

PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE TOSTACIÓN DE
CAFÉ EN LECHO FLUIDIZADO

CARLOS ANDRÉS ÁLVAREZ RESTREPO

1.088.311.086

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA
PEREIRA

2014

PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE TOSTACIÓN DE
CAFÉ EN LECHO FLUIDIZADO

CARLOS ANDRÉS ÁLVAREZ RESTREPO

1.088.311.086

Trabajo presentado para optar por el título de Tecnólogo en Mecatrónica

MODALIDAD:

Proyecto en la Línea de investigación de Automatización Industrial

Director

M.Sc. William Prado Martínez

Codirector

Ing. Julián Eduardo Granados Piraván

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA
PEREIRA

2014

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Pereira, Enero__ de 2014

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a mi abuela Ofelia Rendón Ramírez quien ha sido un apoyo incondicional para mí a través de todo el proceso de la elaboración del proyecto además de todo mi proceso universitario. A mi mamá, una mujer a quien tengo una gran admiración. También a mi hermana Susana Álvarez Restrepo para que vea mi trabajo como un ejemplo para su vida. Y a toda mi familia por su constante cariño.

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que me apoyaron y aportaron su conocimiento para poder llevar a cabo este proyecto, especialmente a mi director M.Sc. William Prado Martínez, al Ingeniero Julián Eduardo Granados Piraván; quienes influyeron de manera importante en la realización y culminación del mismo. Igualmente a mi familia que estuvo apoyándome incondicionalmente en este proceso.

CONTENIDO

1. CAPÍTULO I: PREÁMBULO	13
2. CAPÍTULO II: OBJETIVOS	16
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3. CAPÍTULO III: MARCO REFERENCIAL	17
3.1. DEFINICIONES.....	17
3.2. NORMAS.....	19
3.3. ANTECEDENTES.....	20
3.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE ANTECEDENTES	27
3.5. ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN.....	27
4. CAPÍTULO IV: DISEÑO METODOLÓGICO.....	28
5. CAPÍTULO V: DESARROLLO DEL PROYECTO.....	29
5.1. DISEÑO MECÁNICO	29
5.2. SENSORES Y ACONDICIONAMIENTO.....	35
5.3. PROGRAMACIÓN Y ELECTRÓNICA	46
5.4. SCADA	56
6. CONCLUSIONES.....	60
7. RECOMENDACIONES	62
8. BIBLIOGRAFÍA	63
9. ANEXOS	65

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de caficultores en el país desde el año 2007	14
Tabla 2. Estadística Millones de pesos vendidos en café	14
Tabla 3. Tipos de Tostadoras	21
Tabla 4. Transferencia de calor en tostadoras.....	22
Tabla 5. Comparación de antecedentes	27
Tabla 6. Especificaciones técnicas PLC THINGET XC3-32R-C	48
Tabla 7. Especificaciones módulo análogo	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tostadora kaffemat en lecho fluido	23
Figura 2. Diseño de tostadora de la patente WO 136632 A2.....	25
Figura 3. Diseño de tostadora de la patente WO 8401271	26
Figura 4. Chasis de la máquina	30
Figura 5. Lecho de tostado	32
Figura 6. Tolva	33
Figura 7. Salida del café tostado.....	34
Figura 8. Diseño final	35
Figura 9. Generador de aire.....	37
Figura 10. Esquema resistencia eléctrica aleteada.....	39
Figura 11. Referencias Everwatt para resistencias aleteadas	40
Figura 12. Resistencia aleteada.....	40
Figura 13. Válvula principal.....	41
Figura 14. Variador de Velocidad PowerFlex40.....	42
Figura 15. Dimensiones Variador de velocidad	43
Figura 16. Respuesta de la PT100	43
Figura 17. PT100	44
Figura 18. Sensor magnético	45
Figura 19. Sensor óptico	46
Figura 20. Diagrama de flujo.....	47
Figura 21. Dimensiones PLC	49
Figura 22. Dimensiones del módulo análogo	51
Figura 23. Actuadores.....	53
Figura 24. Entradas y salidas del PLC.....	53
Figura 25. Programación del PLC.....	54

Figura 26. Diagrama de conexiones56

Figura 27. Presentación SCADA.....58

Figura 28. Operación SCADA.....58

Figura 29. Equipo mostrado en el SCADA.....59

INTRODUCCIÓN

Cualquier labor que esté en pro del desarrollo, innovación de procesos y producción del café en un país cafetero como Colombia, que su economía depende en gran parte de este producto, es un gran avance que además de estar a favor del desarrollo y comercialización del producto, está en pro del crecimiento del país, pues la población que está directamente vinculada con el grano es muy alta; no sólo los que dependen únicamente de este negocio como los campesinos, agrónomos o caficultores, sino también las empresas distribuidoras del fruto, las personas que venden el producto en sus tiendas e incluso aquellos que lo consumen.

Luego de la recolección de la materia prima (café verde), los campesinos y caficultores consiguen un valor relativamente bajo por su producto, pues inmediatamente terminan la recolección del fruto intentan comercializarlo sin antes adicionarle un “valor agregado” al producto que signifique un incremento en el precio de su producción; al tener la posibilidad de tostar su café, encontrarán ese valor agregado que les amplíe su ingreso en las ventas.

Dentro de los procesos por los cuales debe pasar el café antes de su distribución se encuentra la tostación, punto crítico dentro de esta cadena ya que en este punto es donde, dependiendo del nivel de tueste, se define el sabor y aroma que se desea obtener. Cabe anotar que aunque el proceso de tostado sea muy importante, *“siempre será fundamental conocer el tipo de materia prima o café verde que se utilice. Ninguna técnica puede mejorar la calidad de la materia prima original. Lo único que podría hacer es atenuar los defectos de la misma.”* (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2010).

El proceso de tostación del café, estando dentro de las técnicas de industrialización del mismo, ha sido desarrollado por diferentes métodos tales como, tambor, lecho Fluidizado, cilindro fijo con paletas giratorias, entre otros. El tostado en lecho Fluidizado sobresale entre los demás debido a que en éste método se aprovecha en mayor proporción el calor necesario para que el café sea tostado.

De acuerdo a todo lo anterior, al tener un diseño mecánico de una planta para el proceso de tostación automática de café, la cual tenga incluido un sistema de control automático y que además tenga la posibilidad de estar monitoreada y con adquisición de datos, es un herramienta inmensa para perfeccionar la técnica de tostación del café, consiguiendo mejores sabores en la infusión que satisfaga a los clientes finales del producto.

PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE TOSTACIÓN DE CAFÉ EN LECHO FLUIDIZADO

1. CAPÍTULO I: PREÁMBULO

El proceso de tostación juega un papel fundamental dentro del ciclo de producción del café, pues según el artículo máquinas de torrefacción de café para laboratorios de control de calidad de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas:

“El color y aspecto del grano tostado dependen del tiempo de exposición a altas temperaturas. Mientras más largo sea el tiempo de tostado, más oscuro será el grano. Por lo general, el grano se tuesta durante 10 a 20 minutos, a temperaturas oscilantes entre 180°C y 250°C. La variación de estas condiciones influye en la preparación de una buena taza de café, así como en la determinación de qué características serán realzadas y cuáles serán variadas.” (Arias & Corregidor)

Por lo tanto si el proceso se hace de forma automatizada, manteniendo constantes los criterios de elaboración del proceso, se creará un producto de alta calidad generando un gran beneficio a los caficultores colombianos.

De acuerdo a las estadísticas históricas de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, en el país se tienen las siguientes cifras en cuanto a número de caficultores,

Tabla 1. Cantidad de caficultores en el país desde el año 2007

	Número de caficultores					
	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Antioquia	88,151	88,391	89,499	91,355	90,394	90,216
Boyaca	12,363	12,118	12,249	12,453	12,541	11,202
Caldas	38,406	38,076	37,726	37,671	37,216	35,701
Caquetá	1,843	1,766	1,804	1,854	2,066	2,113
Casanare	1,657	1,612	1,649	1,742	1,892	1,995
Cauca	83,772	84,436	87,668	90,967	94,133	95,119
Cesar	4,908	5,095	5,539	6,325	7,335	8,079
Chocó	292	292	291	257	270	203
Cundinamarca	37,379	38,518	39,181	40,628	38,549	34,993
Guajira	1,263	1,335	1,436	1,549	1,747	1,812
Huila	60,545	61,737	62,322	69,753	74,674	77,490
Magdalena	2,094	2,341	2,820	3,546	4,219	4,590
Meta	1,578	1,526	1,570	1,653	1,918	2,039
Nariño	30,875	32,083	33,340	36,456	37,548	38,821
Norte de Santander	16,743	17,018	18,001	19,256	18,667	17,231
Quindio	6,591	6,624	6,704	6,804	5,676	5,657
Risaralda	20,013	20,012	20,137	20,050	20,230	20,055
Santander	30,712	30,867	31,489	32,678	31,943	31,351
Tolima	51,560	51,423	53,471	56,792	59,118	59,985
Valle	21,188	20,526	20,713	21,706	23,006	22,629
TOTAL NACIONAL	511,933	515,796	527,609	553,495	563,142	560,035

Fuente: (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2013)

Donde cada año, registran cosechas por los siguientes valores,

Tabla 2. Estadística Millones de pesos vendidos en café

Valor de la cosecha registrada -anual

Millones de pesos

ANOS CALENDARIO		ANOS CAFETEROS	
	Valor de la cosecha		Valor de la cosecha
2000	2,279,049	2000/01	2,009,660
2001	1,959,278	2001/02	2,067,666
2002	2,120,915	2002/03	2,245,734
2003	2,244,566	2003/04	2,423,199
2004	2,668,500	2004/05	3,467,000
2005	3,457,525	2005/06	3,518,034
2006	3,606,896	2006/07	3,604,465
2007	3,818,514	2007/08	4,056,617
2008	3,825,079	2008/09	3,566,694
2009	3,400,159	2009/10	3,719,387
2010	4,365,726	2010/11	5,042,091
2011	4,923,317	2011/12	3,928,583
2012	3,404,701	2012/13	

Fuente: (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2013)

Los cafeteros y campesinos, quienes son los encargados de hacer la recolección de la materia prima (café verde), obtienen un valor relativamente bajo por su producto, ya que no tienen un valor agregado que aumente su valor, al tener la posibilidad de entregar su producto tostado, tendrán ese valor agregado que signifique un aumento en el precio de su producción.

Así mismo, al proponer la automatización para el proceso de tostación del café en lecho fluidizado, se puede tener un gran impacto económico en el sector agrícola del país, potenciando la calidad en la elaboración del café. También tendrá una buena acogida social, pues como se mencionó anteriormente, el proceso de tostación produce un cambio crítico en el sabor, así pues, genera un impacto positivo que mejora el producto final entregado a la población.

2. CAPÍTULO II: OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

- Proponer un diseño de un sistema para la tostación automática de café en lecho Fluidizado.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar una planta de tostación en lecho Fluidizado para cargas de 5 Kg.
- Proponer un sistema de control automático para la planta mediante PLC.
- Proponer un sistema de monitoreo del control y adquisición de datos.

3. CAPÍTULO III: MARCO REFERENCIAL

3.1. DEFINICIONES

3.1.1. Automatización: *“La Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales define la Automática como el estudio de los métodos y procedimientos cuya finalidad es la sustitución del operador humano por un operador artificial en la generación de una tarea física o mental previamente programada.*

Partiendo de esta definición y ciñéndonos al ámbito industrial, puede definirse la Automatización como el estudio y aplicación de la Automática al control de los procesos industriales”. (Romera, Lorite, & Montoro, 1994)

3.1.2. Tostación: Proceso al cual es sometido el café verde con el fin de conseguir un sabor y aroma determinado del fruto, durante éste proceso el grano aumenta de tamaño, disminuye su peso y pierde la humedad. Durante el proceso, el café *“...comienza a tomar un color oscuro por la caramelización de los azúcares conformando los más de 800 compuestos químicos que tiene el café tostado”.* (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2011)¹

3.1.3. Lecho Fluidizado: Proceso de combustión en donde se utiliza un fluido para suspender partículas sólidas dentro de un recipiente llamado lecho con el fin de lograr una mezcla homogénea entre las partículas y el fluido igualando sus características termodinámicas.

¹ Página web oficial de la agremiación del sector cafetero nacional de Colombia.

3.1.4. Infusión: Es cualquier bebida que se obtiene a partir de los frutos, flores y hojas secas de diferentes hierbas y plantas, a las cuales se les vierte agua a punto de hervir y se mezclan en algún recipiente.

3.1.5. Convección: Es uno de los tres tipos de transferencia de calor, su principio de funcionamiento consiste en transportar calor por medio de un fluido.

3.1.6. Curvas de Tostado: Son un factor adicional en el proceso de tostado del café que, si son bien utilizadas, pueden ser críticas en el resultado, *“... son unas variaciones en las temperaturas de tueste del café en el proceso que permite mejorar la calidad final del café tostado.*

Las curvas de tostación se preparan antes de iniciar el proceso y dependen de la calidad del café, el nivel que se pretende alcanzar y el sabor final que se desea obtener.

*No existe una regla única para establecer las curvas de tostación del café por cuanto cada tostador aprecia ciertas curvas de tostación para la elaboración de su café tostado”.*²

3.1.7. SCADA: *“Se da el nombre de SCADA (Supervisory Control And Adcquisition) a cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso y permita, utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso, el control del mismo.*

No se trata de un sistema de control, sino de una utilidad software de monitorización o supervisión, que realiza la tarea de interface entre los niveles de control (PLC) y los de gestión, a un nivel superior.”
(Rodríguez Penin, 2007)

² Sacado de www.caferdelosrios.blogspot.com (El Mejor Café Del Mundo), página web dedicada a presentar artículos acerca del café en general.

3.2. **NORMAS**

A continuación se presentarán algunas de las principales normas por las cuales se regirá el proyecto, ya que hay que tener en cuenta aspectos muy importantes tales como el manejo de alimentos, uso de materiales y procesos para evitar la contaminación ambiental, entre otros.

3.2.1. Decreto 3075 de 1997: En éste decreto se reglamenta en parte la ley 9 de 1979, donde se rige el manejo general de alimentos, en diferentes procedimientos tales como manipulación, preparación, almacenamiento, entre otras, especialmente en el título segundo donde a lo largo de sus capítulos y artículos habla acerca de las buenas prácticas de manufactura en el procesamiento de alimentos y las condiciones de higiene en la fabricación de alimentos.

3.2.2. NORMA ISO 22000: Sistemas de gestión de inocuidad de los alimentos. Requisitos para cualquier organización en la cadena alimentaria.

“La inocuidad de los alimentos está relacionada con la presencia de peligros en los alimentos, en el momento de su consumo (de ingestión por el consumidor). Como la introducción de los peligros puede ocurrir en cualquier etapa de la cadena alimentaria, es esencial realizar un control adecuado a lo largo de ésta. En esta forma, la inocuidad de los alimentos se asegura a través de los esfuerzos combinados de todas las partes que participan en la cadena alimentaria.”³

3.2.3. HACCP: Análisis de peligros y puntos de críticos de control. Sistema de calidad para la industria de alimentos.

³ Norma técnica Colombiana NTC-ISO 22000 Sistemas de gestión de inocuidad de los alimentos.

Proceso sistemático que permite realizar una identificación, evaluación y control de riesgos que puedan ser significativos para la inocuidad de los alimentos, se evalúan factores como la contaminación por contactos físicos o químicos con los instrumentos utilizados en el proceso, tratamiento de los alimentos, entre otros.

3.3. ANTECEDENTES

Luego de ser tostado y molido, el café es usado para preparar una bebida, siendo esta una de las infusiones más conocidas y consumidas del mundo. Desde sus orígenes, que se remontan a la antigua Arabia, hasta la actualidad, se ha tratado de mejorar las características de dicha infusión, buscando la manera de aprovechar al máximo todas las propiedades que contiene el fruto.

A finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, en época de la Revolución Industrial se produjo la industrialización del café, la cual iba a marcar un gran avance en el procesamiento del producto.

“... en el contexto de la Revolución Industrial, y en especial en el siglo XIX, se generaron los mayores avances en el procesamiento del café debido al auge de métodos mecánicos de tueste, molienda y preparación. A principios del siglo XX se desarrollaron también métodos de conservación y empaque. Entre los múltiples inventos patentados en la época se registran, por ejemplo, el café soluble y el empaque al vacío para café. La industrialización del café había comenzado. Estos avances permitieron que se desarrollara la expansión de su consumo a lo largo del siglo XX. Más recientemente, y gracias al desarrollo del segmento de tiendas de café en Estados Unidos, el consumo de café retomó uno de sus más importantes atributos, el de ser una bebida social, posicionándola entre los consumidores de las nuevas generaciones.” (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2011)

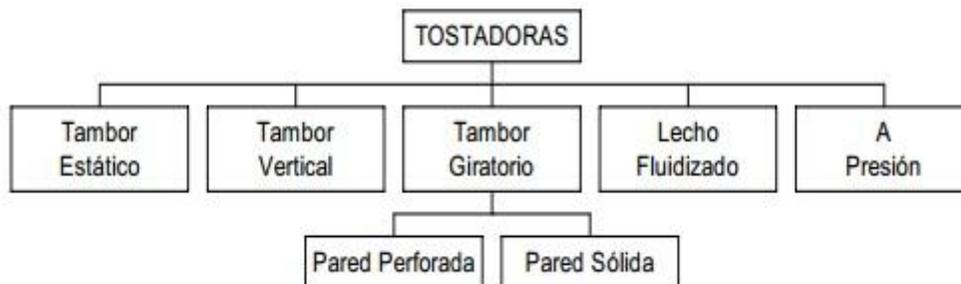
Actualmente,

“Los procesos de industrialización del café se desarrollan en todos los continentes, y en general tienden a desarrollarse cerca de los mercados de consumo final del producto. Las diferentes técnicas de industrialización que se aplican pueden llevarse a cabo de la misma forma por ejemplo en Italia, Nueva Zelanda o Colombia, en la medida en que se apliquen los mismos conceptos y procesos.

En el campo de la industrialización del café existen diferentes etapas. Una porción del café consumido en el mundo se somete a procesos de descafeinación. Se podría aseverar que todo el café que se consume en el mundo ha pasado por el proceso de tostación, y de molienda y extracción. Es necesario partir de café tostado y molido para la producción de café soluble, ya sea atomizado o liofilizado.” (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2011)

Siendo tan importante el proceso de tostación para la fabricación del producto final, se han desarrollado diferentes técnicas para realizarlo,

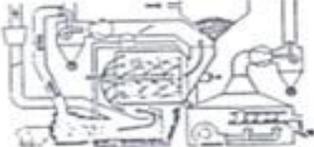
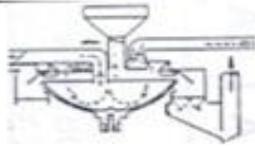
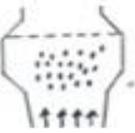
Tabla 3. Tipos de Tostadoras



Fuente: (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2005)

A continuación se explica mediante una tabla el funcionamiento básico de cada uno de los tipos de tostadoras, mostrando principalmente los porcentajes de transferencia de calor que tiene cada máquina.

Tabla 4. Transferencia de calor en tostadoras

DENOMINACIÓN DE LA TOSTADORA	DISTRIBUCIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR		
	Radiación	Convección	Conducción
Tostador rotatorio de calentamiento directo hasta 1.500 Kg/h. 	20%	40%	40%
Tostador rotatorio con calentamiento indirecto, recirculación y post-quemador catalítico (hasta 4000 Kg/h). 	10%	60%	30%
Tostador centrífugo con recirculación y post-quemador catalítico. 	-	80%	20%
Tostador de lecho fluido con aire caliente 	-	100%	-
Tostador con cilindro fijo y paletas giratorias. 	-	80%	20%

Fuente: (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2005)

3.3.1. Tostadora KAFFEMAT: La industria ha tenido cierta inclinación por la producción de máquinas de tostación en lecho Fluidizado, un claro ejemplo de esto es el producto distribuido por la empresa Colombiana Café y Equipos Ltda. Llamado Tostadora kaffemat en lecho fluido⁴, el cual consta de tres partes principales, la parte superior la cual funciona como tapa y porta ciscos, además posee un indicador de temperatura (1); el recipiente donde se realiza el proceso de tostación, construido en vidrio (2) y la base de la máquina donde se encuentra el tablero de control (3).

Figura 1. Tostadora kaffemat en lecho fluido



Fuente: Café y Equipos Ltda.

⁴ Información obtenida de la página web oficial de la empresa Café y Equipos Ltda.
www.cafeyequipos.com.co

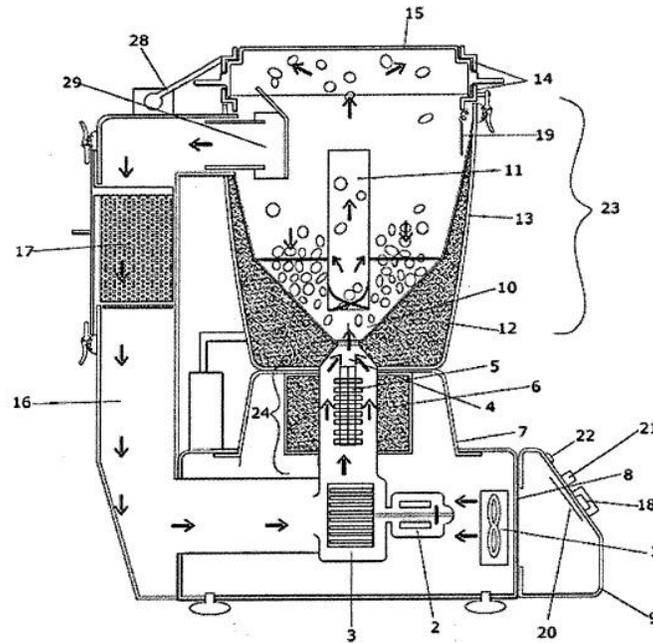
Para realizar el proceso de tostado, se introducen 90 gramos de café en el recipiente de tostación, luego se enciende el dispositivo para que inicie el proceso, de acuerdo a la variación en el flujo de aire y la temperatura se varían los tiempos de tostado que por lo general oscilan entre 8 y 10 minutos. Éstas variables son utilizadas para elaborar las curvas de tostación. La máquina trabaja con un suministro eléctrico de 110 Voltios a 1500 Watts y 15 Amperios.

3.3.2. Patente WO 136632 A2: *“Se indica como nueva invención industrial un tostador de café de granos crudos o en verde, tipo electrodoméstico con capacidad de 1 kg cada 20 minutos, funciona en su totalidad con energía eléctrica a 110 o 220 volts, que evita el uso de gas LP o cualquier otro combustible fósil que emita directamente humos o emanaciones de gases NOx, SOx o CO2.*

Este sistema está caracterizado por la aplicación combinada de sistemas aerodinámicos simples que convierten a esta invención a una alta eficiencia en el uso de la corriente eléctrica y la energía calorífica y con la cero emisión de humo blanco, negro o tizné.

... Se indica que todo este sistema al no usar gas lp u cualquier otro derivado para combustión, permite una producción libre de humo u otro derivado quemado, nocivo para el consumo de alimentos y a su vez permite tostados uniformes que conservan naturalmente todas las altas propiedades de calidad en el tueste, color y sabor”. (Alfaro Castillo, 2011)

Figura 2. Diseño de tostadora de la patente WO 136632 A2



Fuente: Patente WO 136632 A2

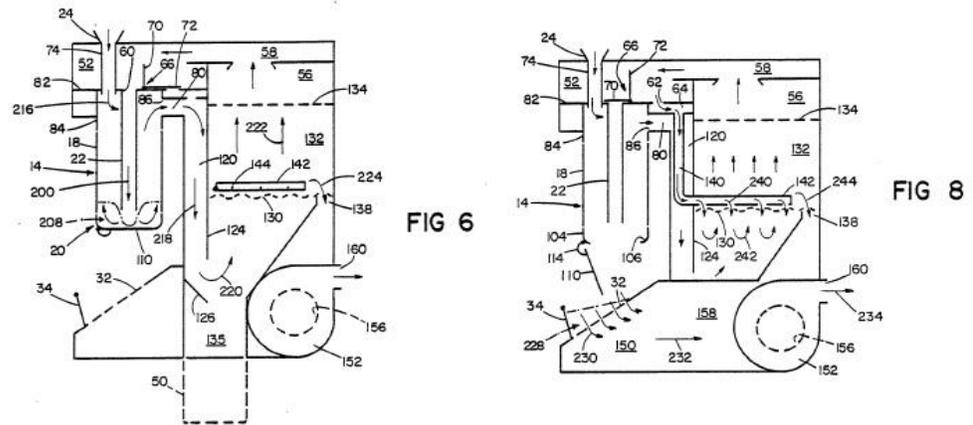
3.3.3. Patente WO 8401271: "... El aparato incluye una cámara de tostado con base y porciones de pared cilíndrica con relaciones fijas entre sí. Dispuesto coaxialmente dentro de la cámara hay un tubo que se extiende hacia abajo el cual tiene un orificio espaciado en la superficie de la base, y una salida de escape que está en la parte superior de la cámara.

Una corriente de gas de torrefacción caliente se hace fluir hacia abajo a través del tubo central a alta velocidad de impacto sobre la superficie de la base y lo desvía radialmente hacia afuera luego fluye hacia arriba a través de la salida de escape en la parte superior de la cámara. Esta columna de gas de calcinación produce un patrón de circulación toroidal de granos de café fluidizado con una rápida y uniforme tostación del café verde, en una disposición simple y compacto en el que los

parámetros de tostar (tales como la temperatura de fluido y la duración del ciclo) se pueden ajustar fácilmente dependiendo del grado de tostación deseado.

La cámara tiene preferiblemente un diámetro que es aproximadamente de tres a seis veces el diámetro del tubo central, la cámara en una realización particular tiene un diámetro interno de alrededor de veinte y dos centímetros y el tubo tiene un diámetro interior de unos cinco centímetros.” (Brown, E, & A, 1984)

Figura 3. Diseño de tostadora de la patente WO 8401271



Fuente: Patente WO 8401271

3.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE ANTECEDENTES

Tabla 5. Comparación de antecedentes

EQUIPO	TIEMPO DE TOSTADO	TEMPERATURA UTILIZADA (°C)	FLUIDO UTILIZADO	CAPACIDAD	SUMINISTRO ELÉCTRICO
Tostadora KAFFEMAT	8 – 10 minutos	ALREDEDOR DE 160 °C	AIRE	< 90 gramos	110V - 1500 W 15A
PATENTE WO 136632 A2	20 minutos	-	AIRE	< 1 kg	110V o 220V
PATENTE WO 1984001271 A1	3 minutos aprox.	250 °C – 315°C	AIRE + GASES CALCINANTES	< 2 kg	-

Fuente: El autor

3.5. ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN

Para cumplir con la carga de 5 kg la tostadora tendrá unas características críticas para poder cumplir con el tostado de toda la cantidad, principalmente en el diseño mecánico de la máquina el cual se complementa con el flujo del aire caliente encargado de tostar el café, para ellos se tienen los anteriores referentes bibliográficos para iniciar con bases sólidas.

Analizando la tabla anterior se tienen las primeras nociones de funcionamiento de la máquina, teniendo una oscilación de la temperatura de funcionamiento de la máquina entre 160°C y 315°C, además el único fluido que se utilizará en el proceso será aire proporcionado por una turbina, ya que al utilizar otros gases que agilicen el proceso de tostación se puede afectar la calidad y las propiedades del café. Se tendrá especial cuidado en la utilización de materiales que no tengan ningún tipo de contaminación ambiental, además al utilizar solamente aire como agente tostador, se evita la emanación de vapores que afecten la salud de la persona que opera la máquina.

4. CAPÍTULO IV: DISEÑO METODOLÓGICO

Objetivo	Actividad	Procedimiento	Indicador/Evidencia
Diseñar una planta de tostación en lecho fluidizado para cargas de 5 kg.	Diseño Mecánico	<ul style="list-style-type: none"> - Determinar las dimensiones, accesorios y materiales - Realizar diseño en SolidWorks 	<ul style="list-style-type: none"> - Lista de materiales - Planos 2D - Planos 3D
	Diseño del flujo de aire y temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar Simulación en CFD 	<ul style="list-style-type: none"> - Simulación - Conclusiones
Proponer un sistema de control automático para la planta mediante PLC.	Determinar entradas y salidas análogas y digitales del sistema	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar circuito electrónico - Programar PLC 	<ul style="list-style-type: none"> - Entregar planos eléctricos - Entrega del Programa
	Sensórica y Acondicionamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar y determinar los tipos de sensores dentro del proceso, realizar el acondicionamiento de señales provenientes de los sensores 	<ul style="list-style-type: none"> - Listado de materiales electrónicos con su respectivo acondicionamiento
Proponer un sistema de monitoreo del control y adquisición de datos.	Enlazar PLC a un sistema SCADA	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar el programa SCADA encargado del monitoreo y adquisición de datos de todo el proceso en Indusoft 	<ul style="list-style-type: none"> - Entrega Interfaz y programa de monitoreo del sistema

5. CAPÍTULO V: DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1. DISEÑO MECÁNICO

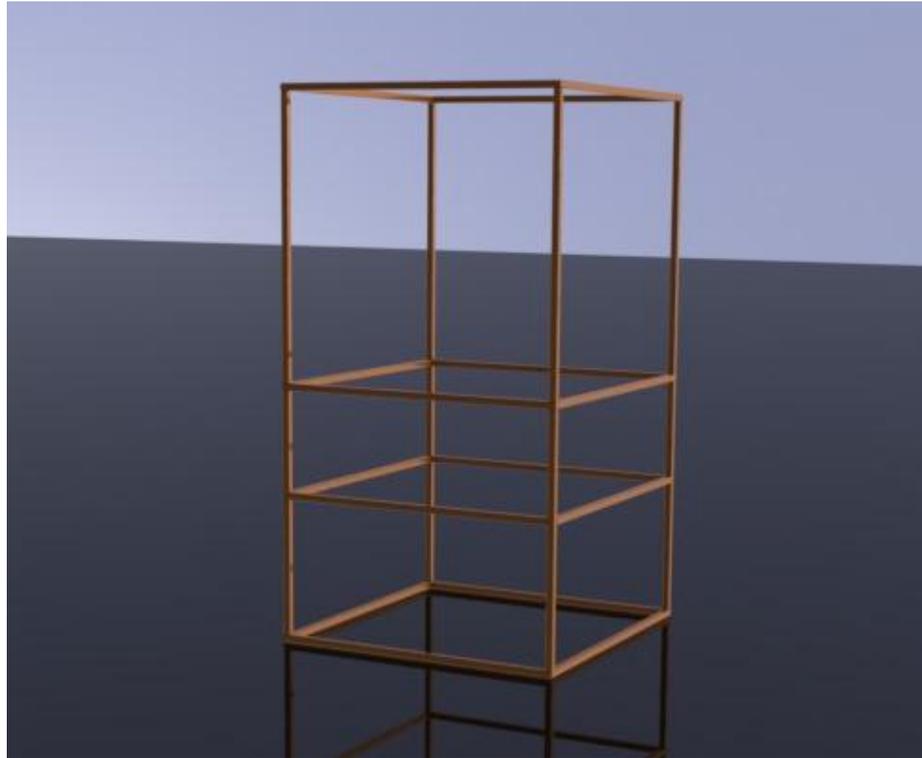
5.1.1. Dimensiones y materiales:

La máquina tostadora de café está contenida en una estructura tipo chasis, la cual consta de tres pisos separados entre sí por placas de acero inoxidable, siendo el tercer piso el de la parte superior, cada piso está diseñado para contener lo mencionado a continuación:

- Primer piso: Se ubica el generador de aire con los dos tubos de entrada y salida.
- Segundo piso: Se localiza la válvula selectora de entrada y salida de aire con sus respectivas tuberías, al igual que la resistencia donde se produce el calentamiento del aire, también se encuentran los circuitos incluyendo el PLC.
- Tercer piso: Es el piso donde se localiza el área de visualización del proceso de tostado, el lecho donde se encuentra el café, la tolva por donde se debe ingresar el fruto, el separador de residuos y toda la infraestructura física para el proceso de tostado en general.

La estructura o chasis tiene las siguientes dimensiones: (1520x820x620) mm, además va a estar apoyada sobre cuatro rodachinas que facilitarán su desplazamiento, a continuación se puede observar la forma del chasis:

Figura 4. Chasis de la máquina



Fuente: El autor

Por otro lado, de acuerdo a la norma ISO 22000 del 2005, todos los materiales que están en contacto con la elaboración y procesamiento de alimentos deben ser inoxidable. Por esto, todos los componentes mecánicos presentes en el sistema son de acero inoxidable, excepto el lecho de tostado en su parte transparente que será de vidrio, un material que no tiene ningún efecto sobre los alimentos y las piezas que no están en contacto con el aire o el café.

El acero inoxidable elegido fue el 304, *“Comúnmente llamado el acero inoxidable “todo propósito”, tiene propiedades adecuadas para gran cantidad de aplicaciones. Se recomienda para construcciones ligeras soldadas en las que el recocido no es práctico o posible, pero que*

requieren buena resistencia a la corrosión. Otras propiedades del tipo 304 son su servicio satisfactorio a altas temperaturas (800° a 900°C) y buenas propiedades mecánicas.

El tipo 304 contiene bajo carbono con lo que se evita la precipitación de carburos durante períodos prolongados de alta temperatura; tiene un contenido de carbono de 0.08% máximo por lo que se le considera un material satisfactorio para la mayoría de las aplicaciones con soldadura.” (SOCODA, 2013)

5.1.2. Accesorios:

- 5.1.2.1. Lecho de tostado: Es el lugar más importante de la máquina, ya que en este punto se produce el contacto del café con el aire caliente que pasó por la resistencia eléctrica, es decir, se realiza la tostación. El lecho de tostado está compuesto por tres piezas. Además, el lecho de tostado debe contener una forma adecuada para facilitar el flujo del aire y el contacto de este con la totalidad de los granos, Cabe anotar que el material del lecho de tostado es transparente y muy resistente a altas temperaturas para poder visualizar el nivel de tostado que tiene el café. Para su diseño se utilizó una forma cilíndrica apoyada sobre una base cónica para facilitar el flujo del aire a través del café, además en la parte superior también se cuenta con una forma cónica para que el café pueda entrar y salir fácilmente.

El lecho va a contar con una altura efectiva de 34,5 cm aproximadamente y un diámetro interno de 14.7 cm por donde fluirá el aire y provocará que el café se revuelva constantemente para realizar un proceso de tostación uniforme.

Figura 5. Lecho de tostado

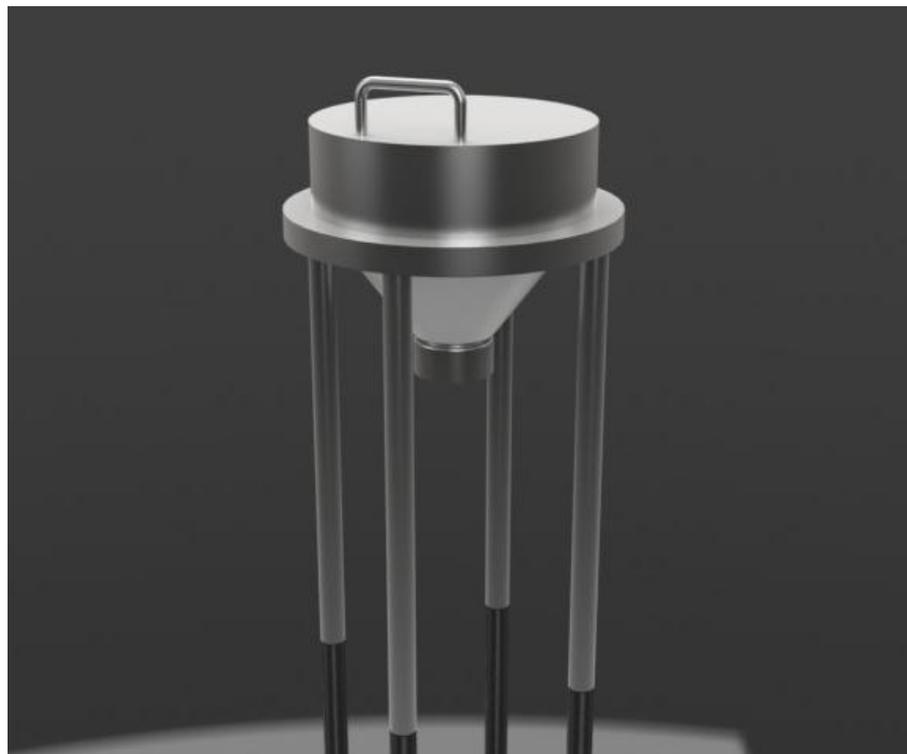


Fuente: El autor

- 5.1.2.2. Conductos de transporte: A través de estos se realiza el transporte del café y del aire para llevar a cabo el proceso, entre estos y la válvula selectora o válvula principal se hace la combinación para que en dos posiciones se pueda seleccionar succionar el café para llevarlo desde la tolva hasta el lecho de tostado o el proceso de expulsión con el que se tuesta el café y se envía hacia la puerta de salida cuando el proceso ha finalizado.

- 5.1.2.3. Tolva: Punto de partida del café, en este espacio se debe ingresar el fruto que se desea tostar, está conectado por medio de una tubería al lecho, en lugar de caer directamente a él, los granos serán llevados por un transporte “neumático”, después cuando el proceso de tostación ha terminado, por este mismo conducto regresa el café al punto de salida que se mencionará a continuación.

Figura 6. Tolva



Fuente: El autor

- 5.1.2.4. Puerta de salida del café: Luego de que todo el proceso de tostación ha finalizado, el café debe llegar a un lugar donde pueda ser retirado de la máquina con facilidad por parte del operador que la está utilizando, la siguiente figura es la propuesta de diseño para este elemento.

Figura 7. Salida del café tostado

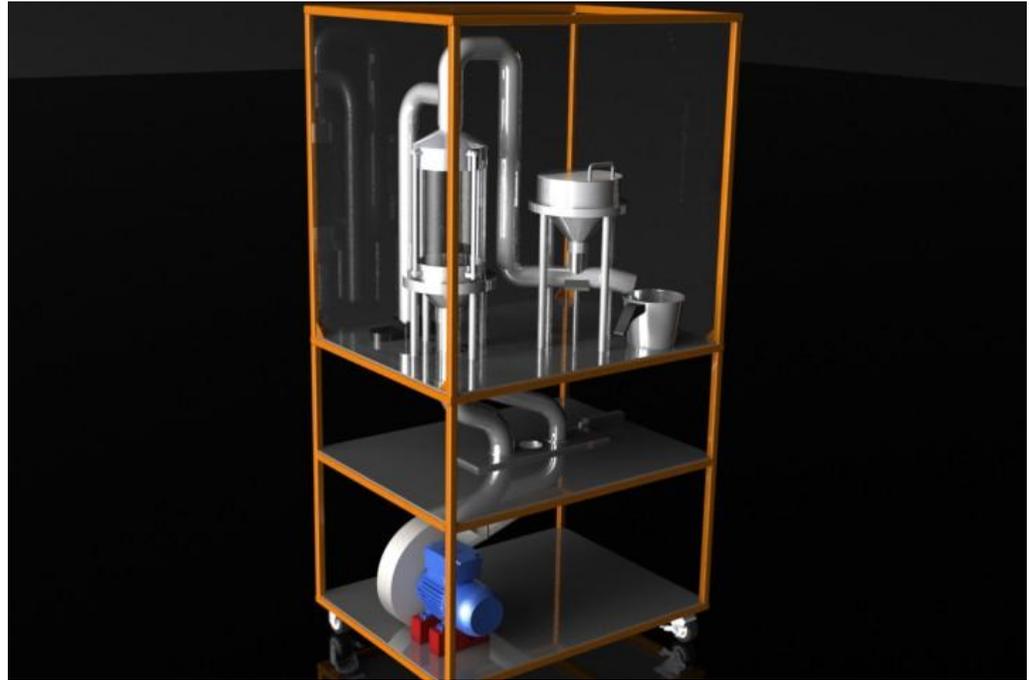


Fuente: El autor

5.1.3. Apariencia final de la máquina:

Luego de realizar el ensamble de cada una de las piezas y accesorios propuestos para el diseño de la máquina tostadora de café en lecho Fluidizado se obtuvo el siguiente resultado.

Figura 8. Diseño final



Fuente: El autor

5.2. **SENSORES Y ACONDICIONAMIENTO**

Es necesario conocer cuáles son las variables que estarán presentes en el sistema, los elementos y actuadores que van a cumplir la tarea de medir, acondicionar y controlar, respectivamente, para una correcta realización del tueste del grano.

5.2.1. Variables del sistema:

Para poder ejecutar algún tipo de control o procedimiento en alguna máquina es indispensable saber cuáles son los fenómenos que de alguna u otra manera se desean manejar o modificar, dentro del

proceso de la tostación de café en lecho Fluidizado, se encuentran las siguientes:

- 5.2.1.1. Temperatura y Tiempo: Como es un proceso de tostación, indudablemente la temperatura y el tiempo son las variables principales a medir y controlar dentro de este sistema. De acuerdo a lo mencionado inicialmente, el sabor que se desea destacar o resaltar en el grano para la infusión final, depende únicamente de la temperatura a la que esté expuesto el fruto y el tiempo dentro del cual se produce este contacto (Granos de café con aire caliente), por ende, el tener un buen manejo de estos fenómenos se convierte en un punto estratégico para lograr un buen resultado.

Es importante indicar que la temperatura no es constante a lo largo de todo el proceso y en el momento de obtener el nivel de tueste deseado. Para la propuesta de este sistema se eligió trabajar con una resistencia que oscila entre los 200°C y los 230°C durante un período de tiempo que, como ya se explicó, depende del nivel de tueste requerido.

- 5.2.1.2. Flujo de aire: A parte del tiempo y la temperatura, dentro de un proceso de lecho Fluidizado y sobre todo en este caso, un proceso de tostación, el fluido, luego de calentarse, es el que se encarga de realizar la tarea de transmitir la temperatura al café y hacer que éste se revuelque constantemente dentro de la cámara para obtener un tostado homogéneo. Además, en este proceso el aire no sólo se encarga de tostar el café, sino también tiene la labor de llevarlo al lecho para iniciar el proceso y posteriormente, cuando el café esta tostado, regresarlo al punto de ingreso para que el fruto pueda ser retirado.

Ahora que ya se conocen las variables presentes en el sistema, es necesario citar los actuadores que van a realizar la operación de control sobre éstas, ellos son:

5.2.2. Actuadores:

- 5.2.2.1. Generador de aire: Para la tarea de generar el aire encargado de tostar el café dentro del lecho se utilizó un ventilador centrífugo con un motor de 370 W con un flujo máximo de 36L/min que funciona a 3400 rev/min, su alimentación es de 110V o 220V a 60Hz. Para su funcionamiento, el motor hace girar el componente que está interno a la carcasa del generador y debido a su forma y geometría de construcción, éste absorbe aire por la parte lateral donde está el agujero más grande con una rejilla y luego lo expulsa por la parte superior a una mayor velocidad.

Figura 9. Generador de aire



Fuente: El autor

5.2.2.2. Resistencia eléctrica: La resistencia juega un papel muy importante en el sistema, pues como ya se conoce, la tostación es un proceso netamente termodinámico, por ende, si se desea tener éxito en la tostación de café, la resistencia eléctrica encargada de transmitir el calor al aire que fluye a través de ella, debe ser la adecuada.

Dentro de los numerosos tipos de resistencias que se encuentran en el mercado, ya sea para un proceso industrial, químico o cualquier otro, existe un tipo de resistencias adecuado para este proceso, las resistencias aleteadas. Este tipo de resistencias cumple con lo que se requiere hacer para la tostación en lecho Fluidizado, están conformadas por una varilla (generalmente en U) que atraviesa una gran cantidad de placas o aletas. Su funcionamiento es muy sencillo pero efectivo, el aire que debe fluir a través de la resistencia se tropieza con las aletas que están a una elevada temperatura dependiendo de lo requerido, produciendo así, la transferencia térmica necesaria hacia el aire que debe realizar la tostación.

“Su función consiste en generar corrientes de aire o gas a temperatura controlada o en mantener los ambientes a una determinada temperatura. Su diseño versátil hace que puedan instalarse directamente dentro de canales de ventilación o en instalaciones de acondicionamiento para el calentamiento directo del aire circulante” (EVERWATT, 2010)

Sus aplicaciones más comunes son:

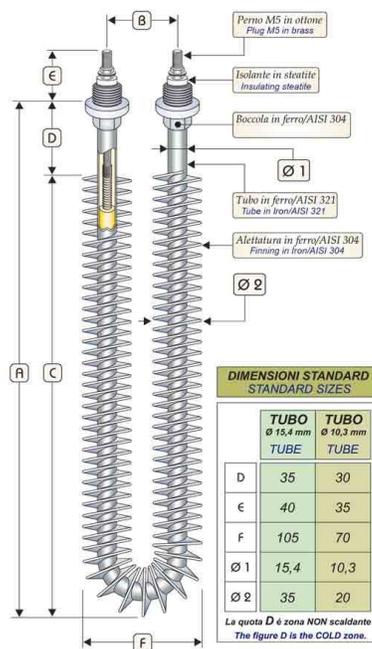
“Calentamiento del aire en convección forzada y natural, instalaciones de acondicionamiento de aire.

Hornos industriales, hornos para panaderías, hornos para uso doméstico, cámaras calentadoras, hornos de secado, instalaciones de barnizado, centrifugas, compresores.

Impresoras flexográficas, máquinas para el embalaje y el envasado, equipos de evacuación de humos, equipos de secado del aire.

Humidificadores y deshumidificadores, saunas, mostradores calientes para restaurantes, termoconvectores portátiles, fancoils, equipos de zootecnia y cortinas de aire.” (EVERWATT, 2010)

Figura 10. Esquema resistencia eléctrica aleteada



Fuente: (EVERWATT, 2010)

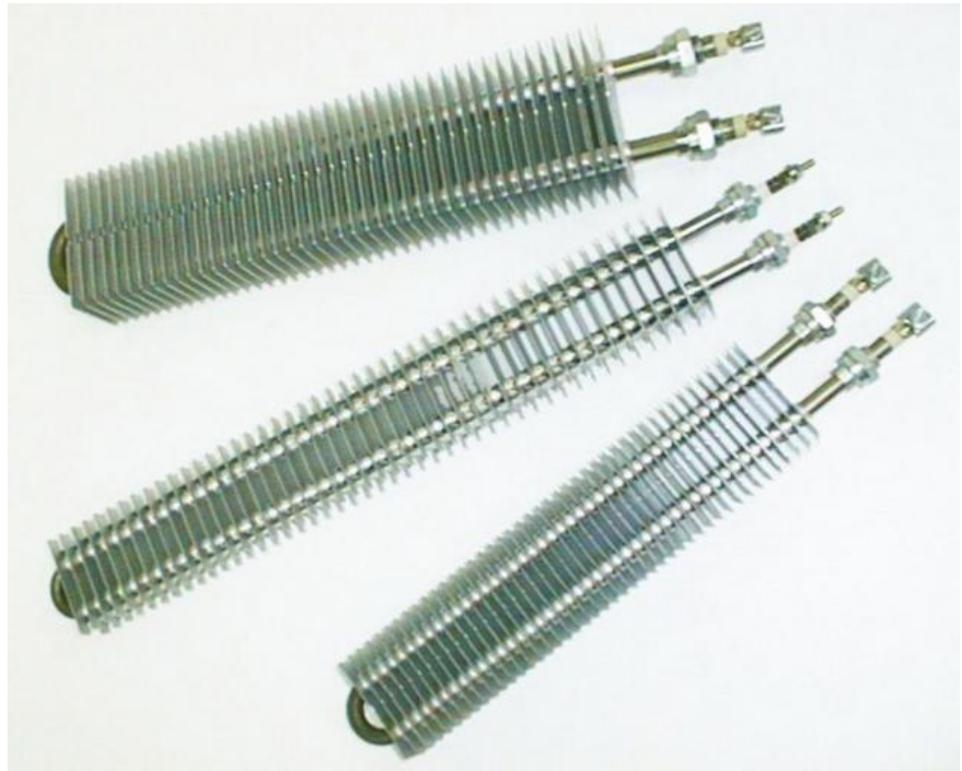
Figura 11. Referencias Everwatt para resistencias aleateadas

Tubo inox AISI 321 Ø 10,3 - Boccole (3/8" Gas) e alettatura inox AISI 304 Tube in Inox AISI 321 Ø 10,3 mm - Bushes (3/8" Gas) and finning in Inox AISI 304						
Codice articolo Item code	Watt Watt	A	B	C	W/cm ² W/cm ²	
◀ EW.900.231	850	190	135	160	4,23	
◀ EW.900.232	1200	250	135	220	4,31	
◀ EW.900.233	1500	190	135	160	7,48	
◀ EW.900.234	1800	240	135	210	6,62	
◀ EW.900.235	2000	290	135	260	6,06	

Fuente: (EVERWATT, 2010)

La siguiente figura muestra otro modelo de resistencia aleateada

Figura 12. Resistencia aleateada

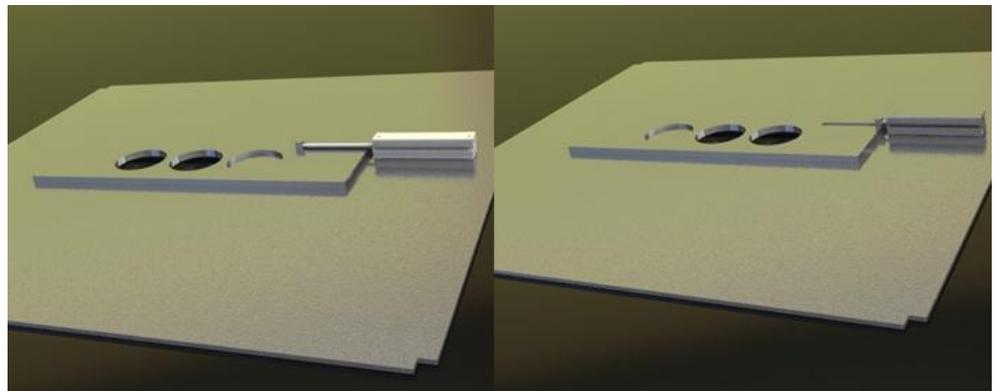


Fuente: El autor

- 5.2.2.3. Válvula principal: Es una válvula de dos posiciones, en donde, dependiendo de la posición, se hará fluir el aire en dos sentidos, el primer sentido denominado vacío y el segundo denominado expulsión.

Al inicio y al final del proceso de tostación, el generador de aire debe succionar y expulsar aire dependiendo de la etapa en la que esté el proceso, por lo tanto, por medio de la válvula se realiza la selección de los canales por los cuales circulará el aire proveniente del generador, la válvula está ubicada en la placa separadora de los pisos uno y dos mencionados anteriormente. La placa que desliza sobre la otra será empujada por un cilindro doble efecto como se observa en la siguiente figura.

Figura 13. Válvula principal



Fuente: El autor

- 5.2.2.4. Variador de Velocidad: Se decidió incluir el variador dentro de esta sección, pues es el que tiene que manipular la velocidad a la cual gira el motor del generador, esto se utiliza para que en el proceso de tostación, el motor no gire a máxima velocidad y saque los granos del lecho de tostado, por lo tanto, en el instante en que se esté

realizando la tostación, el motor del generador funcionará a una velocidad media pero cuando finalice el tueste, aumentará su velocidad para enviar los granos hasta la puerta de salida y al recipiente final.

Para lo anterior se eligió un variador de velocidad PowerFlex40 de Allen-Bradley el cual se puede observar a continuación:

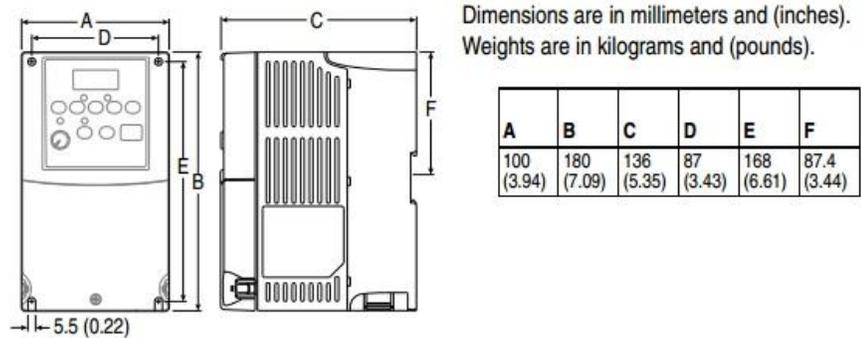
Figura 14. Variador de Velocidad PowerFlex40



Fuente: ab.rockwellautomation.com

Las dimensiones generales del variador de velocidad que se deben tener en cuenta son:

Figura 15. Dimensiones Variador de velocidad



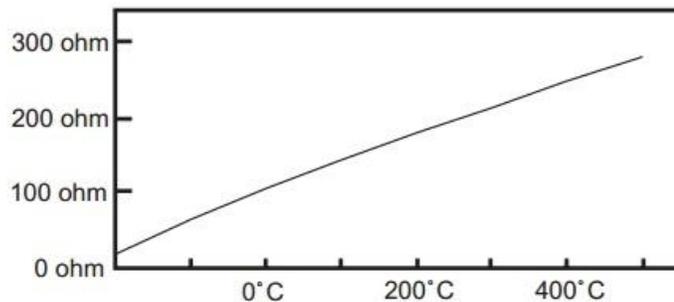
Fuente: ab.rockwellautomation.com

Luego de haber mencionado los actuadores que están dentro del proceso, se prosigue a mencionar los sensores presentes dentro del mismo.

5.2.3. Sensores:

- 5.2.3.1. Sensor de temperatura: Para medir la temperatura dentro del lecho de tostación se propone utilizar una PT100, sensor utilizado ampliamente en la industria. Su principio se basa esencialmente en presentar una resistencia dependiendo directamente de la temperatura, entregando una resistencia de 100 ohm a 0°C y aumentándola a medida que aumenta la temperatura.

Figura 16. Respuesta de la PT100



Fuente: www.arian.cl

Una gran ventaja de utilizar este tipo de sensor, como se mencionó anteriormente, es que el PLC elegido para realizar las acciones de control del proceso tiene entradas directas de PT100 en su módulo análogo, por lo tanto no es necesario utilizar otro tipo de control de temperatura o instrumentación para realizar la medida.

“Los Pt100 pueden fácilmente entregar precisiones de una décima de grado con la ventaja que la Pt100 no se descompone gradualmente entregando lecturas erróneas, si no que normalmente se abre, con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediatamente la falla del sensor y da aviso.”⁵

Figura 17. PT100



Fuente: www.sourcingmap.com

⁵ www.arian.cl – Sitio web que muestra gran experiencia y conocimiento en sensórica.

- 5.2.3.2. Sensor magnético: *“Los detectores de proximidad de Festo están especialmente adaptados a los actuadores de la marca. Detectan el campo magnético de los imanes permanentes integrados al émbolo del cilindro y así indican también indirectamente la posición del vástago.”* (Festo)

De acuerdo De acuerdo a lo anterior, el cilindro encargado de realizar el trabajo del desplazamiento de la válvula contará con dos sensores magnéticos a su inicio y final de carrera para indicar al controlador general del proceso (PLC) que ha llegado a la posición necesitada.

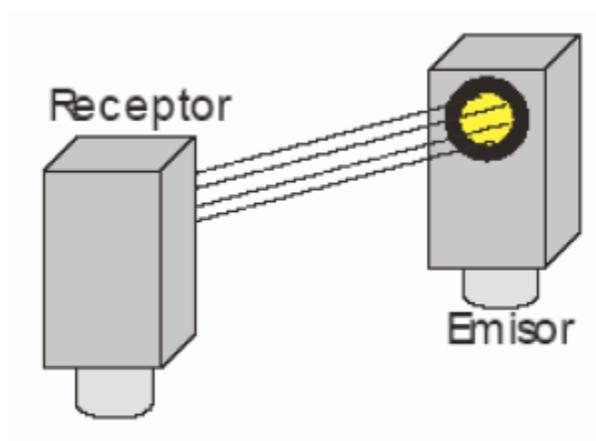
Figura 18. Sensor magnético



Fuente: www.festo.com.co

- 5.2.3.3. Sensor óptico: Su objetivo es identificar en qué momento hay café dentro de la tolva para iniciar toda la tostación. Para ello se eligió un sensor de barrera que está conformado por dos elementos, un emisor y un receptor donde en todo momento el emisor envía un haz de luz hacia el receptor. Cuando se corte el haz de luz debido a la presencia de café, es decir, que el receptor no sufra alguna excitación, se enviará una señal que posteriormente será procesada en el PLC.

Figura 19. Sensor óptico



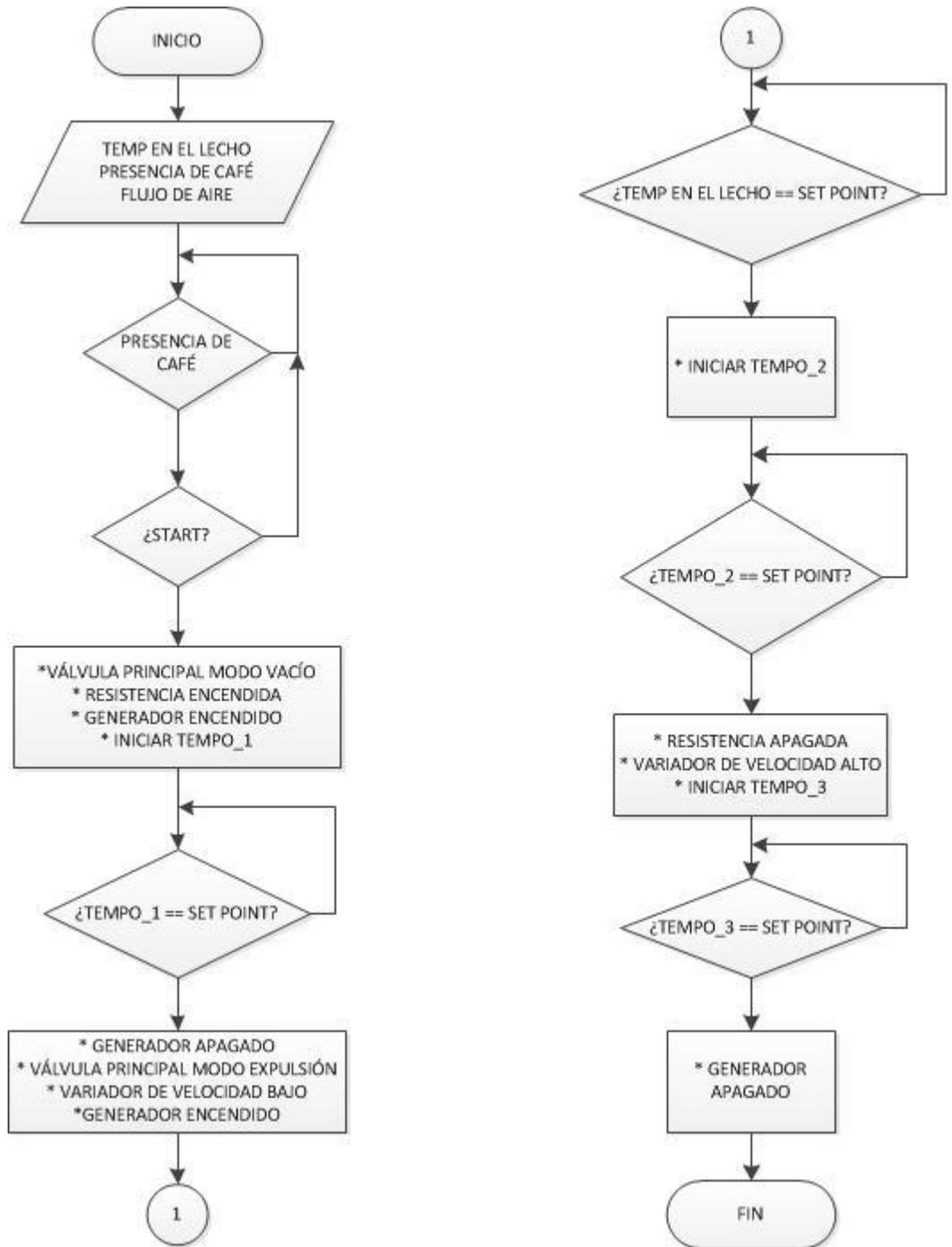
Fuente: (Canto Q, 2003)

5.3. PROGRAMACIÓN Y ELECTRÓNICA

5.3.1. Programación de PLC:

- 5.3.1.1. Diagrama de flujo: Tener un esquema gráfico del algoritmo que se desea realizar para el funcionamiento general de la máquina es una gran herramienta para tener en cuenta antes de iniciar el proceso de programación, es el espacio donde se plasma el procedimiento que va a seguir el sistema a lo largo de todo su funcionamiento.

Figura 20. Diagrama de flujo



Fuente: El autor

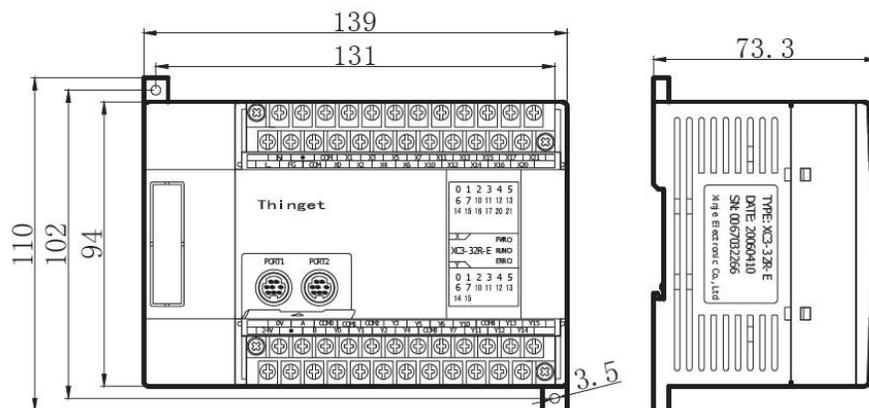
5.3.1.2. Referencia de PLC: El PLC con el cual se realizó la propuesta de programación es el THINGET XC3-32R-C, referencia que traduce su referencia, dice que el PLC tiene 32 entradas/salidas y que además las salidas son de relé, su alimentación es de 24VDC. Las demás especificaciones se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6. Especificaciones técnicas PLC THINGET XC3-32R-C

ÍTEM		ESPECIFICACIÓN
		24/32 conexiones
Formato de ejecución del programa		Formato de escaneo continuo - Formato de escaneado de tiempo
Formato de programación		Texto estructurado - Ladder
Velocidad de trabajo		0,5 μ S
Retención por corte de energía		Uso de la Flash ROM y la batería Li
Capacidad de programación		8000 pasos
Entradas/ Salidas		18 entradas / 14 salidas
Bobinas internas (M)		8512
Temporizador (T)	Número de temporizadores	620
	Especificaciones	Temporizador de 100 mS : Ajuste de tiempo 0,1 ~ 3276,7 segundos
		Temporizador de 10 mS : Ajuste de tiempo 0,1 ~ 327,67 segundos
		Temporizador de 10 mS : Ajuste de tiempo 0,1 ~ 3276,7 segundos
Contador	Número de contadores	635
	Especificaciones	Contador de 16 bits de resolución: Ajuste de valor K0-32767
		Contador de 32 bits de resolución: Ajuste de valor K0-2147483647
Registro de datos		8512 palabras

Fuente: (Xinje Electronic Co,. Ltd.)

Figura 21. Dimensiones PLC



Fuente: (Xinje Electronic Co., Ltd.)

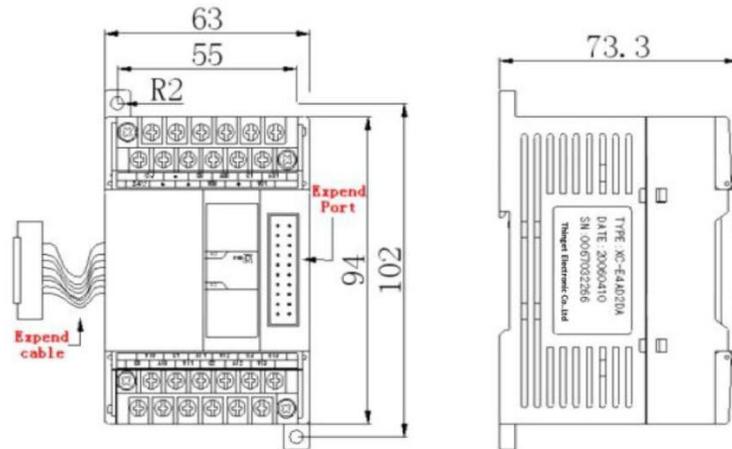
Adicionalmente, se cuenta con una expansión del PLC cuya referencia es THINGET XC-E3AD4PT2DA, módulo que será utilizado para medir la temperatura ya que tiene entradas directas de PT100, sensor que será usado para la medición de la temperatura, por lo tanto facilita la tarea del control de esta variable. Sus características se podrán encontrar en la siguiente tabla:

Tabla 7. Especificaciones módulo análogo

ÍTEM	Entrada de corriente análoga (AD)	Temperatura de entrada (PT)	Salida de voltaje análogo (DA)
Entrada análoga	DC 0~ 20mA, 4~20mA	PT100	-
Rango de medición de temperatura	-	T -100/350°C	-
Rango máximo de salida	DC 0~40mA		
Rango de salida análoga	-	-	DC 0~5V, 0~10V Carga de resistencias externa (2KΩ~1MΩ)
Rango de entrada digital	-		12 bits de resolución (0~4095)
Rango de salida digital	14 bits de resolución (0~16383)	T-1000~3500	-
Distinguir	1/16383(Bit); El valor de la conversión es almacenado en el PLC (14 Bit) en forma Hexadecimal	0.1°C	1/4095(12Bit); El valor de la conversión es almacenado en el PLC(12Bit) en forma Hexadecimal
Valor de salida PID	0~K4095		-
Precisión general	0.8%	±0.5°C	0.8%
Velocidad de conversión	20ms por canal		3ms por canal
Voltaje de alimentación para uso análogo	DC24V±10%, 100mA		
Dimensiones	63mmx102mmx73.3mm		

Fuente: (Xinje Electronic Co.,. Ltd.)

Figura 22. Dimensiones del módulo análogo



Fuente: (Xinje Electronic Co., Ltd.)

- 5.3.1.3. Código de programación: Finalmente, luego de tener el diagrama de flujo que indica cómo debe funcionar el sistema y el PLC encargado de controlarlo, se procede a realizar el código que va a gobernar el funcionamiento del sistema.

Para la propuesta de la programación se realizó una partición del proceso en 3 fragmentos como se muestra a continuación:

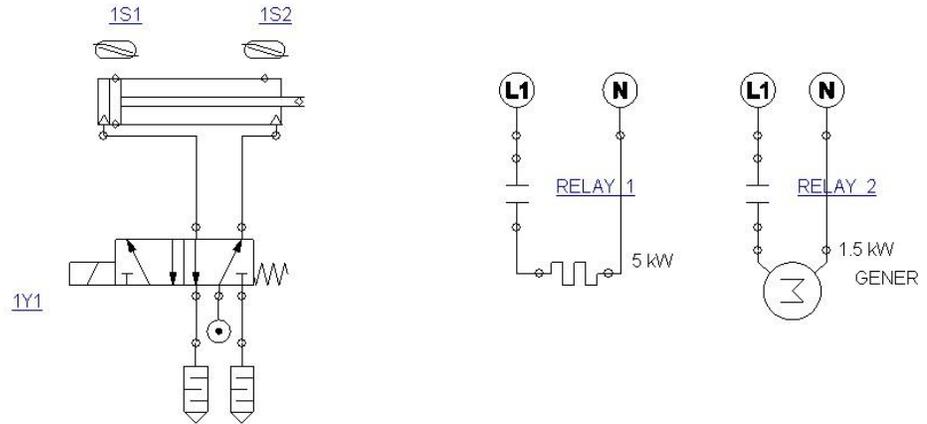
- Encendido y puesta en marcha: En este proceso la persona que desea tostar el café debe encender la máquina con un pulsador, posteriormente debe ingresar el café a tostar por la tolva destinada para esto y luego debe oprimir otro pulsador para indicarle al sistema que está listo para iniciar el proceso.
- En funcionamiento: Luego de que el usuario ha oprimido el botón de arranque, el generador de aire en conjunto con la válvula empiezan a actuar en modo vacío para transportar el café hasta el lecho de tostación, lo anterior se realiza durante un tiempo

determinado tratando de que la totalidad del café ingresado llegue hasta el lecho; de forma simultánea, se enciende la resistencia eléctrica encargada de calentar el aire para prepararla hasta alcanzar la temperatura deseada. Luego de esto, la válvula principal se pone en modo expulsión y se vuelve a encender el generador controlado a una baja velocidad por el variador para que el aire entre en contacto con la resistencia y posteriormente con el café. Durante todo el proceso, la PT100 va a estar vigilando que la temperatura si sea la adecuada para así tener una tostación de alta calidad.

- Fin del proceso: Más adelante, cuando se ha cumplido el tiempo de tostación, la resistencia se apaga y el variador incrementa la velocidad de funcionamiento del generador, de modo que expulse el café hacia la puerta de salida para que sea retirado, éste último paso es bien aprovechado ya que al enviar el café con aire a gran velocidad y con la resistencia apagada, se realiza el proceso de enfriado que se debe realizar al café luego de finalizar la tostación que para que conserve las propiedades obtenidas en ese nivel de tueste.

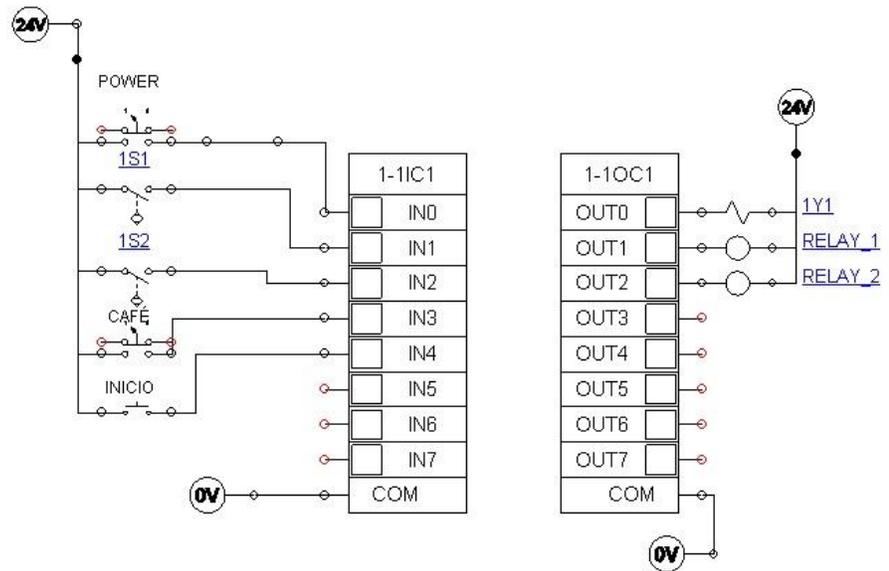
La programación del PLC THINGET se realizó en lenguaje LADDER o de contactos y se efectuó la respectiva simulación del funcionamiento como se puede observar en las siguientes figuras.

Figura 23. Actuadores



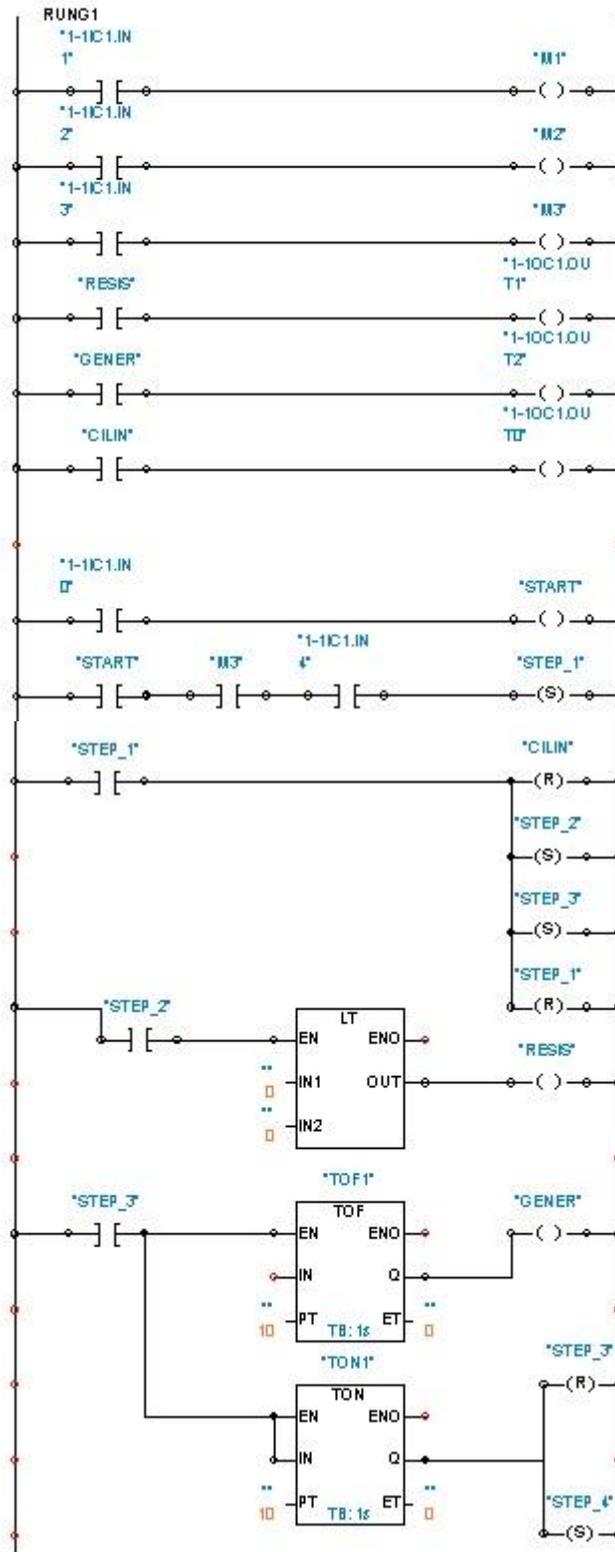
Fuente: El autor

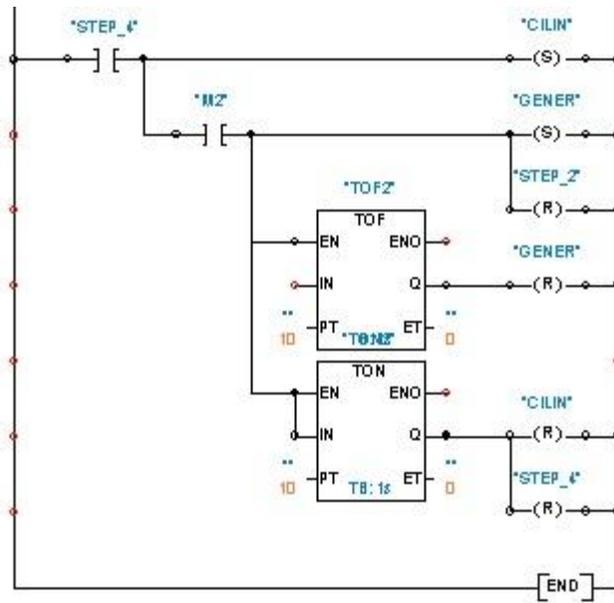
Figura 24. Entradas y salidas del PLC



Fuente: El autor

Figura 25. Programación del PLC



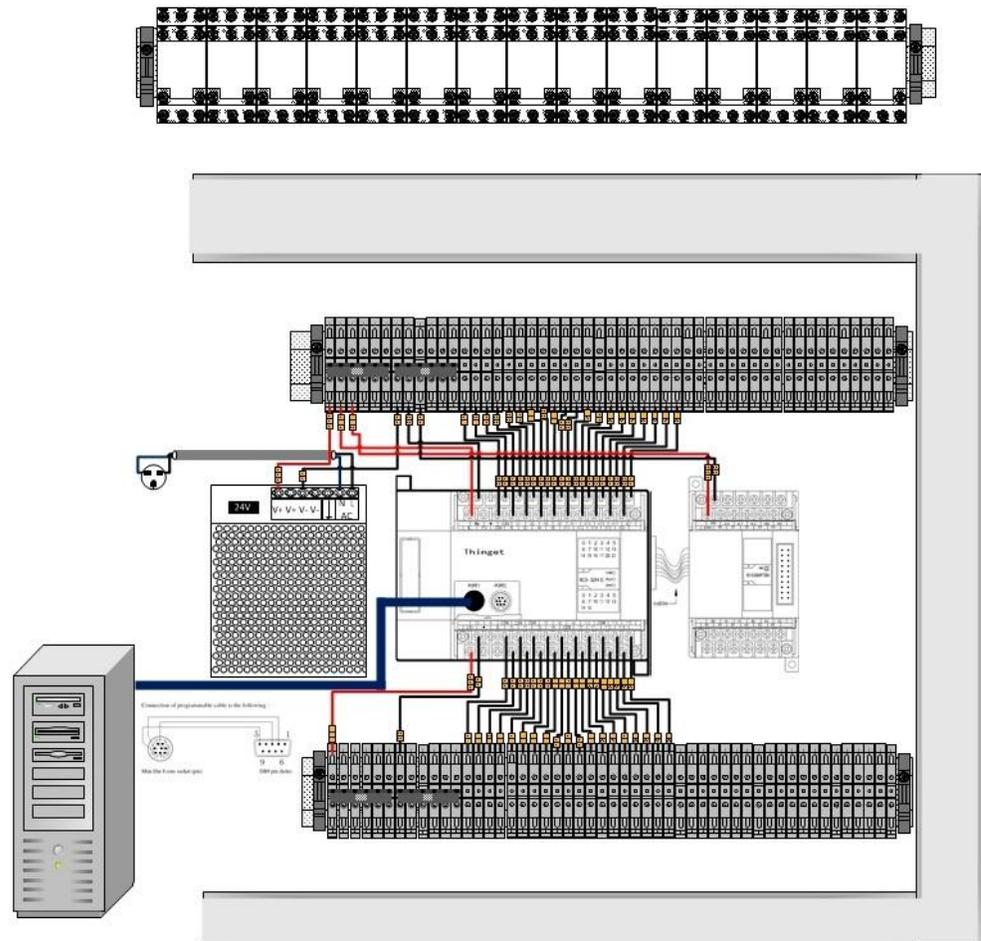


Fuente: El autor

5.3.2. Circuito Eléctrico:

Enseguida se mostrará el pre diseño del panel eléctrico o de conexiones entre el PLC, la fuente, las borneras, los relés, los sensores y actuadores.

Figura 26. Diagrama de conexiones



Fuente: El autor

5.4. SCADA

5.4.1. Software SCADA:

Para la implementación del sistema SCADA se utilizará Indusoft Web Studio Educational v7.1, software con licencia educativa adquirido por el programa Ingeniería en Mecatrónica a principios del presente año.

Indusoft es un programa fácil de utilizar en HMI y SCADA, es muy escalable y se puede usar desde diferentes dispositivos, permite realizar sistemas de recolección de datos, otra gran ventaja es que puede ejecutarse en todos los sistemas operativos de Windows, ya sea de 32 o 64 bits.

Indusoft Web Studio tiene una amplia conectividad, siendo la base o núcleo que sirve como puente de comunicación con diferentes tipos o arquitecturas de dispositivos, además posee más de 240 drivers integrados para interactuar con PLC's de diferentes tipos, convirtiéndose así en un software abierto.

5.4.2. Diseño SCADA:

A continuación, se mostrarán las diferentes pantallas contenidas dentro de la propuesta de diseño SCADA que va a servir para la supervisión del control y la adquisición de datos del sistema.

- Sección inicial: Se encuentra la presentación del sistema, están presentes los logos de la Universidad Tecnológica de Pereira, del Programa Ingeniería en Mecatrónica, del Software SCADA Indusoft y el nombre del proceso que se está realizando. Está dividida en tres fracciones, una barra vertical en el lado izquierdo donde están todos los botones necesarios para desplazarse dentro del sistema SCADA incluyendo un paro de emergencia y un reloj que indica la hora y el día. La segunda fracción tiene el nombre del proyecto y los logos de la universidad y el programa, la tercera sección contiene lo mencionado al inicio del párrafo.

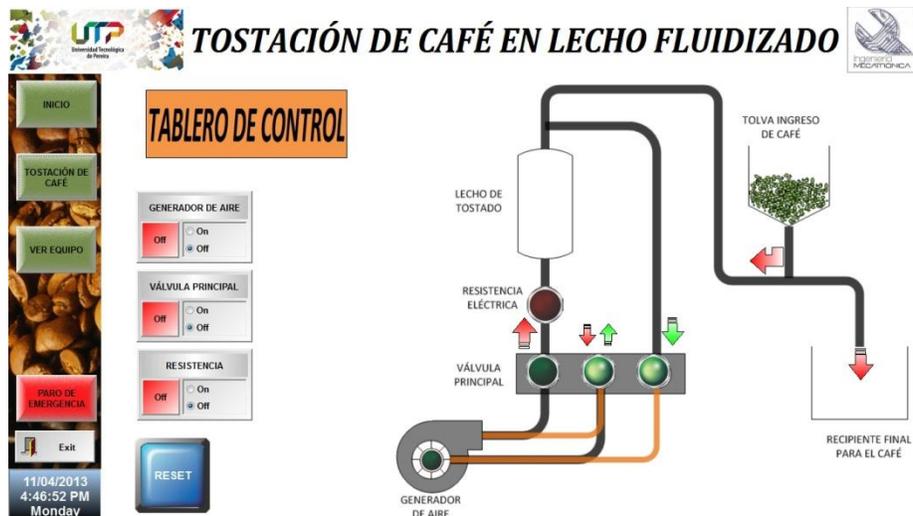
Figura 27. Presentación SCADA



Fuente: El autor

- Sección de proceso: Es la parte principal del SCADA, es donde se realiza el monitoreo y supervisión del control, se presenta un esquemático de la máquina con las principales partes que la componen y los botones necesarios para realizar su operación.

Figura 28. Operación SCADA



Fuente: El autor

- Sección visual: Como última sección dentro del SCADA se presenta una pantalla donde se pueden observar unas imágenes renderizadas de la máquina.

Figura 29. Equipo mostrado en el SCADA



Fuente: El autor

6. CONCLUSIONES

- La tostación de café, aunque parece un procedimiento muy sencillo de realizar, requiere de mucha técnica y mucha precisión en el momento de controlar las variables presentes en el proceso para que se desarrolle una tostación satisfactoria.
- Todo el proceso depende principalmente de la temperatura a la cual está el aire y el tiempo en que está en contacto con el café, en este punto es donde se vuelve fuerte la automatización ya que todo está estrictamente controlado
- Esta propuesta de automatización a la tostación de café en lecho Fluidizado está encaminada a mejorar la calidad del proceso, ya que aunque se tengan unos granos de muy buena calidad pero la tostación no se realice de una forma adecuada se pueden perder propiedades importantes en el fruto.
- Es bueno documentarse acerca de los tipos de aceros inoxidable para elegir cuál de ellos elegir, ya que muchas personas pueden llegar a pensar que sólo hay un tipo de acero inoxidable.
- La automatización ejecutada en los procesos agro industriales se convierte en un paso que se da hacia adelante, pues no sólo mejora la velocidad en la producción y procesamiento de la materia prima, sino que también, le proporciona ese valor agregado al producto final que muchas veces buscan las empresas.

- Utilizar la extensión análoga del PLC THINGET, el cual tiene entradas directas de PT100, ahorra mucho tiempo en la programación de la máquina y facilita el proceso de medir y controlar la temperatura dentro del sistema.
- Realizar un diagrama de flujo antes de empezar con cualquier programación sirve para afianzar la lógica que debe llevar el algoritmo que controlará el sistema, minimizando errores y operaciones no deseadas.
- Realizar un sistema SCADA para cualquier proceso de producción es una gran herramienta para tener una mejor visualización de cómo se está comportando el proceso, además brinda muchas facilidades al usuario de la máquina, pues no tiene que estar al lado de ella para poderla operar.

7. RECOMENDACIONES

- Si se desea realizar un tueste mucho más exacto se puede incorporar en el sistema un análisis de imágenes, haciendo una comparación entre el nivel de tueste deseado y el que está teniendo el café en un tiempo t .
- Una forma alternativa de controlar el flujo de aire que envía el generador es bloqueando en algún porcentaje el diámetro por donde se realiza la absorción del fluido.
- Si no se tiene disponibilidad de utilizar un PLC THINGET con el módulo análogo para la entrada de PT se puede reemplazar esto utilizando un control de temperatura, dispositivo fácil de encontrar en el mercado.
- Para obtener una tostación más limpia, se puede adicionar un módulo extra al lecho para que realice una separación entre las cascarillas que van soltando los granos cuando están siendo tostados.

8. BIBLIOGRAFÍA

Alfaro Castillo, S. A. (2011). *Patente nº 136632 A2*. México.

Arias, H., & Corregidor, J. (s.f.). Máquinas de torrefacción de café para laboratorios de control de calidad. Bogotá, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia.

Brown, E. C., E, B. W., & A, P. N. (1984). *Patente nº WO 8401271 A1*. US.

Canto Q, C. E. (2003). Sensores Opto electrónicos. San Luis Potosí, México.

EVERWATT. (2010). *Elementos de calefacción eléctrica*. Recuperado el 8 de Septiembre de 2013, de www.resistencias-electricas.com/

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2005). Aspectos de calidad del café para la industria torrefactora nacional. Colombia. Recuperado el 8 de Marzo de 2013

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2011). *Descubre lo que hay detrás del café de Colombia*. Recuperado el 8 de Marzo de 2013, de <http://www.cafedecolombia.com>

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2013). *Federación Nacional de Cafeteros de Colombia*. Recuperado el 26 de Abril de 2013, de <http://www.federaciondecafeteros.org>

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2010). *Industrialización del Café*. Recuperado el 8 de Octubre de 2013, de www.cafedecolombia.com

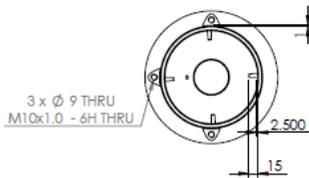
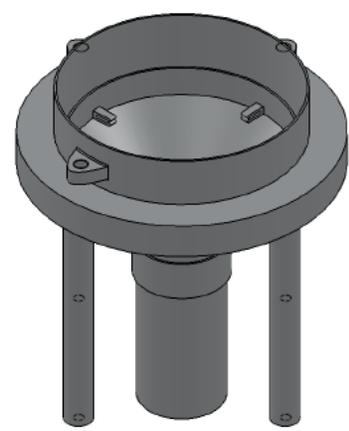
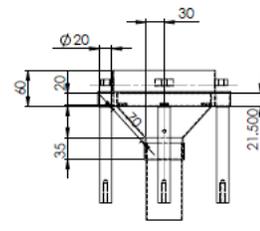
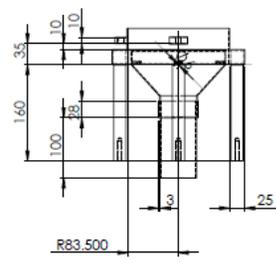
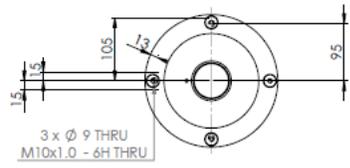
Festo. (s.f.). *Festo*. Recuperado el 20 de Octubre de 2013, de http://www.festo.com/cms/es-co_co/index.htm

Rodríguez Penin, A. (2007). *Sistemas SCADA - Segunda edición*. Barcelona: MARCOMBO S.A.

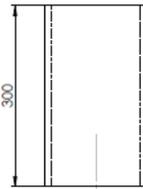
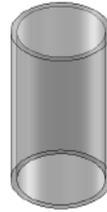
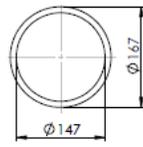
Romera, J. P., Lorite, J. A., & Montoro, S. (1994). *Automatización Problemas resueltos con autómatas programables*. Editorial Paraninfo.

SOCODA. (2013). *Acercas del acero inoxidable*. Medellín.

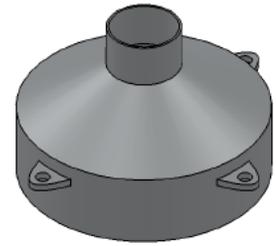
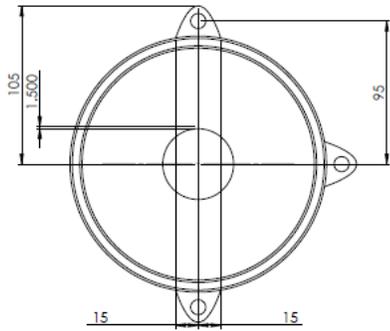
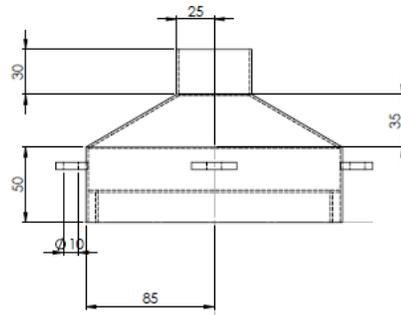
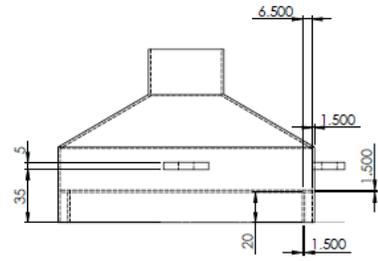
Xinje Electronic Co., Ltd. (s.f.). XC Series Programmable Controller.



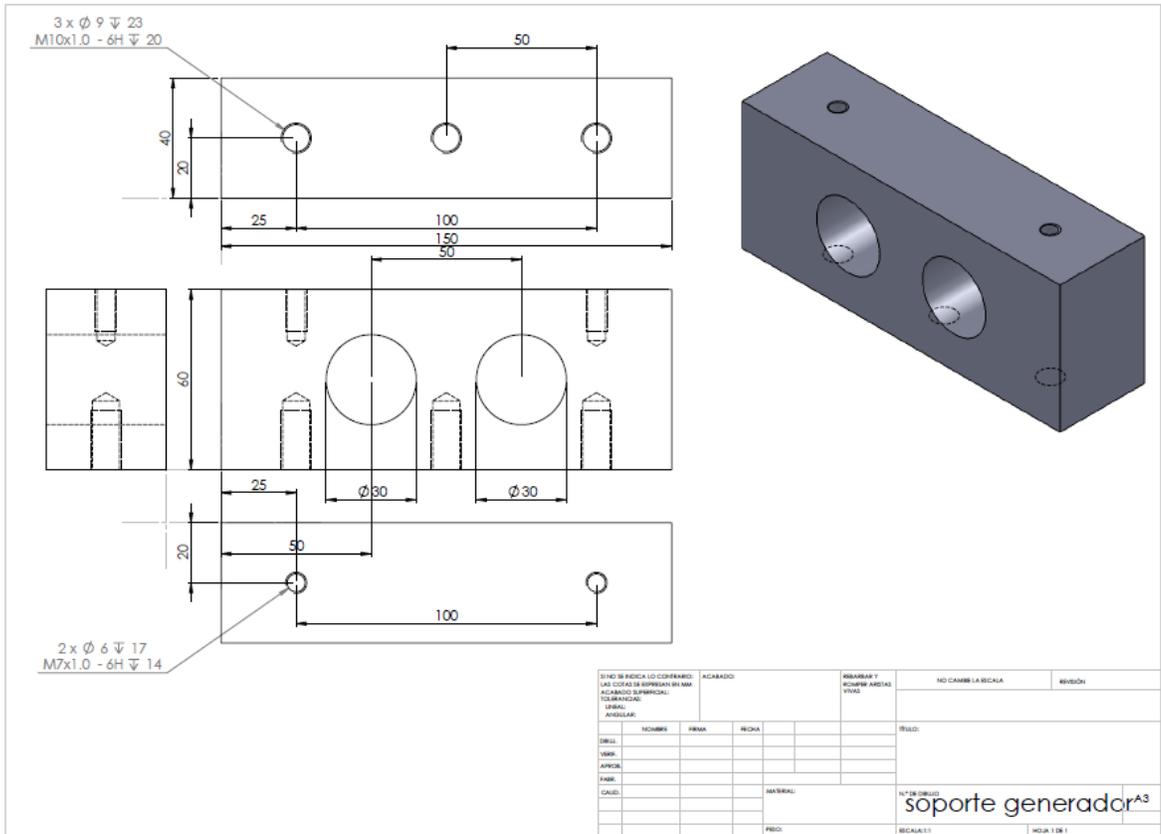
SI HAY SEÑALES LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: FURMANCADO: SERIAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBOS Y ESQUINAS VIVAS		NO CAMBIE LA BICHA	REVISIÓN
DESIG.	NOMBRE	SERIAL	BICHA		PROJ:	
VERB.						
APROB.						
FABR.						
CAUD.						
				MATERIAL:	Nº DE DIBUJO	
					junta doble	A3
				PROJ:	BICHA 1.0	HOLA 1 DE 1

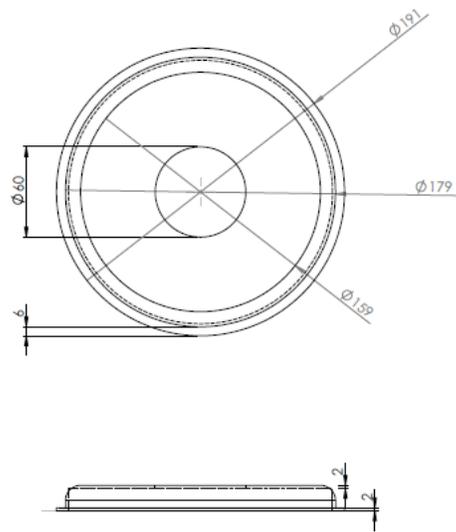


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: FORMA: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBATEO: RANURAS Y FINES		NO CAMBIE LA BICHA	REVISION
DESIGNADO	NOMBRE	FECHA	FECHA		FECHA	
VERIFICADO						
APROBADO						
FABR.						
CAUD.						
				MATERIAL:	Nº DE PEDRO	
					techo de tostado A3	
				PROJ:	BICKALTA	HOJA 1 DE 1

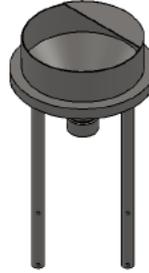
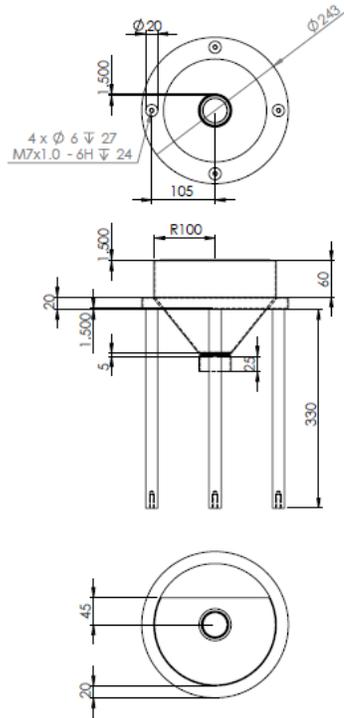


SI HAY BICHA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: EQ: MANTENED. SM: AL. ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAT Y CORNER ARISTAS VINO		NO CAMBIE LA BICHA	REVISIÓN
DESIG.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		PROJ:	
VERSI.						
APROB.						
FABR.						
CAUD.					MATERIAL:	Nº DE DIBUJO: tapa superior
					PROJ:	A3
					BICHA 1.0	HOLA 1 DE 1





SI HAY BIECA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: EQ: MANTENED. SM: AL. ANGULOS: 45°		ACABADO:	REBARBOS Y ESQUINAS: R2	NO CAMBIE LA BICAJA	REVISIÓN
DESIGNADO:	NOMBRE:	FECHA:			PROJ:
VERIFICADO:					
APROBADO:					
FABRIL:					
CAUD:					
			MATERIAL:	Nº DE BICAJA:	
				Tapa generador	A3
			PROJ:	BICAJA 12	HOLLA 1 DE 1



SI HAY BICHA LO CONTRARIO: LAS COTAS DE ESPESOR EN MM ACABADO SUPERFICIE: TOLERANCIAS: SERIAL: ANGULARES:		ACABADO:	REBARBAY CORNER ARISTAS VINO	NO CAMBIE LA BICHA	REVISION
DESIG.	NOMBRE	AREA	FECHA		PROJ:
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUD.					
				MATERIAL:	Nº DE DIBUJO: tolva de cafe
				PROJ:	A3
				BICHA 1.0	HOJA 1 DE 1

