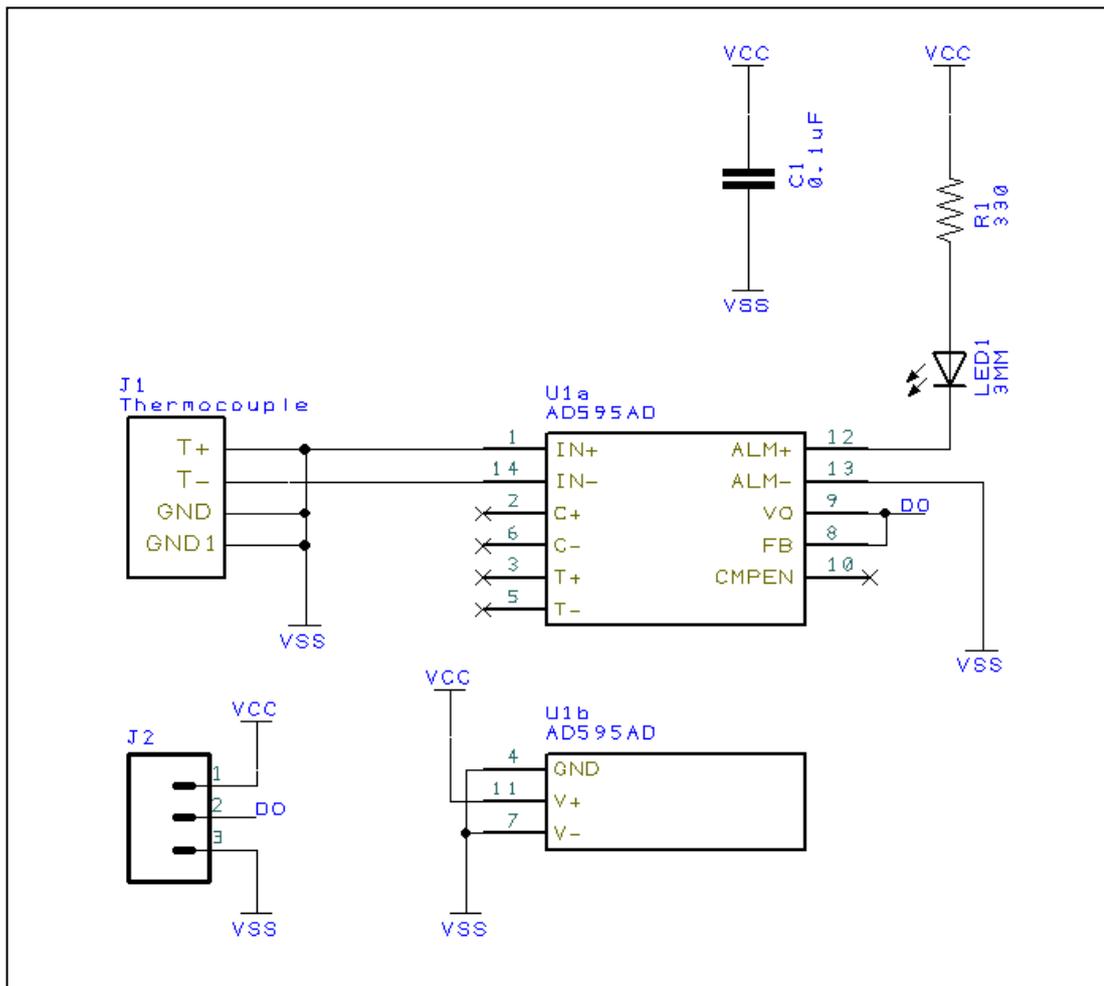


Fig. 3-33 Esquemático de la tarjeta amplificadora para la termocupla

Por otro lado el bloque de descarga también usa el mismo variador de frecuencia pero de una manera distinta.

En este bloque el PLC espera, en un primer lugar, a que el contador interno del PLC indique término de un periodo de quema, el cual marca el inicio de un bloque de descarga. De esta manera, el PLC indica al sistema hidráulico que eleve el pistón hasta su máxima longitud, cargando todo el peso de los ladrillos al interior del horno.

A continuación el PLC envía una señal al variador de frecuencia para iniciar el arranque del motor, esta señal sale del PLC del terminal Q1 al terminal 5 del variador de frecuencia, como ambas señales son digitales de 24 VDC, no es necesario conectar ningún dispositivo intermedio para facilitar la comunicación entre ambos dispositivos.

Este proceso de arranque del motor se da hasta que este alcance su velocidad de 6 rpm en la cual se mantiene constante hasta que el variador reciba una señal por el terminal 6 (entrada digital) que proviene del sensor de fin de carrera indicando el inicio del freno, parado e inversión del sentido de giro del motor.

De esta manera el motor se mantiene en esta posición hasta recibir una señal del PLC a través del terminal 5 anteriormente usado. Esta señal, el PLC la emite cuando el interruptor de fin de carrera ubicada en el interior del horno para al sistema hidráulico para el reingreso de las vigas de soporte.

Para este bloque se usa solo el PLC LOGO! 12/24RC con el puerto de entrada I1 configurado como señal digital, ya que recibe la interrupción del sensor de fin de carrera.

Cabe señalar que en todo el proceso se usan dos PLC (LOGO! 24C y LOGO! 12/24RC). La diferencia entre ambos es sus capacidades de entrada y salidas, siendo el proceso de control de temperatura el que más entradas requiere; mientras que el proceso de descarga el PLC solo es utilizado para enviar las señales en función del tiempo marcado por su reloj interno.

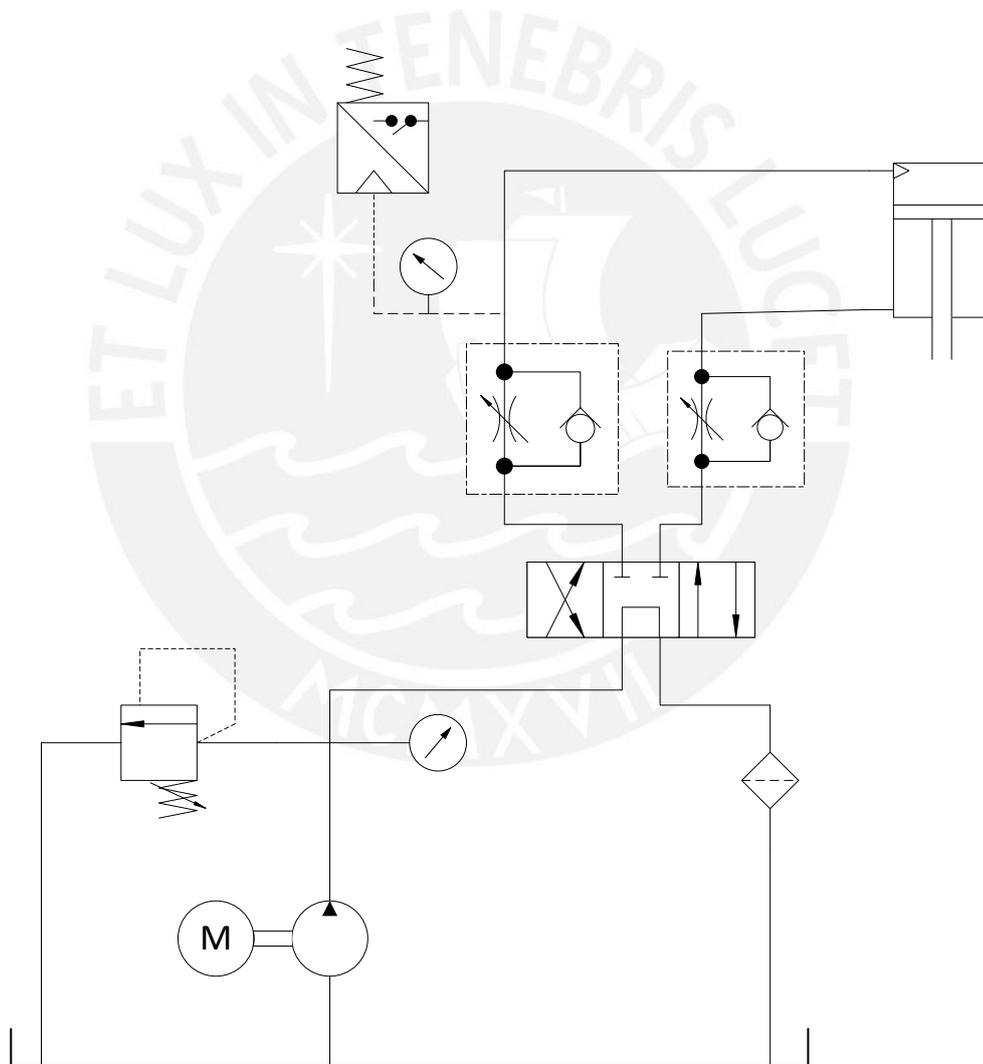


Fig. 3-34 Diagrama de instrumentación hidráulica

Por último, la figura 3-34 muestra el diagrama hidráulico encargado del control del ascenso y descenso del pistón

3.5 Diagrama de flujo del programa de control

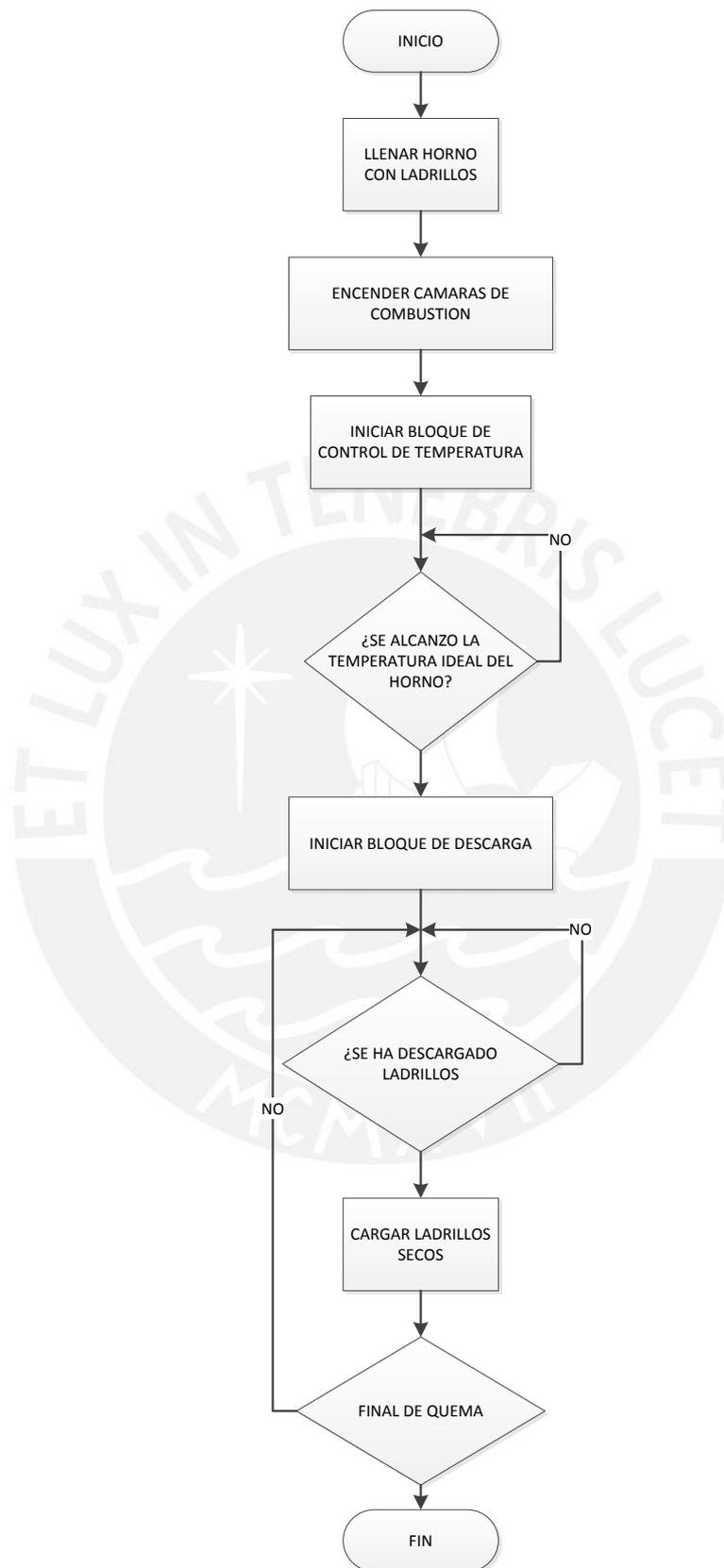


Fig. 3-35 de Flujo General del Horno vertical

El horno vertical es controlado por dos procesos separados, esto debido a la necesidad de un flujo constante de inyección de combustible para mantener el calor al interior del horno constante y además un bloque de automatización que se repite cada 3 horas aproximadamente, para la descarga de ladrillos listos.

La figura 3-35 muestra el diagrama de flujo general del horno, en el cual se encuentran considerados los momentos de activación de cada uno de los bloques de control del horno (temperatura y descarga).

De esta manera tenemos que en un primer punto se colocan las vigas de soporte y sobre estas se colocan los ladrillos secos hasta completar el total del volumen interno del horno. Acto seguido se pasa a encender las cámaras de combustión, las cuales ya poseen combustible acumulado para su ignición. Este encendido se desarrolla mediante los orificios de extracción de cenizas, el cual se desarrolla de manera manual ya que una automatización involucraría la generación de una llama constante para prender la madera lo cual llevaría a la utilización de un combustible adicional de otra clase (ejemplo gas). Una vez encendida ambas cámaras de combustión el siguiente paso consiste en iniciar el bloque de control de temperatura, el cual en un inicio llevara al horno hasta su temperatura óptima para luego realizar el control para mantenerlo en dicha temperatura, este bloque será mejor explicado posteriormente.

Una vez alcanzado el horno su temperatura óptima, se lleva a cabo la activación del bloque de descarga, el cual en primer lugar activa el conteo del timer para marcar los tiempos de inicio del bucle para retirar una carga lista, el cual será explicado con mayor detalle a continuación.

Por último, el diagrama nos muestra que el desarrollo de ambos bloques se desarrolla en paralelo, ingresando en la parte superior del horno una nueva carga de ladrillos secos cada vez que se efectúa una descarga por la parte interior de ladrillos cocidos. Todo este proceso de control de temperatura, descarga de ladrillos y carga de ladrillos se desarrolla de manera continua hasta que el operario de la planta decide dar por terminado la quema, parando, en primer lugar, el ingreso de nuevas cargas de ladrillos secos al horno. De esta manera cuando la última carga de ladrillos secos sea retirado de la zona de quema y puesto en la zona de enfriado por acción del descenso del pistón hidráulico, todo el proceso es apagado, únicamente quedando los ladrillos recién cocidos en el horno el tiempo necesario para su enfriamiento para su posterior retiro.

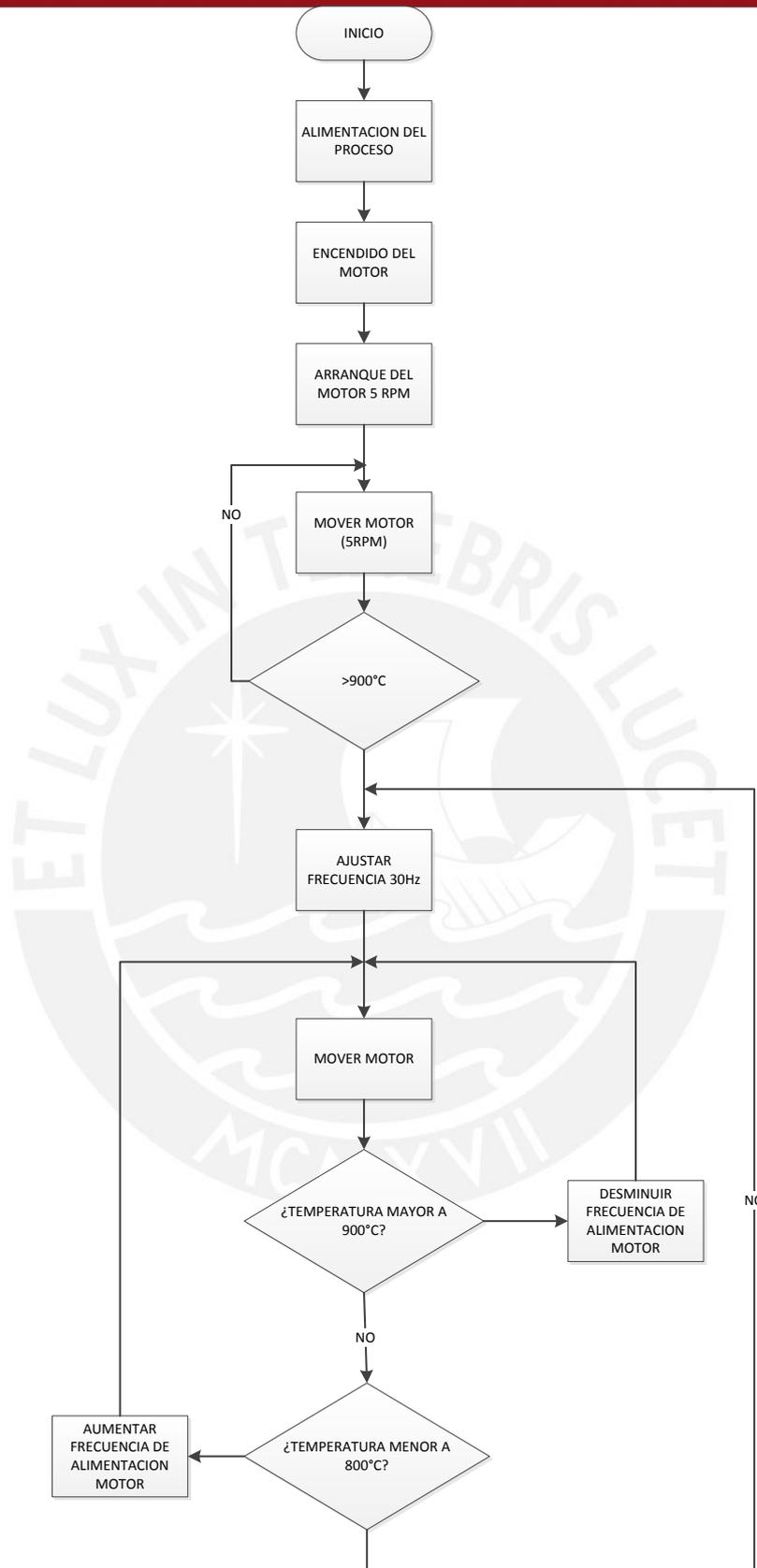
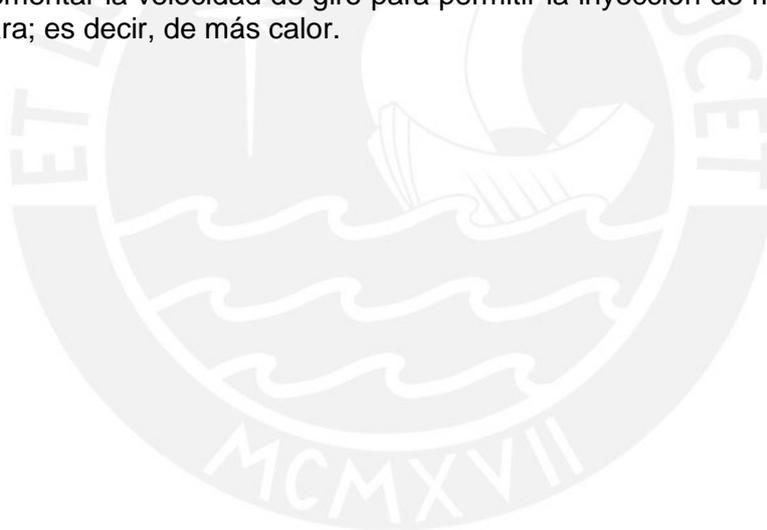


Fig. 3-36 de Flujo Bloque de Control de Temperatura

La figura 3-36 muestra el diagrama de flujo del bloque de control de la temperatura al interior del horno. Este bloque, como ya ha sido mencionado, se encarga de mantener una temperatura homogénea al interior del horno. Por ello en primer lugar alimentamos a todo el sistema mediante la activación del bloque de alimentación y seguridad. Una vez alimentamos el sistema, ponemos en marcha el motor encargado del giro del alimentador. Esta puesta en marcha se desarrolla gracias al variador de frecuencia utilizado para regular el giro del motor, este primer inicio del motor se efectúa a 5 rpm para incrementar rápidamente el calor al interior del horno. Este proceso de alimentación a 5 rpm se realiza hasta que el horno alcance la temperatura ideal (950°C).

Cuando el horno ya alcanza la temperatura adecuada en la cámara de combustión, es cuando se entra propiamente al bloque de control de la temperatura del horno. En este bloque, en primer lugar establece la velocidad de giro constante del sistema a 3 rpm, es a través de la variación de esta velocidad que se conseguirá controlar la inyección de combustible para incrementar o disminuir el calor al interior del horno. A continuación, lo que el sistema de control realiza es sensor constantemente la temperatura al interior del horno mediante la termocupla. Si esta temperatura se encuentra por encima del umbral establecido (950°C) el sistema reduce la velocidad de giro del motor de alimentación para de esta manera inyectar menos combustible, y por consiguiente, menos calor. De la misma manera si la temperatura sensada por la termocupla es inferior al valor de umbral establecido (800°C) el sistema debe de incrementar la velocidad de giro para permitir la inyección de más combustible a la cámara; es decir, de más calor.



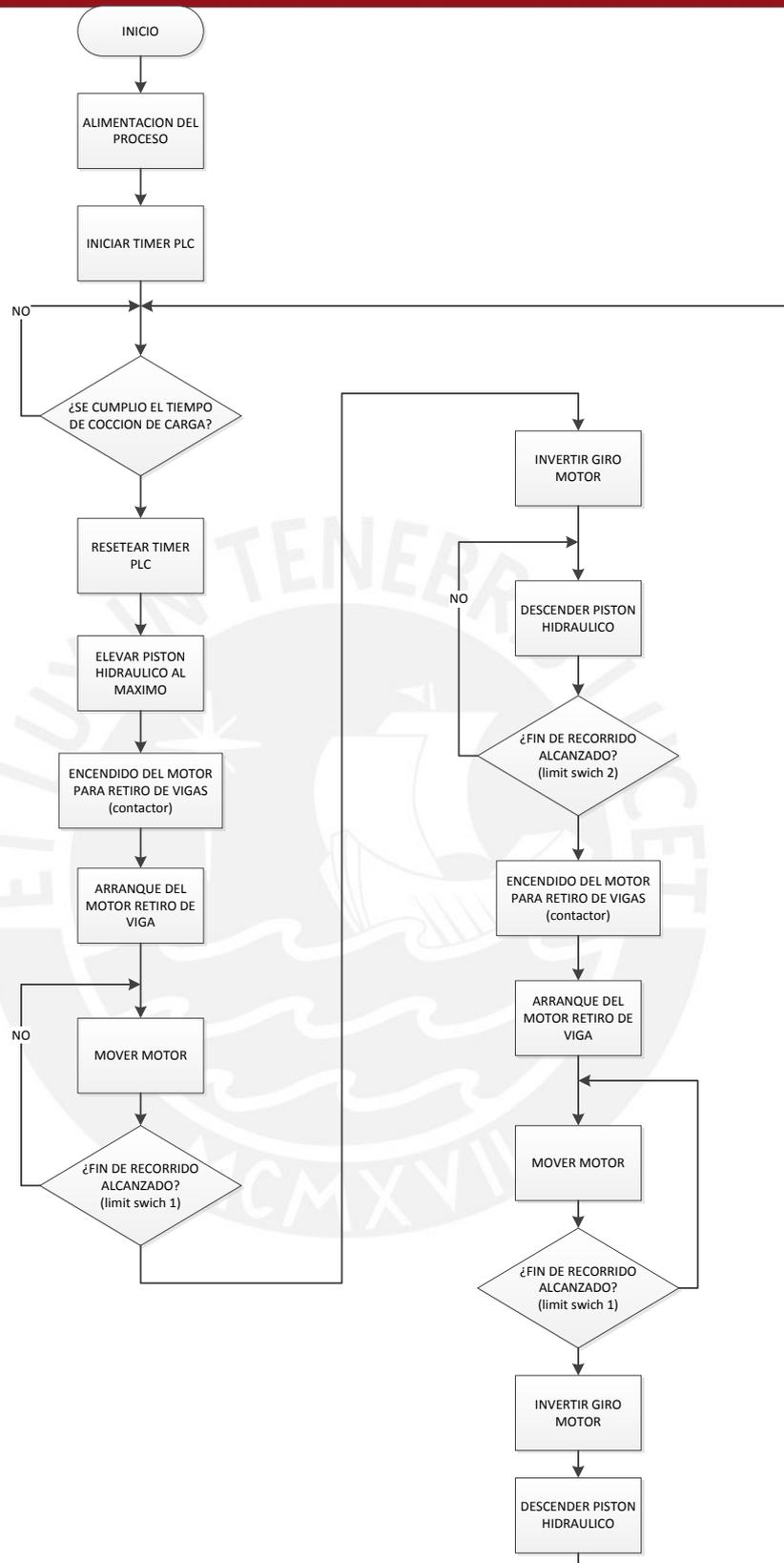
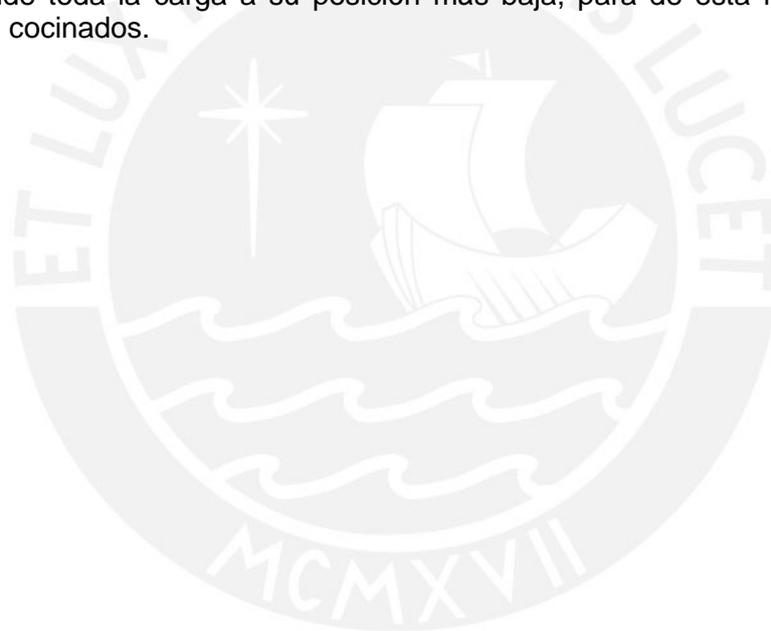


Fig. 3-37 Diagrama de Flujo Bloque de descarga

Por otro lado la figura 3-37 muestra el diagrama de flujo del bloque de descarga encargado de la automatización de la descarga de ladrillos. De esta manera el bloque comienza con la alimentación del proceso a través del bloque de alimentación y seguridad. El primer proceso propiamente dicho de todo este sistema es al iniciar el timer o contador del PLC logo! 12/24RC, este contador nos permite tener una repetición del bloque de cada 3 horas; es decir, retirar una pequeña carga de ladrillos cocinados e inyectar carga de ladrillos secos cada 3 horas. A continuación el sistema envía la activación del motor de alimentación de la bomba hidráulica, la cual permite que el pistón se eleve hasta su máxima posición, soportando toda la carga para permitir el retiro de las vigas de soporte. Una vez el pistón en su posición máxima, se retiran las vigas de soporte. Esta bucle se desarrolla hasta que el limit swich colocado al final del recorrido de las vigas envía una señal al variador de frecuencia que, en primer lugar frena al motor, lo para y le invierte la dirección del giro. A continuación, el pistón empieza a descender hasta que el segundo limit swich ubicado al interior del horno nos indica que ha descendido 80 cm aproximadamente para colocar las vigas de soporte nuevamente a fin de poder extraer la carga de ladrillos cocinados. Este re-insersión de las vigas también se ve marcada por el limit swich, e cual indica el final de la carrera, frenado del motor, parado del mismo e inversión de la dirección de giro. Por último, pistón desciende toda la carga a su posición más baja, para de esta manera retirar los ladrillos cocinados.



Capítulo 4

Presupuesto



cantidad	Nombre pieza	referencia	empresa	precio unitario	precio S/.	precio \$
1	horno vertical	PL1-A0	-	25479.82	25479.82	9198.49
total						9198.49

Tabla 1 Presupuesto construcción horno

cantidad	Nombre pieza	referencia	empresa	precio unitario	precio S/.	precio \$
2	cara 1	PL8-A2	Industrias Otiniano S.R.L	3000	6000	2166.06
	cara 2	PL9-A2	Industrias Otiniano S.R.L			
2	estructura soporte	PL4-A0, PL5-A0	Industrias Otiniano S.R.L	3500	7000	2527.08
1	vigas soporte	PL10-A3	Industrias Otiniano S.R.L	4500	4500	1624.55
1	tapa	PL12-A3	Industrias Otiniano S.R.L	850	850	306.86
2	alimentador	PL3-A3	Industrias Otiniano S.R.L	300	600	216.61
2	soporte transmision	PL5-A3	Industrias Otiniano S.R.L	500	1000	361.01
2	soporte transmision 2	PL6-A3	Industrias Otiniano S.R.L	250	500	180.51
6	piñon	PL14-A3	Industrias Otiniano S.R.L	150	900	324.91
1	Eje-piñon	PL15-A3	Industrias Otiniano S.R.L	250	250	90.25
2	Rejilla	PL10-A3	Industrias Otiniano S.R.L	750	1500	541.52
1	Baranda		Industrias Otiniano S.R.L	300	300	108.30
9	fajas trapesoidales Optibelt 1/2"			18	162	58.48
9	polea 16" Prisma			70	630	227.44
9	polea 3" Prisma			6	54	19.49
28	chumaseras 1"			70	1960	707.58
67	Perno hexagonal + tuerca 1/2x1" (4X)		MAESTRO	4.60	308.2	111.26
14	Perno hexagonal + tuerca 3/8x2" (4X)		MAESTRO	3.20	44.8	16.17
total						9588.09

Tabla 2 Presupuesto parte mecánica

cantidad	Nombre pieza	referencia	empresa	precio unitario	precio S/.	precio \$	impuesto aduanero
1	LOGO! 24C	6ED1 052-1CC01-0BA6	PLC-mall	114	-	114.00	34.20
1	LOGO! 12/24RC	6ED1 052-1MD00-0BA4	PLC-mall	105	-	105.00	31.50
1	LOGO! AM2 AQ	6ED1 055-1MM00-0BA1	PLC-mall	150	-	150.00	45.00
1	MICROMASTER 420, 0.25KW	6SE6 420-2AB12-5AA1	PLC-mall	220	-	220.00	66.00
1	MICROMASTER 420, 0.75KW	6SE6 420-2AB17-5AA1	PLC-mall	226	-	226.00	67.80
1	LOGO! POWER 24V/120-230VAC/DC24V 2,5A	6EP1 332-1SH41	PLC-mall	100	-	100.00	30.00
1	LOGO! POWER 5V/120-230VAC/DC5V 3A	6EP1 311-1SH02	PLC-mall	90	-	90.00	27.00
3	guardamotor weg MPW		storetech	126	378	136.46	-
2	pulsadores de cierre e inicio		storetech	20	40	14.44	-
1	sensor de fin de carrera normente cerrado Brema		storetech	65	65	23.47	-
1	sensor de fin de carrera normente abierto Brema		storetech	65	65	23.47	-
2	motor trifasico weg w22 1/8 HP		motorex ⁽¹⁾	85.55	-	171.10	-
1	motor trifasico weg w22 1/2HP		motorex ⁽¹⁾	120.95	-	120.95	-
1	componentes digikey	termocupla y tarjeta amplificadora	digikey	81.97	-	81.97	24.59
1	conector de termocupla		Omega Engineerin		-	4.00	1.20
1	impresión tarjeta		Jobareci	30	30	10.83	-
20	cable conexión n 12		MAESTRO	2.1	42	15.16	-
total						1606.85	327.29

Tabla 3 Presupuesto parte electrónica

cantidad	Nombre pieza	referencia	empresa	precio unitario (\$)	precio \$
1	presostato neumático	-	FK MOBILE HIDRAULIC	150	150
2	válvula extranguladora 1/2"	-	FK MOBILE HIDRAULIC	70	140
1	electro válvula 4/3 en posición central 1/2"	-	FK MOBILE HIDRAULIC	200	200
1	válvula relif 3/8"	-	FK MOBILE HIDRAULIC	130	130
2	manómetro vertical 1/2"	-	FK MOBILE HIDRAULIC	20	40
1	filtro hidráulico 1/2"	-	FK MOBILE HIDRAULIC	90	90
1	piston hidráulico de doble efecto 100x100, 1 metro de recorrido	.	YAK equipamiento industrial E.I.R.L	1263.64	1263.64
1	compresor de agua	-	hidrostal	902.53	902.53
total					2916.06

Tabla 4 Presupuesto parte hidráulica

La tabla 1 muestra el presupuesto para la estructura a base de ladrillos del horno vertical cuyo presupuesto detallado se encuentra en el anexo 9.

La tabla 2 muestra el presupuesto de las estructuras soldadas cuya proforma se encuentra en el anexo 8.

La tabla 3 muestra el presupuesto de los componentes electrónicos cuyo presupuesto detallado de los LOGO! Y los sensores se encuentran detallados en el anexo 7 y la tarjeta en el anexo 8.

La tabla 4 muestra el presupuesto de los componentes hidráulicos, el pistón tiene que ser mandado a fabricar (anexo 6).

Por último el costo total sería

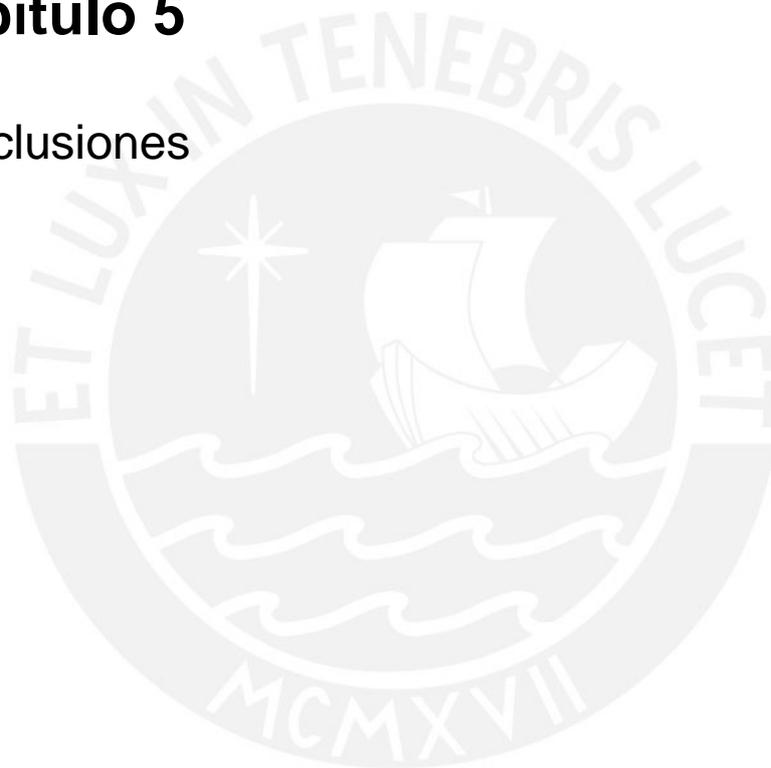
tasa de cambio 2.77

total (construcción horno + componentes mecánicos + componentes eléctricos + componentes hidráulicos)

\$ 23616.78

Capítulo 5

Conclusiones



1. La geometría del horno vertical y el control de la temperatura interna del horno (bloque de control) permitir obtener un ahorro energético de hasta el 30% según los cálculos mostrados en el anexo 1. Esta reducción permite un menor consumo de madera, lo cual se traduce una reducción de la cantidad de gases contaminantes emitidos en la atmósfera, la deforestación de los bosques y los costos para la producción de ladrillos.
2. El horno vertical combina las características de ambos hornos actualmente utilizados en la planta; por un lado, permite tener bajos tiempos de producción al ser un horno abierto y al incluir los subproceso de precalentado y enfriado en paralelo con la quema, y por otro lado, posee una eficiencia energética mayor gracias a su geometría que permite reutilizar el calor de combustión. Además, la implementación del bloque de control permite incrementar esa eficiencia propia del horno.
3. La construcción de la pieza alimentador de madera (anexo 13), cumple la función como único mecanismo encargado de limitar la alimentación de madera; siendo esta, pieza fundamental para el bloque de control.
4. El bloque de control del horno, permite mantener una temperatura constante al evitar que la temperatura interna oscile en valores de $\pm 300^{\circ}\text{C}$ (anexo 5); de esta manera, se evita generar pérdidas de calor dentro de la cámara lo cual se traduce a un menor consumo de combustible y, al mantener la temperatura constante, mejorar la calidad del ladrillo.
5. La implementación de un bloque de automatización de la descarga facilita la producción de ladrillos, siendo este bloque una innovación en la producción de ladrillos. De esta manera la planta no se vería limitada a la cantidad de personal disponible en la zona para realizar una quema de ladrillos.
6. Al ser un horno de flujo continuo de ladrillos (horno vertical) permite a la planta obtener un control del flujo de ladrillos que produce. De esta manera para la producción de diferentes volúmenes y tipos de ladrillos ya no se necesitaría de distintos tamaños y tipos de horno.

MCMXVII

Bibliografía



- [1] Edmond Gomes, Ijaz Hossain "Transition from traditional brick manufacturing to more sustainable practice". Energy for sustainable development, vol.VII, no. 2, pp. 66-76, June, 2003.
- [2] Stack & energy monitoring of pilot demonstration vertical shaft bricks kilns in Kathmandu valley, Institute of environmental management Kahmandu-nepla, final report, No ES-1/47/003, 2003
- [3] Manufacturing of brick, The brick industry association, Technical notes on brick construction, No 9, 2006
- [4] Sustainability and brick, The brick industry association, Technical notes on brick construction, No 48, 2009
- [5] Theo Schilderman, "sustainable small scale brick production: a question of energy", Practical action
- [6] Daniel Nordgren, "studies of heat transfer and furnace temperature, uniformity during combustion of oil and wood using oxygen enrichment technology", the Swedish and Finnish National Committees of the International Flame Research Foundation (IFRF), pp. 1-14, 2011
- [7] Prof. Donatello Annaratone, Engineering Heat Transfer, Italy, Springer, 2010
- [8] Sara McAllister, Fundamentals of combustion processes, USA, Springer, 2011^o
- [9] Faiza Bergaya, Handbook of clay science, first edition, Elsevier, 2006
- [10] Stephen Guggenheim, "Baseline studies of the clay minerals society source clay: thermal analysis", the clay mineral society, pp. 433-443, 2001
- [11] Richard Shelquist (may 11 2014), last edition Dec. 2 2012, online. Available: wahiduddin.net/calc/density_altiud.htm#b16
- [12] Technical Manual Optibelt Omega timing bels, OPTIBELT, Alemania, 2009
- [13] Rodrigo Cardenas, "Control de velocidad de motores trifasicos conectados en cascada utilizando el PLC siemens s7-200, cpu 222", Tesis de titulación, departamento de electricidad, Universidad de Magallanes, Punta arenas, 2007.
- [16] Technical catalog Micromaster Siemens, Siemens, Alemania, 2008
- [17] Manual de Producto Siemens LOGO!, Siemens, Alemania, 2009
- [18] Yerson Santiago, "Diseño y construcción de tableros simuladores para PLC siemens s7-200 y desarrollo para guía de laboratorio", tesis de titulación, facultad de ingeniería electrónica, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín 2006
- [19] Antonio Bueno, "Simbología Eléctrica curso 3° ESO", tecnología, 2010
- [20] Antonio Bueno, "Simbología Eléctrica curso 4° ESO", tecnología, 2010
- [21] John Byron Buitrago Paniagua, "Sistema basado en PLC para control, monitoreo y almacenamiento de datos de temperatura de un colector solar paraboloides compuesto", Energética, núm. 34, pp. 33-38, diciembre, 2005 Universidad Nacional de Colombia
- [22] BREMAS, limit switches general catalogue, 2010
- [23] WEG, W22 motor eléctrico trifásico catalogo técnico latinoamericano, Brazil, 2009