

**PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL PROCESO PRODUCTIVO DE
CAFÉ TOSTADO EN LA EMPRESA “Café La Palma Ltda.”**



Santiago Tobar Cárdenas

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL
POPAYÁN
2013**

**PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL PROCESO PRODUCTIVO DE
CAFÉ TOSTADO EN LA EMPRESA “Café La Palma Ltda.”**



**Monografía presentada como requisito parcial para optar por el título de
Ingeniero en Automática Industrial**

Santiago Tobar Cárdenas

**Director.
Ing. Oscar Amaury Rojas A.**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL
POPAYÁN
2013**

Agradezco a Dios por darme la vida y darme la fuerza necesaria para culminar este logro y bendecirme con mi madre, mi familia y mis amigos.

Agradezco a mi madre María Esperanza Cárdenas B. por todo su apoyo, comprensión, amor y confianza, porque gracias a ella me he sentido motivado y respaldado en todo momento de mi vida y hoy puedo dar por finalizado este proyecto, te amo madre y este logro es para ti.

Agradezco a mi familia por su apoyo, especialmente a mi hermano Jose Cárdenas C. porque gracias a su apoyo y exigencias me he formado como la persona que soy.

*Agradezco a la Ingeniera Ángela Marcela Gómez Castillo, porque gracias a sus aportes y apoyo, este proyecto se culminó de mejor manera.
Amor muchas gracias*

Al Ingeniero Oscar Amaury Rojas por ser el director de este proyecto.

A mis amigos y compañeros por su compañía, por los buenos y malos momentos y por hacer inolvidable cada instante compartido.

Infinitas gracias

Santiago

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	8
1. BASES TEÓRICAS DEL PROYECTO.....	10
1.1.CADENA DE VALOR.....	10
1.2.ESTANDAR ISA-88.....	11
1.2.1.Modelo Físico.....	12
1.2.2.Modelo de Control de Procedimientos.....	13
1.2.3.Modelo de Proceso	15
2. DESCRIPCIÓN Y MODELADO DEL PROCESO PRODUCTIVO	17
2.1.DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA UTILIZADA EN EL PROCESO.....	17
2.1.1.Cambios físicos en los granos de café	17
2.1.2.Cambios químicos en los granos de café	18
2.2.ETAPAS DEL PROCESO PRODUCTIVO.....	20
2.2.1.Dosificación del café en almendra:.....	21
2.2.2.Tostión de café verde:	25
2.2.3.Enfriado y mezclado de café tostado:.....	30
2.3.MODELADO DEL PROCESO PRODUCTIVO DE CAFÉ TOSTADO.....	35
2.3.1.Modelo de la Cadena de valor	35
2.3.2.Modelos del proceso productivo basados en el estándar ISA-88	44
3. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO PRODUCTIVO DE CAFÉ TOSTADO	48
3.1.ANÁLISIS DE TIEMPOS PARA LAS ACTIVIDADES DEL PROCESO PRODUCTIVO.....	48
3.1.1.Tablas de actividades y tiempos del proceso de producción de café tostado	48
3.1.2.Fallas encontradas en el proceso a partir del análisis de tiempos.....	52
3.2.ANÁLISIS DE LOS MODELOS DEL PROCESO PRODUCTIVO BASADOS EN EL ESTÁNDAR ISA-88	59
3.2.1.ANÁLISIS DEL MODELO DE PROCESO.....	59
3.2.2.ANÁLISIS DEL MODELO FÍSICO.....	60

3.2.3.ANÁLISIS DEL MODELO DE CONTROL DE PROCEDIMIENTOS	62
3.3.ANALISIS DE LOS RIESGOS DEL PROCESO DE PRODUCCION QUE AFECTAN EL OPERARIO.....	62
3.3.1.RIESGOS EN LA UNIDAD DE DOSIFICACIÓN.....	62
3.3.2.RIESGOS EN LA UNIDAD DE TOSTIÓN.....	63
3.3.3.RIESGOS EN LA UNIDAD DE ENFRIADO Y MEZCLADO	63
4. PROPUESTA DE AUTOMATIZACION PARA EL PROCESO PRODUCTIVO.....	66
4.1.PLANTEAMIENTO DE LAS SOLUCIONES PARA LOS PROBLEMAS PRESENTADOS EN EL PROCESO PRODUCTIVO	66
4.1.1.SOLUCIONES PARA LA ETAPA DE PROCESO “DOSIFICAR”	66
4.1.2.SOLUCIONES PARA LA ETAPA DE PROCESO “TOSTAR CAFÉ”	71
4.1.3.SOLUCIONES PARA LA ETAPA DE PROCESO “ENFRIAR Y MEZCLAR CAFÉ TOSTADO”	74
4.2.CRITERIOS PARA LA DEFINICIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL PROPUESTO	78
4.3.SOLUCIÓN PARA EL CONTROL Y SUPERVISIÓN DEL PROCESO	79
4.3.1.COMPONENTES HARDWARE	79
4.3.2.COMPONENTES SOFTWARE.....	80
4.4.PROUESTA PARA EL DISEÑO DEL HMI DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DEL PROCESO.....	82
4.5.ANÁLISIS DE TIEMPOS PARA LAS ACTIVIDADES DEL PROCESO CON LAS MEJORAS PLANTEADAS.....	90
5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	98
6. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.....	100

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de aceptación para el café tostado en la empresa.....	20
Tabla 2. Actividades para el llenado de los silos de almacenamiento de materia prima. ..	22
Tabla 3. Actividades para el suministro de materia prima hacia la etapa tostión almacenada en bultos.	24
Tabla 4. Actividades para el suministro de materia prima hacia la etapa tostión almacenada en los silos.....	24
Tabla 5. Actividades para el precalentamiento de la máquina tostadora.....	27
Tabla 6. Actividades para el proceso de tostión.	28
Tabla 7. Actividades para el enfriado y mezclado de café tostado, diferenciadas por el tipo de café.	33
Tabla 8. Actividades para el apagado y finalización de la jornada de tostión.	34
Tabla 9. Modelo de proceso para la elaboración de café tostado.....	45
Tabla 10. Modelo físico del proceso de café tostado.	46
Tabla 11. Modelo de control de procedimientos para la elaboración de café tostado.....	47
Tabla 12. Actividades de control de operación de equipos y supervisión realizadas por el operario.....	49
Tabla 13. Desplazamientos realizados por el operario.....	50
Tabla 14. Pausas realizadas por el operario.	50
Tabla 15. Repetición de actividades realizadas por el operario.	50
Tabla 16. Registro y pruebas de calidad realizadas por el operario.....	51
Tabla 17. Unidades del proceso de productivo.	51
Tabla 18. Tiempos para la dosificación de los silos.	56
Tabla 19. Tiempos de la dosificación de la tolva de carga de la tostadora desde bultos, pre calentamiento y tostión.....	56
Tabla 21. Tiempos de dosificación de la tolva de carga de la tostadora desde los silos, tostión, enfriado y almacenamiento en el silo de pre mezcla.....	57
Tabla 20. Tiempos de la dosificación de la tolva de carga de la tostadora desde los silos, tostión, enfriado y almacenamiento en el silo móvil.	57
Tabla 22. Tiempos de dosificación de la tolva de carga de la tostadora desde los silos, tostión, enfriado, mezclado y almacenamiento en el silo de pre mezcla.	58
Tabla 23. Tiempos de dosificación de la tolva de carga de la tostadora desde los silos, tostión, enfriado, mezclado y almacenamiento en silo de mezclado.	58
Tabla 24. Riesgos laborales presentes en el proceso.	65
Tabla 25. Unidades del proceso productivo de la propuesta.	90
Tabla 26. Repeticiones realizadas por el operario en la propuesta.....	90
Tabla 27. Actividades de control de operación de equipos y supervisión realizadas por el operario con la propuesta realizada.....	91
Tabla 28. Registro y pruebas de calidad realizadas por el operario en la propuesta.	91
Tabla 29. Pausas realizadas por el operario en la propuesta.....	92

Tabla 30. Desplazamientos realizados por el operario en la propuesta.	92
Tabla 31. Análisis de tiempos para el proceso de dosificación de silos bajo la propuesta realizada.	93
Tabla 32. Análisis de tiempos para el proceso de precalentamiento y dosificación del café verde desde silos.	94
Tabla 33. Análisis de tiempos para el proceso de dosificación, tostión, enfriado y almacenamiento en silo temporal A o B y C.	95
Tabla 34. Análisis de tiempos para la dosificación, tostión, enfriado, mezclado y almacenamiento en silo de desgasificación.....	96

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación de una unidad de producción.	11
Figura 2. Niveles jerárquicos del modelo físico.	13
Figura 3. Modelo de control de procedimientos.	14
Figura 4. Relación entre los modelos definidos en el estándar ISA-88.....	15
Figura 5. Representación de cargue del café verde en la tolva de la tostadora.	25
Figura 6. Representación de operaciones en la tostión de café en almendra.	29
Figura 7. Representación de operaciones en el enfriado y mezclado de café.....	33
Figura 8. Cadena de valor para el proceso productivo de café tostado.	43
Figura 9. Diagrama P&ID para la dosificación de los silos.....	69
Figura 10. Diagrama P&ID para la dosificación de la tolva de carga.	70
Figura 11. Diagrama P&ID para la tostión de café.	73
Figura 12. Diagrama P&ID para el enfriado de café.....	76
Figura 13. Diagrama P&ID para el mezclado de café.....	77
Figura 14. Arquitectura del sistema SCADA.....	81
Figura 15. Ventana para el inicio de sesión en el HMI.....	83
Figura 16. Ventana del menú principal.	83
Figura 17. Ventana para el proceso de llenado de silos.....	84
Figura 18. Ventana para el proceso de dosificación de la tolva de carga de la tostadora.	85
Figura 19. Ventana para el proceso de tostión de café.	86
Figura 20. Ventana para el proceso de enfriado de café.....	87
Figura 21. Ventana para el proceso de mezclado de café.	88
Figura 22. Ventana para las tendencias del proceso productivo.....	88

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la automatización industrial desempeña un papel importante en el continuo desarrollo de la industria mundial. Las exigencias de los mercados que cada vez son más altas, la competencia que cada día aumenta y la demanda de nuevos productos de buena calidad y bajo costo, obligan a las empresas a una constante búsqueda de nuevas tecnologías que mejoren sus procesos productivos con el fin de cumplir con las exigencias mundiales [1].

En el ámbito nacional, la industria colombiana viene en un constante crecimiento y en una constante búsqueda de mejorar sus procesos productivos que le permitan ser competitiva y poder cumplir con estándares de calidad cada vez más exigentes para ofrecer productos de calidad, que satisfacen las necesidades del usuario final y que no implican un aumento en los costos de producción. Este crecimiento no se ve reflejado en nuestra región ya que el departamento del Cauca y principalmente su capital no se caracterizan como regiones industriales de acuerdo a la Encuesta Anual Manufacturera de 2011 realizada por el DANE [2], es por eso que el desarrollo de la automatización se ha visto retrasada en su utilización e implementación, además la inexistencia de una alianza entre la academia y la industria para fomentar este tipo de desarrollo, hacen que el propósito de este proyecto sea dar el primer paso en la solución a este problema, tomando una empresa local, diagnosticando sus problemas y debilidades con el fin de mejorar su proceso productivo y ofrecer un producto que esté a la altura de otros de gran reconocimiento y acogida en el mercado. Además demostrar que la Universidad del Cauca cuenta con los suficientes recursos tanto académicos como humanos para realizar éste tipo de proyectos y que se le reconozca también por impulsar la industria local en pro del mejoramiento de la región y de la ciudad.

Existe un alto potencial en la empresa local que se ha escogido como caso de estudio para realizar este proyecto, la cual viene en un crecimiento constante y que a través de los años ha logrado un reconocimiento en la región, distinguiéndose como una de las empresas insignias de la ciudad. Gracias a ese reconocimiento la empresa Café La Palma Ltda. ha tenido que exigirse a sí misma para ofrecer un producto de excelente calidad, pero a pesar de sus esfuerzos y la demanda del producto, se hace necesaria la inclusión de nueva tecnología para hacer más eficientes ciertas actividades que retrasan el proceso y que obliga al operario a realizar métodos que afectan de manera negativa el proceso. Es en este punto donde surge el primer inconveniente para la empresa debido a que la inversión en nuevas tecnologías y sistemas de automatización avanzados demandan gran capital y es aquí donde la alianza de la Universidad del Cauca y de la empresa juega un papel importante en el desarrollo de una propuesta de automatización para el proceso productivo de ésta, donde se especifique claramente las necesidades a las cuales se van a dar solución mediante la utilización de procesos metodológicos aprendidos en la academia y tecnologías

escogidas a partir de un análisis riguroso del proceso, teniendo en cuenta que la inversión por parte de la empresa sea la mínima posible para realizar este mejoramiento, logrando una propuesta bien fundamentada y viable.

El estándar ISA-88 provee modelos y terminologías para la definición de los requerimientos de control para las plantas de fabricación por lotes, los cuales se enfocan en el mejoramiento del control en la fabricación por lotes, en la aplicación del estándar independientemente del grado de automatización con el que cuente la empresa y permite específicamente identificar las necesidades que presenta el proceso productivo [3].

La utilización de este estándar para el modelado del proceso productivo de café tostado, conlleva a realizar un diagnóstico preciso y detallado del mismo y a definir claramente cuáles son las necesidades o fallas que presenta el proceso. Al contar con esta información se pueden atacar cada una de las fallas existentes y con ayuda del personal de Café La Palma Ltda. priorizar estas, para plantear la solución que se adapte a las necesidades de la empresa, mejorando de manera significativa el proceso productivo, disminuyendo el esfuerzo y los riesgos a los que se exponen los operarios.

Se debe aclarar que el proceso productivo de café tostado mencionado en el proyecto hace referencia a solo una parte del proceso total que existe en la empresa. Este proceso inicia en la etapa de dosificación de café verde y termina cuando se obtienen los granos de café tostados, mezclados y enfriados en la etapa de enfriamiento y mezclado de café tostado. Teniendo en cuenta que antes de la dosificación de café verde y luego del enfriamiento y mezclado de café tostado existen otras etapas que hacen parte del proceso productivo total pero que no hacen parte del alcance de éste proyecto.

1. BASES TEÓRICAS DEL PROYECTO

En este primer capítulo se presenta la información básica sobre el proyecto tratando de buscar:

- La comprensión total del proyecto mediante las definiciones de las herramientas a utilizar, determinando la manera más adecuada para ser aplicadas al proceso productivo en cuestión. Teniendo en cuenta sus implicaciones, alcances y consecuencias, mostrando la actualidad de este tipo de proyectos en el ámbito local, nacional e internacional.
- Estudiar y comprender la cadena de valor como herramienta para realizar la ingeniería de producto y de proceso en la empresa Café La Palma.
- Estudiar y analizar el estándar ISA-88 y especialmente los modelos que se definen en la parte 1 de éste, los cuales son el modelo físico, el modelo de control procedimental, el modelo de proceso y los récipes general, maestro, de sitio y de control.

1.1. CADENA DE VALOR

La cadena de valor se presenta como una herramienta valiosa para el diseño de estrategias, ya que aporta información cuantitativa y cualitativa sobre la empresa y su contexto [4].

El modelo de cadena de valor expresa la secuencia de valor agregado a un producto a lo largo del proceso de producción [5] y ofrece un esquema de descomposición horizontal basado en el flujo de conocimientos, productos e informaciones entre las unidades de producción del mismo nivel de la empresa que deben estar orientadas a satisfacer las necesidades del cliente y cumplir con los propósitos y las metas de la organización.

El modelo basado en la cadena de valor toma en cuenta el flujo de información y los conocimientos que deben existir entre las distintas unidades, con el fin de acrecentar el valor de producto a medida que el mismo se desplaza a través de las distintas unidades, éste flujo de información y productos a través de la cadena de valor va produciendo cambios en el estado del sistema, que son seguidos por el nivel de coordinación permitiendo conocer en todo momento el estado de cada unidad de producción. Por lo tanto, una unidad de producción se puede representar como se muestra en la **Figura 1** [6].

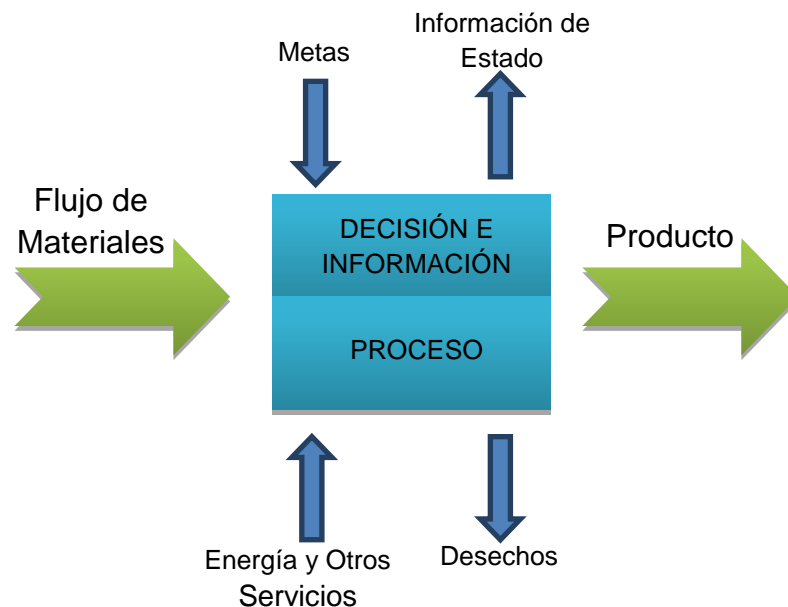


Figura 1. Representación de una unidad de producción.

La cadena de valor se compone de la identificación de cada unidad de producción perteneciente al mismo nivel de la empresa. A su vez, cada unidad de producción está constituida por sus correspondientes objetos de negocio.

Un objeto de negocio es una representación mental de elementos comúnmente utilizados en un dominio particular del negocio y cubre elementos de diferentes tipos, tales como:

- Elementos físicos: En ellos se encuentran los productos, plantas, los recursos humanos, equipos, proveedores, clientes y materias primas.
- Elementos de comunicación: En estos objetos de negocios están las órdenes de pago, facturas, órdenes de producción.
- Elementos de información: Se refieren a elementos como capacidad de producción e inventarios [6].

1.2. ESTANDAR ISA-88

El estándar ISA-88 ha definido ciertos modelos y terminología los cuales definen los requerimientos para el control de procesos industriales tipo batch, los cuales se enfatizan en la realización de buenas prácticas para el diseño, operación y

mejoramiento del control de este tipo de procesos, sin importar el grado de automatización del mismo. Estos modelos que se utilizaran hacen referencia al modelo físico, modelo de control de procedimientos y el modelo de proceso [3].

1.2.1. Modelo Físico

El modelo físico del estándar describe los activos físicos de una empresa organizados de manera jerárquica. Los tres primeros niveles descritos no están definidos por el estándar, los cuatro niveles restantes del modelo hacen referencia a los diferentes tipos de equipo. Se define un tipo de equipo como una colección de equipo de procesamiento y control agrupado para un propósito específico.

A continuación se definirá cada nivel del modelo físico

- **Célula de Proceso:** Una célula de proceso contiene todas las unidades, módulos de equipo y módulos de control requeridos para la fabricación de uno o más batch.
- **Unidad:** Una unidad está hecha de módulos de equipo y módulos de control. Los módulos que hacen parte de la unidad pueden ser configurados como parte de la unidad o pueden ser adquiridos temporalmente para lograr una tarea específica.
- **Módulo de Equipo:** Físicamente, un módulo de equipo puede estar compuesto de módulos de control y otros módulos de equipo subordinados. Un módulo de equipo puede ser parte de una unidad o pueden ser equipos stand-alone agrupados en una célula de proceso. Un módulo de equipo combina todos los equipos de procesamiento y control necesarios para realizar un número finito de tareas de procesamiento específicas.
- **Módulo de Control:** Un módulo de control es típicamente una colección de sensores, actuadores, otros módulos de control y equipo de procesamiento asociado, que desde el punto de vista del control, es operado como una sola entidad. Un módulo de control puede también estar constituido por otros módulos de control [3].

La organización jerárquica de los diferentes niveles pertenecientes al modelo físico se muestra en la **Figura 2** [3].

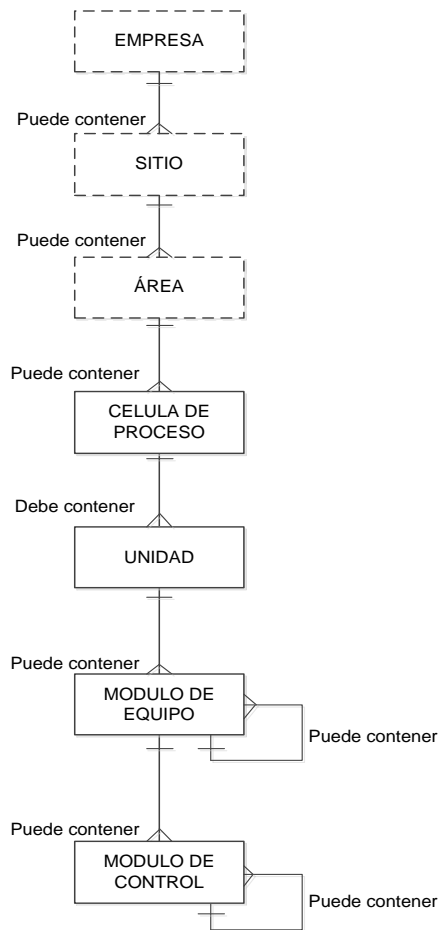


Figura 2. Niveles jerárquicos del modelo físico.

1.2.2. Modelo de Control de Procedimientos

El modelo de control de procedimientos dirige acciones orientadas al equipo para tomar lugar en una secuencia ordenada con el fin de llevar a cabo una tarea orientada al proceso.

El control de procedimientos está compuesto por elementos de procedimiento que están combinados jerárquicamente para realizar un proceso completo como está definido por el modelo de proceso. Ésta jerarquía está compuesta por procedimientos, procedimientos de unidad, operaciones y fases, como se muestra en la **Figura 3** [3].

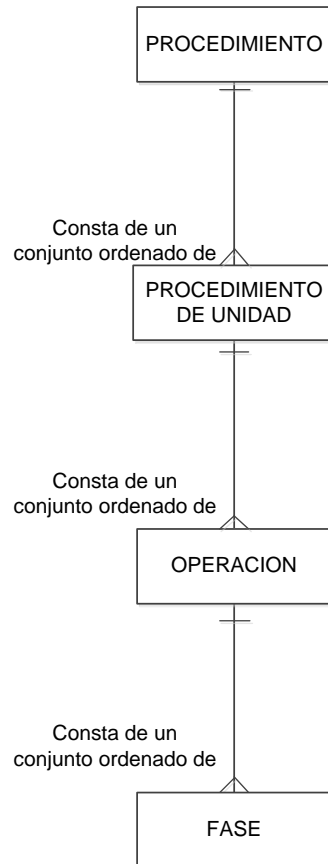


Figura 3. Modelo de control de procedimientos.

A continuación se define cada nivel del modelo de control de procedimientos:

- **Procedimiento:** El procedimiento es el más alto nivel de la jerarquía y define la estrategia para llevar a cabo una mayor acción de transformación como lo es fabricar un batch. Está definido en términos de un conjunto ordenado de procedimientos de unidad.
- **Procedimiento de Unidad:** Un procedimiento de unidad consiste en un conjunto ordenado de operaciones las cuales causan una secuencia continua de producción y que es realizada en una unidad.
- **Operación:** Una operación es un conjunto ordenado de fases que definen una secuencia de procesamiento de mayor nivel y toma el material que está siendo procesado de un estado a otro, usualmente involucrando un cambio químico o físico.
- **Fase:** Es el elemento más pequeño del control de procedimientos, el cual puede llevar a cabo una tarea orientada al proceso. El intento de la fase es causar o definir acciones orientadas al proceso, mientras la lógica o

conjunto de pasos que componen una fase se desarrollan en un equipo específico.

1.2.3. Modelo de Proceso

El modelo de proceso del estándar ISA-88 tiene como objetivo especificar las actividades que se llevarán a cabo en la planta y el orden en que se realizarán, asociando a cada una de estas, los equipos necesarios ya contenidos en el modelo físico de la empresa [3]. En función de estos activos físicos se realizan ajustes necesarios en el modelo de control de procedimientos de manera que se obtenga el máximo aprovechamiento de los recursos de la empresa, en aras de obtener el producto deseado con la calidad requerida.

El modelo de proceso evidencia según el estándar ISA-88 una estructura jerárquica: Proceso, Etapa de Proceso, Operación de Proceso y Acciones de Proceso. Este modelo resulta de la ejecución de cada nivel del Modelo de Control de Procedimientos sobre los niveles del Modelo Físico. Es decir un Proceso es el resultado de la ejecución de un Procedimiento sobre una Célula, una Etapa de Proceso es el resultado de la ejecución de un Procedimiento de Unidad sobre una Unidad, una Operación de Proceso es el resultado de la ejecución de una Operación sobre una Unidad y las Acciones de Proceso resultan de ejecutar una Fase sobre una Unidad o sobre un Módulo de Equipo [7]. La relación de la ejecución del modelo de control procedimental sobre el modelo físico que da como resultado el modelo de proceso se muestra en la **Figura 4**.

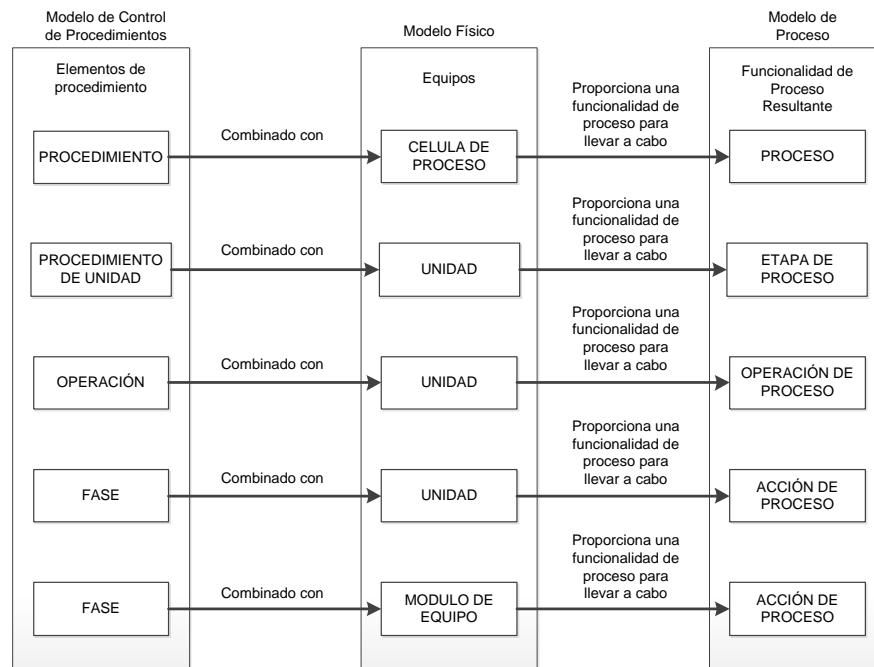


Figura 4. Relación entre los modelos definidos en el estándar ISA-88.

A continuación se define cada nivel del modelo de proceso:

- **Proceso:** Es el resultado de la ejecución de todas las acciones de proceso, operaciones de proceso y etapas de proceso, las cuales tienen como resultado la fabricación de un producto final con características definidas.
- **Etapas de Proceso:** Parte de un proceso que opera independiente de otras etapas de proceso. Es el resultado de una secuencia planeada de cambios físicos o químicos en el material que está siendo procesado.
- **Operaciones de Proceso:** Conforman las etapas de proceso y representan actividades especializadas de procesamiento que resultan en un cambio físico o químico del material que está siendo procesado; pueden establecerse en un orden específico que se desarrolla para completar una etapa.
- **Acciones de Proceso:** Son las subdivisiones de las operaciones de proceso que desarrollan un conjunto de actividades menores para llevar a cabo el procesamiento requerido por cada operación de proceso.

2. DESCRIPCIÓN Y MODELADO DEL PROCESO PRODUCTIVO

Para la realización de la propuesta de automatización para el proceso productivo de café tostado, se necesita tener claridad sobre el funcionamiento del proceso, es por eso que primero se realizó un levantamiento de información del proceso que permitiera tener mayor claridad y así poder presentar una descripción general del mismo, teniendo en cuenta las características del café que se utiliza como materia prima y de las etapas que hacen parte del proceso productivo.

Luego de esto se realizó una apropiación detallada del proceso, donde se especifica claramente cada operación que se realiza, tiempos de cada operación y las cantidades de materia prima que se utiliza para la consecución del mismo.

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA UTILIZADA EN EL PROCESO

En la empresa Café La Palma Ltda. se ha desarrollado durante varios años de investigación una mezcla de granos seleccionados de las mejores zonas cafeteras del Cauca. Esta mezcla se realiza teniendo en cuenta la variedad del cultivo, la altura sobre el nivel del mar, las características del suelo, el clima, la calidad del agua y factores como la recolección, el secado natural y el correcto almacenamiento. En la planta de procesamiento se elaboran dos clases de café, el primero es el denominado café tradicional y el segundo es el café gourmet el cual se diferencia del tradicional por ser un café de mejor calidad.

Los granos de café que se adquieren para su procesamiento están clasificados por el tamaño que estos poseen, la empresa maneja cinco tipos diferentes de café los cuales son: excelso, caracol, consumo, pasilla arábica colombiana y pasilla robusta, donde el café excelso es el de mayor tamaño y el café pasilla robusta es el de menor tamaño.

A través del proceso productivo los granos de café se someten a cambios físicos y químicos, los cuales son importantes para la calidad del producto final, ya que son estos cambios los que afectan el aroma, el sabor y las propiedades químicas de éste. A continuación se describen los cambios que sufren los granos de café debido a la exposición de estos al incremento de temperatura.

2.1.1. Cambios físicos en los granos de café

Los cambios físicos que presentan los granos de café son notorios como el color, el incremento del volumen del grano y la disminución del peso, pero también se producen unos no tan notorios como el cambio en la textura interna y cambios en la densidad del grano.

- **Cambios en el color:** El color del grano varía radicalmente a lo largo de la exposición al incremento de la temperatura y estos cambios dependen de la intensidad y duración del proceso. El grado de tuestión del café se determina cualitativamente por el color del mismo. El origen y las propiedades del café pueden influir en las tonalidades obtenidas durante la tuestión. En términos generales, cuanto más claro sea el color, menos tostado estará el grano, el sabor proporcionado será más suave, con más acidez y menos amargo y mientras más oscuro sea el color del grano estará más tostado, el sabor proporcionado será más fuerte, con menos acidez y más amargo.
- **Incremento en el volumen del grano:** El café aumenta su volumen hasta el doble del original, este aumento volumétrico se inicia en un rango de temperatura entre los 180°C a 220°C. La expansión de los granos es ocasionada por el almacenamiento del dióxido de carbono (CO₂) dentro de estos, generando una presión interna de 5.5 atm a 8 atm y aumentando el volumen de los granos de un 40% a un 60%. La intensidad del fenómeno depende de factores como el contenido inicial de humedad en el café, la calidad del grano y la temperatura de la tuestión.
- **Disminución del peso:** Al realizar el proceso de tuestión, el grano experimenta también una pérdida de peso, debido a que el incremento de temperatura evapora la humedad presente y esto se ve reflejado en la disminución del peso.
- **Cambios en la textura interna:** Cuando se produce una expansión de los granos ocurre también una crepitación en donde estos comienzan a abrirse debido a la presión ejercida por los gases dentro del grano. La crepitación es el punto donde el café alcanza su mayor aroma, aumenta el volumen, pierde peso, adquiere una textura porosa y se rompe fácilmente al aplicar presión sobre su superficie.

2.1.2. Cambios químicos en los granos de café

Los granos de café también sufren de cambios químicos producidos por el proceso de tuestión. La primera de ellas tiene que ver con el agua que posee el grano, la cual se evapora en su mayoría. También el agua generada en las diferentes reacciones químicas que suceden durante el proceso, se evapora. Sin embargo el grano conserva un 1% a un 3% de humedad final.

El segundo cambio que sufre la materia prima se ve reflejado en los aminos y carbohidratos. Los grupos aminos suministran gran parte del nitrógeno que se incorpora a los volátiles del aroma del café tostado. Los aminoácidos estables que

aumentan son la alanina, ácido glutámico, glicina, leucina, fenilalanina y valina. Los aminoácidos sensibles que disminuyen son la arginina, cisteína, serina y treonina. Los oligosacáridos desaparecen convirtiéndose primero en azúcares simples, posteriormente los azúcares son transformados sin excepción a las diferentes temperaturas de tostión, a causa de las reacciones de Maillard. Los carbohidratos contribuyen como agentes de unión del aroma de la bebida del café.

El tercer cambio lo sufren los ácidos que se forman a partir de los carbohidratos que sufren una descomposición térmica a ácidos carboxílicos, estos se degradan y volatizan, produciendo ácidos volátiles y dióxido de carbono (CO₂). Entre los ácidos presentes están los clorogénicos, el acético, el cítrico y el málico. Los ácidos clorogénicos constituyen el 7% y se pierden entre un 8% a un 10%. De los otros ácidos se originan pérdidas similares. Al comienzo del tostado a 117°C se forman el ácido acético y fórmico que salen del grano, mientras que los ácidos clorogénicos comienzan a descomponerse. El ácido nicotínico es emanado casi en su totalidad después de tostado el café por degradación de la trigonelina (alcaloide). Los ácidos contribuyen al desarrollo del sabor, olor y aroma de la bebida final.

El cuarto cambio es sufrido por la cafeína la cual dependiendo del tipo de café verde se encuentra en un porcentaje de 1% a 2%. Un 10% del total de la cafeína presente se pierde, pero debido a que las pérdidas son insignificantes su contenido sigue igual después de la tostión. Solamente cuando las temperaturas a las cuales son sometidos los granos son muy altas, se pueden apreciar pérdidas significativas de cafeína.

El quinto cambio que sucede durante el proceso de tostión, es la producción de dióxido de carbono debido a la pirolisis. Cerca del 2% del dióxido de carbono generado es retenido dentro del café tostado y la cantidad generada de éste depende del grado de tostión, el origen y del contenido de humedad inicial del café verde.

Los otros componentes químicos que están presentes en la materia prima sufren también cambios pero a una menor escala, como los volátiles que varía su composición dado su tipo y variedad de cultivo, almacenamiento, equipo de tostión y grado de tostión, estos constituyen solo un 0.1% del peso del café tostado. También los componentes fenólicos disminuyen apreciablemente y con su descomposición origina la liberación de la cafeína. Los alcaloides son afectados en formas diferentes, la cafeína es parcialmente volatizada (sublimación), mientras que la trigonelina se descompone parcialmente produciendo piridina y ácido nicotínico. Finalmente los lípidos cambian poco durante el proceso de tostión porque son afectados por temperaturas extremas las cuales hacen que salgan a la superficie los alquitranes, pero hacen parte

importante del proceso debido a que sus aceites disuelven el aroma, siendo utilizados como agentes aromatizantes [8].

Estos cambios físicos y químicos afectan de manera directa la acidez, el aroma, el cuerpo y el sabor, que son las cuatro características que se tienen en cuenta para la producción de café como producto final. Es por eso que el café tostado producido por la empresa debe cumplir con ciertos parámetros los cuales se presentan en la **Tabla 1**.

Parámetros	Valores promedios en los cafés del Cauca	Para aceptación
Fragancia	~ 6-9	>8
Aroma	~ 8-9	>8
Acidez	5	>5
Amargo	~ 6-9	<8
Cuerpo	~ 6-8	>7
Rancidez	0	0
Sabor residual	8	>7
Impureza global	8	>7
Color	Oscuro	
Grado de tostión	~ 169-178	

Tabla 1. Parámetros de aceptación para el café tostado en la empresa.

2.2. ETAPAS DEL PROCESO PRODUCTIVO

Debido a que es conveniente tener presente toda la información concerniente al proceso productivo en la empresa “Café La Palma Ltda.”, se realiza una descripción general del mismo, donde realizan labores de acompañamiento y control de la calidad desde la recepción de la materia prima y a través de todo el proceso productivo, con el fin de comprender mejor el proceso para garantizar que el proyecto cumpla con las necesidades y especificaciones propias para generar un producto de excelente calidad. La empresa cuenta con una línea de producción de café tostado y molido, la cual produce dos tipos de café tradicional y gourmet con variedad de presentaciones. Además ofrece el servicio de maquilas de café trillado, tostado, molido y empacado en diferentes presentaciones de acuerdo a los requerimientos del cliente. Se debe tener en cuenta que el propósito de este proyecto es lograr una propuesta de automatización para el proceso de café tostado solamente, es decir, el alcance del proyecto no abarca el trillado ni el molido del café. A continuación se exponen detalladamente las etapas del proceso:

2.2.1. Dosificación del café en almendra:

La dosificación de la materia prima en la empresa “Café La Palma Ltda.” tiene como objetivo el almacenamiento adecuado de la materia prima, además de dividirla en cantidades específicas para cumplir con los límites de capacidad de la máquina tostadora perteneciente a la etapa de tostión.

Esta etapa consta de cuatro silos con capacidades aproximadas de 10000 kilogramos cada uno, una tolva que permite visualmente medir el nivel de materia prima descargada en cantidades máximas de 240 kg a 250 kg, un elevador de café, un sistema enrutador de café verde que cumple con dos funciones específicas, la primera es la direccionar el café verde a uno de los cuatro silos según el tipo o la calidad de la almendra a almacenar y la segunda es la de direccionar el café verde dosificado hacia la etapa de tostión.

- **Llenado de silos de almacenamiento de materia prima:** El proceso a efectuar en estos equipos comienza cuando la materia prima está seleccionada y clasificada por la calidad de la almendra de café. Cada silo es llenado por separado a excepción de los silos 1 y 2 que por lo general se llenan simultáneamente con un mismo tipo de café el cual es consumido en mayores cantidades que los otros de acuerdo a las especificaciones del producto final. Para el llenado de los silos se abren los bultos de café y se vacían sobre la tolva de dosificación de café verde, ésta tiene una capacidad de 240 kg aproximadamente. Teniendo en cuenta que el elevador de café verde se encuentra encendido previamente y que el sistema enrutador de café verde debe estar direccionado hacia la ruta 1, que tiene como destino el silo adecuado para el almacenamiento dependiendo del tipo de café. Una vez se termina la carga de la materia prima en la tolva de dosificación de café verde, se descarga nuevamente la cantidad de café abriendo los bultos necesarios, esto se repite hasta alcanzar una cantidad de almacenamiento promedio de 8000 kg por silo.

Por facilidad y reducción de esfuerzo físico el operario ha modificado el proceso del llenado de los silos y actualmente llena dos silos con una pre mezcla de café que se realiza entre los tipos de café consumo y pasilla arábica colombiana, los silos restantes los tiene disponibles en caso de que se necesite suministrar más de esta pre mezcla de granos de café. Para este llenado la **Tabla 2** muestra las actividades a realizar.

RUTA 1	LLENADO DE SILOS DE ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA
ACTIVIDAD	ADAPTAR RUTA
1	Adecuar tubería para ruta 1
2	Adecuar tubería para silo seleccionado
	ALISTAR EQUIPOS
3	Abrir escotilla de tolva de dosificación
4	Encender elevador de café verde
	LLENAR SILO
5	Transportar bulto a tolva
6	Vaciar bulto
7	Esparcir café con rastrillo sobre nivel indicado
	FINALIZAR PROCESO
8	Cerrar escotilla de tolva de dosificación
9	Apagar elevador de café verde

Tabla 2. Actividades para el llenado de los silos de almacenamiento de materia prima.

Cuando se realizan las cuatro primeras actividades, las actividades 5 y 6 se vuelven cíclicas hasta completar el llenado del silo. Con el nivel del silo de almacenamiento alcanzado se realizan las actividades 7 y 8 finalizando con el llenado de los silos. Se debe tener en cuenta que los tipos de café caracol, excelso y pasilla robusta, se mantienen en bultos y no se almacenan en los silos, solamente se vacían en la tolva de café verde y se transportan hacia la tolva de carga de la tostadora al momento de realizar la tostión.

- **Suministro de la materia prima a tostión:** La otra parte del proceso realizado por el operario es para suministrar el café verde hacia la siguiente etapa y actualmente utiliza los mismos equipos que para el llenado de los silos. La dosificación de materia prima inicia con el direccionamiento del sistema enrutador hacia la ruta 2-A, la dosificación se realiza de acuerdo a los tipos de café, debido a que se cuenta con un orden para la tostión de estos. Primero se realiza la dosificación del café tipo excelso que está almacenado en bultos, por ende no se encuentra en ninguno de los 4 silos mencionados anteriormente, el operario debe realizar la dosificación de la tolva de café verde, bulto por bulto, cerciorándose de que estén encendidos el elevador de café verde y el transportador de café verde. Para este tipo de café la dosificación se hace en tandas de 240 kg hasta completar la cantidad total según la receta interna.

De acuerdo al orden establecido se sigue con la dosificación del café tipo caracol, que también se encuentra almacenado en bultos y se repiten las mismas acciones que en la dosificación del café tipo excelso hasta completar también la cantidad total según la receta interna. Luego se

realiza la dosificación de la pre mezcla de café (café consumo y café pasilla arábica colombiana) que se encuentra almacenada en los silos. El operario realiza el vaciado de uno de los silos contenedores del pre mezclado de café, ubicando un tubo en la boquilla del silo y abriendo manualmente la compuerta que cierra el paso del material a través del mismo y dirigiéndolo a la tolva de dosificación de café verde.

Esta operación debe ser vigilada por el operario, porque una vez la materia prima empiece a llegar al nivel de los 240 Kg se utiliza un rastrillo que evita la acumulación del material en forma de cono y la esparce uniformemente a lo largo de la tolva sobre el nivel indicado. Usando el elevador de café verde y con la ruta 1 cerrada, se da paso a la ruta 2-B, que sirve para transportar el café hasta la tolva de carga de la tostadora utilizando el elevador de café verde y el transportador de café verde. La dosificación se realiza de forma intermitente entre estos tres tipos de café, en este punto las cantidades y los tiempos de realización de la dosificación hacen parte de las especificaciones del producto y de la receta del mismo.

Posteriormente, se carga la tolva de dosificación de café verde con café tipo pasilla robusta que se encuentra almacenado en bultos, esta materia prima es la que se suministra en mayor cantidad en el proceso y su dosificación no se realiza de forma intermitente con otro tipo de grano y utiliza la ruta 2-A, la dosificación de este tipo de café culmina una vez se alcanza la cantidad requerida por la receta interna.

A continuación se realiza un listado de las actividades realizadas para dosificar el café verde hacia la etapa de tostión en la **Tabla 3**, proveniente de un almacenamiento en bultos, ruta la cual se le ha denominado 2-A.

RUTA 2-A	SUMINISTRO DE MATERIA PRIMA A TOSTIÓN, ALMACENADA EN BULTOS
ACTIVIDAD	ADAPTAR RUTA
1	Adecuar tubería para ruta 2
	ALISTAR EQUIPOS
2	Abrir escotilla de tolva de dosificación
3	Encender elevador de café verde
4	Encender transportador de café a tolva de cargue
	DOSIFICAR CANTIDAD DE CAFÉ
5	Transportar bulto a tolva
6	Vaciar bulto
7	Esparcir café con rastrillo sobre nivel indicado
	FINALIZAR PROCESO

8	Empujar café residual con rastrillo
9	Cerrar escotilla de tolva de dosificación
10	Apagar elevador de café verde
11	Apagar transportador de café verde

Tabla 3. Actividades para el suministro de materia prima hacia la etapa tostión almacenada en bultos.

La **Tabla 4** enumera las actividades que se deben realizar para dosificar el café desde los silos de almacenamiento de materia prima, ruta a la cual se le ha denominado ruta 2-B.

RUTA 2-B	SUMINISTRO DE MATERIA PRIMA A TOSTIÓN, ALMACENADA EN SILOS
ACTIVIDAD	ADAPTAR RUTA
1	Adecuar tubería para ruta 2
2	Adecuar tubería de salida de silo seleccionado
	DOSIFICAR CANTIDAD DE CAFÉ
4	Abrir escotilla de tolva de dosificación
5	Abrir compuerta de salida silo seleccionado
6	Cerrar compuerta de salida de silo seleccionado
7	Esparcir café con rastrillo sobre nivel
	ALISTAR EQUIPOS
8	Encender elevador de café verde
9	indicado Encender transportador de café a tolva de cargue
	FINALIZAR PROCESO
10	Empujar café residual con rastrillo
11	Cerrar escotilla de Tolva de Dosificación
12	Apagar Elevador de Café Verde
13	Apagar Transportador de café verde

Tabla 4. Actividades para el suministro de materia prima hacia la etapa tostión almacenada en los silos.

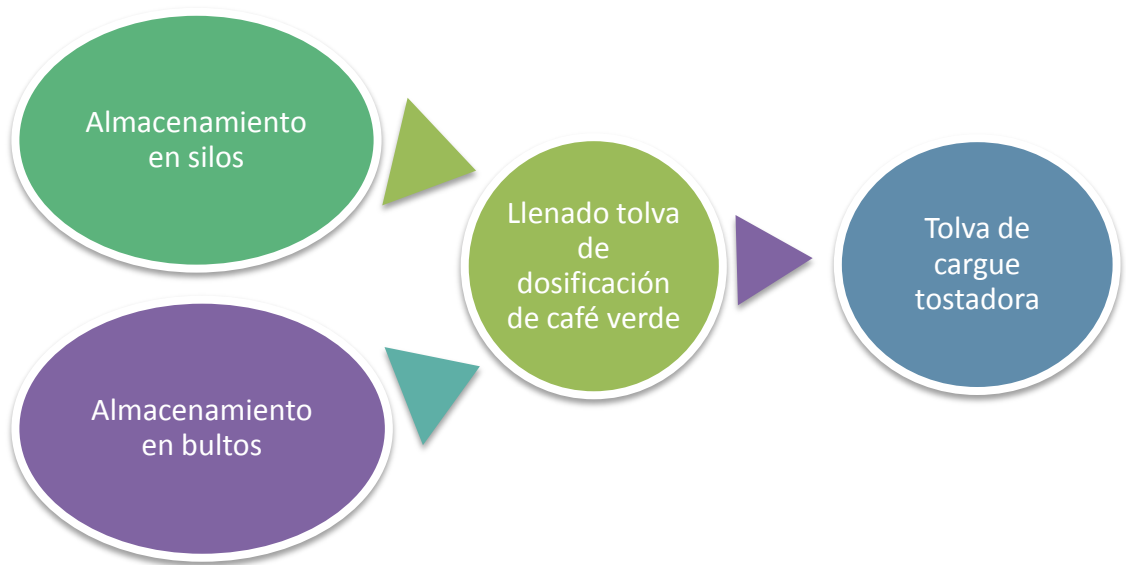


Figura 5. Representación de cargue del café verde en la tolva de la tostadora.

2.2.2. Tostión de café verde:

El proceso de tostión, tiene como objetivo someter el café verde durante un cierto tiempo a una alta temperatura, provocando en el grano una serie de importantes cambios físicos y químicos, donde se desarrollan los compuestos responsables del aroma y del sabor. Dependiendo del punto de tostión y la mezcla realizada, la bebida de café obtenida será diferente desde el punto de vista fisicoquímico y organoléptico.

Se tiene en cuenta que la receta para el producto implica además de la calidad de materia prima, los puntos de tostión, la mezcla y otros parámetros asociados a etapas siguientes del proceso de producción de café tostado.

La máquina tostadora de la empresa tiene como propósito la tostión adecuada de materia prima suministrada desde la etapa de dosificación anteriormente mencionada con una capacidad de 240 kg por cada ciclo de 20 minutos en promedio. Consta de un pistón neumático para la apertura y cierre de la puerta de la tolva de carga de la tostadora que permite descargar el café verde en el interior de la tostadora, posee también un tambor giratorio con un motor para el movimiento del mismo de 5.0 HP a 1700 RPM con doble cadena y reductor, dos quemadores de ACPM de 6.8 galones/hora cada uno, un termómetro para el control de temperatura, un tablero eléctrico con controles de la máquina y para el control de apertura de silos o tolvas de la etapa siguiente a la tostión y para el encendido y apagado del transportador de café verde y el elevador de café verde que pertenecen a la etapa anterior a la de tostión y un ventilador para la succión del cisco del tambor con un motor de 3.6 HP a 1700 RPM marca Siemens.

- **Tostado del grano para la receta del café tradicional:** En la programación de la producción por semana se establecen jornadas de tosti3n. En cada inicio de labor se presenta la adecuaci3n del tostador para obtener un rendimiento apropiado del proceso, garantizando un tostado del grano sin entrar al punto de quemado u ocasionando p3rdidas en tiempo de servicio. En esta transformaci3n del grano se emplean cuatro tipos de caf3 para tostar y se manejan perfiles de tostado diferentes.

Inicialmente se tuesta el caf3 tipo excelso con tiempos de duraci3n en el tostado de 25 minutos aproximadamente, dependiendo del grado de tosti3n, representado por el color del grano de caf3. El segundo tipo es el caf3 tipo caracol con tiempo en la tostadora de 22 minutos aproximadamente. El tercer tipo es el caf3 tipo consumo (denominado as3 por los operarios de la planta a la mezcla de caf3 tipo consumo y caf3 tipo pasilla ar3biga colombiana) con tiempos de tosti3n de 18 minutos aproximadamente. El cuarto tipo es el caf3 pasilla robusta, que presenta cantidades mayores por ser la base para el caf3 tradicional, d3ndole potencia y cuerpo a la bebida con una duraci3n en los ciclos de tosti3n de 20 minutos aproximadamente.

Se debe tener en cuenta que los tiempos presentados son aproximaciones de la duraci3n de cada tanda de 240 kg de caf3 en la etapa de tosti3n, debido a que depende del color que se desea tenga el grano y que el operario a partir de la experiencia ha podido determinar.

Existen diferentes actividades de proceso que componen la etapa de tosti3n, las cuales se describen a continuaci3n.

- **Alistar maquinaria:** El operario a cargo cada vez que realiza el proceso de tosti3n verifica que existe la cantidad de ACPM suficiente en el tanque de alojamiento del combustible, de esta forma si es necesario se llena hasta el nivel requerido. La capacidad del tanque de ACPM es de 275 galones, donde solo 55 galones son necesarios para una jornada de tosti3n.

Una vez realizados los pasos anteriores se enciende el compresor durante 5 min, tiempo aproximado en el cual se alcanzan las 100 libras de presi3n de aire, suficientes para movilizar los instrumentos neum3ticos que se utilizan en el proceso y se activa la electricidad para la maquinaria.

- **Pre calentamiento de la tostadora:** Antes de iniciar el proceso de tosti3n es necesario realizar un pre calentamiento de m3quina tostadora con el fin de verificar el correcto funcionamiento de sus partes y de tener una determinada temperatura dentro del tambor giratorio a la hora de descargar la primera tanda de caf3. Se debe tener en cuenta que este pre calentamiento dura aproximadamente 10 min, tiempo que se considera

suficiente de acuerdo a la experiencia del operario. También se tiene en cuenta la estabilización que va sufriendo la máquina tostadora a medida que se realizan las tostiones, lo que influye directamente sobre los tiempos de tostado que van disminuyendo poco a poco hasta establecerse en 20 min aproximadamente.

Para el precalentamiento de la maquina en el tablero de control manual, se colocan a funcionar otros equipos según el orden de encendido realizado por el operario y que se muestran en la **Tabla 5**.

	PRECALENTAMIENTO Y LIMPIEZA DE LA MAQUINA TOSTADORA
ACTIVIDAD	PRECALENTAMIENTO DE LA TOSTADORA
1	Encender tambor giratorio
2	Abrir válvula manual de combustible de ACPM
3	Encender quemadores de combustible
4	Encender ventilador superior
5	Abrir escotilla manual ventilador superior
6	Cerrar escotilla manual re alimentador de aire caliente
7	Definir set point 290°C
	REALIZAR ENGRASADO DE LAS MAQUINAS
8	Ir al taller por bomba para engrasar la tostadora
9	Engrasar tambor giratorio tostadora
10	Engrasar motor ventilador superior
11	Encender enfriador
12	Engrasar enfriador
13	Apagar enfriador
	REALIZAR LA LIMPIEZA DE LAS MAQUINAS
14	Ir al taller a dejar la bomba para engrasar y regresar con un limpiador de exceso de grasa
15	Limpiar restos de grasa en el enfriador, tambor giratorio y ventilador superior
16	Realizar limpieza de los imanes que se encuentran en el enfriador

Tabla 5. Actividades para el precalentamiento de la máquina tostadora.

Del anterior listado, se explicaran algunos equipos asociados a las actividades más relevantes del precalentamiento:

- **Cilindro:** Es el tambor giratorio con capacidad de 4 bultos de café equivalentes a 240 kg.
- **Quemadores:** Dos quemadores que funcionan con electrodos de combustión de ACPM proporcionando la temperatura suficiente medida en grados Celsius requeridos para la tostión.

- **Ventilador superior:** Es el extractor de humo resultante del proceso de tuestión.
- **Controlador de temperatura:** Es el dispositivo que mantiene la temperatura entre dos valores (Alto y bajo), se establece su set point a 290°C.

Cuando se tienen funcionando los anteriores equipos se verifica visualmente que todo esté en perfectas condiciones, engrasando la máquina confirmando que no haya alteraciones o modificaciones en los elementos de la misma.

- **Tostar:** Luego de suministrar la tanda de café a la tolva de carga, de realizar el precalentamiento del tostador y tener el set point de tostadora establecido, se procede a abrir la compuerta de la tolva de carga para vaciar toda la materia prima dentro del cilindro, se inicia el cronometraje utilizado como guía, para obtener el perfil de tostado del café, se toman muestras del café en pleno proceso verificando el color de tostado, cuando el café está listo se apagan los quemadores, se activa la entrada de agua durante 5 segundos y se abre la puerta para sacar el café.

Las actividades que se realizan para la operación de la máquina y para la realización de la etapa de tostado son las que se muestran en la **Tabla 6**.

PROCESO DE TOSTADO DE CAFÉ VERDE	
ACTIVIDAD	CARGAR CAFÉ EN LA TOSTADORA
1	Cerrar escotilla manual ventilador superior
2	Activar pistón de tolva de carga de tostadora
3	Esperar por descarga de café en tostadora
4	Desactivar pistón de tolva de carga de tostadora
	INICIAR TOSTIÓN
5	Establecer set point tostadora en valor determinado de temperatura en grados centígrados
6	Iniciar cronometraje de tuestión
7	Abrir escotilla manual ventilador superior
8	Tomar muestra
9	Apagar quemadores de la tostadora
10	Activar interruptor de quenching
11	Desactiva interruptor de quenching
	DESCARGAR CAFÉ TOSTADO EN ENFRIADOR
12	Abrir pistón para vaciado de café tostado
13	Supervisar vaciado
14	Cerrar la puerta salida de café tostado

Tabla 6. Actividades para el proceso de tuestión.

De las anteriores actividades se deben realizar algunas aclaraciones con respecto a la toma de muestras de café, las cuales se realizan con el fin de observar el grado de tuestión del grano por parte del operario, que de acuerdo a su experiencia, sabe en qué momento el grano de café está listo para ser vaciado. Hay que destacar que a medida que se realizan más tuestiones de café, el número de muestras tomadas por el operario va disminuyendo debido a la estabilización que realiza la máquina. También se debe tener en cuenta que los cambios en el set point que puede o no realizar el operario dependen también de su experiencia y de la estabilización de la máquina.

Por este motivo la actividad 8 se realiza por primera vez en un tiempo prudente que oscila entre los 10 min a los 15 min y se repite n cantidad de veces, hasta que el entrenamiento visual, olfativo y gustativo del operario sobre el grano tostado de café le permita determinar si es adecuado finalizar la tuestión.

La variedad en el número de la toma de muestras y los tiempos en los que son realizadas dependen de la calidad de café y al grado de tuestión que son parametrizados.

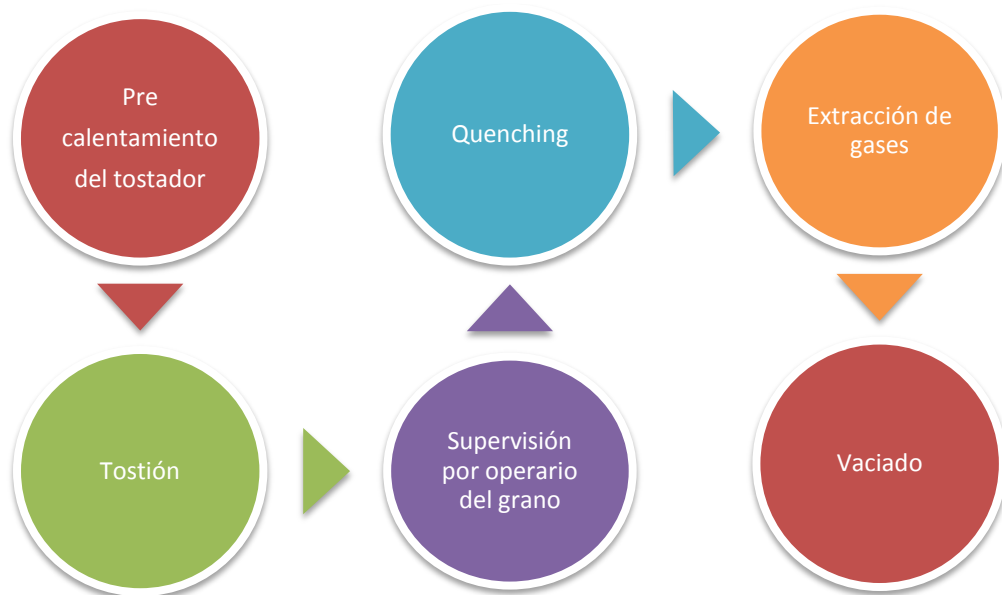


Figura 6. Representación de operaciones en la tuestión de café en almendra.

2.2.3. Enfriado y mezclado de café tostado:

El sistema de enfriamiento y mezclado es un depósito abierto con perforaciones en la base, aspas giratorias con elementos imantados, un ventilador de succión utilizado para enfriar y para succionar el café, con dos compuertas de salida presentes en la base del depósito, una para el café enfriado la cual se maneja desde el tablero de control y otra para la salida de café mezclado la cual se maneja manualmente y tuberías de seguridad para aspersión de agua en caso de incineración del café. Todos los elementos que componen al sistema de enfriamiento y mezclado permiten enfriar, mezclar el café y filtrar objetos metálicos que se puedan encontrar dentro del producto procesado. La primera compuerta se utiliza para depositar el café tostado en la parte inferior de un elevador y ser transportado al silo de premezclado que tiene una capacidad de 1300 kg aproximadamente, el cual permite retornar el café al depósito nuevamente de forma manual a través de una escotilla. La segunda compuerta es manejada manualmente y permite enviar el café mezclado a la base de un segundo elevador para depositarlo a un silo de menor capacidad que presenta dos salidas, una para sacar el café tostado en bultos o a un depósito móvil por medio de una escotilla manual y la otra para enviarlo a la base de un sistema de transporte que al accionarlo desde el tablero de control permite llevarlo a la molienda que es la etapa siguiente a este proceso.

En esta etapa el operario utiliza el mismo sistema para realizar dos operaciones diferentes, la primera es el enfriado del café tostado, éste proceso se realiza cada vez que una tanda de 240 kg es tostada y depositada en el sistema, donde el enfriamiento toma un tiempo aproximado de 8 min utilizando el movimiento giratorio de las aspas y la succión del ventilador se disminuye la temperatura del café tostado. Cuando se termina esta operación existen varias operaciones que pueden ser elegidas o priorizadas por el operario para seguir con el proceso.

La primera opción que puede realizar el operario cuando el proceso apenas ha iniciado y la tolva de premezclado se encuentra vacía. Teniendo en cuenta el orden de tostado de los diferentes tipos de café se realiza el enfriamiento del café excelso, el cual al terminar el proceso es extraído a través de la escotilla manual del sistema hacia la tolva de café mezclado donde se extrae a través de la escotilla manual que posee hacia un depósito móvil especialmente para el café tostado tipo excelso.

La segunda opción que puede realizar el operario teniendo en cuenta que después de tostar el café excelso, se realiza la tostión del café tipo caracol y de la denominada pre mezcla (café tipo consumo y tipo pasilla arábica colombiana), cuando se realiza el enfriamiento para el café caracol, el operario utiliza la primera escotilla para depositar a través del elevador el café en el silo de pre mezcla. Cuando ya se han tostado y enfriado los bultos de café caracol, se procede a realizar el mismo enfriamiento a los bultos de café denominado pre mezcla, pero

de acuerdo a la receta que sigue el operario en cada tanda de enfriado y antes de enviar el café tipo pre mezcla al silo, se realiza una dosificación del café caracol a través de la escotilla manual que posee el silo de pre mezcla durante un tiempo aproximado de 15 s y que se mezcla en el depósito gracias a las aspas giratorias por un corto tiempo no mayor a 1 min. Al terminar esta actividad el operario procede a extraer esta nueva mezcla de café hacia el silo de pre mezcla nuevamente. De acuerdo a la consistencia del grano se crean en el interior del silo dos capas de café tostado. La primera de café tipo caracol y la segunda o capa superior de café tipo pre mezcla (café tipo caracol, café consumo, café pasilla arábica colombiana), este proceso se realiza hasta que el operario calcula de acuerdo a la experiencia que la capa de café tipo caracol dentro del silo de pre mezcla se ha terminado.

La tercera opción que puede realizar el operario es cuando se empieza a realizar el enfriamiento del café tipo pasilla robusta pero en este proceso se dosifica la pre mezcla (café caracol, café consumo, café pasilla arábica colombiana) durante un tiempo a cada tanda de café pasilla robusta, además se le adiciona manualmente una cantidad de café tipo excelso que se encuentra almacenado en el depósito móvil, la cantidad de café excelso la agrega el operario de acuerdo a su criterio y experiencia. Cuando se realiza esta mezcla de los cinco tipos de café en cada tanda de café tostado tipo pasilla robusta que sale de la tostadora, el operario procede a descargar el sistema y llevar el café hacia el silo de mezclado a través de la escotilla manual con la que cuenta el enfriado. Cuando ya pasa el café mezclado hacia el silo de mezclado y éste es llenado a su máxima capacidad, se descarga con la ayuda del elevador y pasa a través de otro imán hacia el silo de mayor capacidad que es donde se realiza la desgasificación del café la cual dura aproximadamente un día.

El listado de actividades realizadas por el operario en el enfriado y mezclado de acuerdo al tipo de café que está en el proceso, se muestran en la **Tabla 7**.

ENFRIAMIENTO Y EXTRACCIÓN DEL CAFÉ TIPO EXCELSO	
ACTIVIDAD	ENFRIAMIENTO DEL CAFÉ TOSTADO
1	Encender el ventilador del enfriador
2	Direccionar la escotilla manual hacia el enfriador
3	Encender enfriador
4	Esperar a que el café tostado se enfríe
DESCARGUE DEL ENFRIADOR	
5	Direccionar la escotilla manual hacia la tolva de café mezclado
6	Abrir escotilla manual del enfriador
7	Esperar a que el enfriador se descargue

	EXTRACCIÓN DEL CAFÉ TOSTADO ENFRIADO
8	Extraer a través de la escotilla manual de la tolva de café mezclado el producto hacia el contenedor móvil
	ENFRIAMIENTO Y EXTRACCIÓN DEL CAFÉ TIPO CARACOL
ACTIVIDAD	ENFRIAMIENTO DE CAFÉ TOSTADO
1	Encender ventilador del enfriador
2	Direccionar la escotilla manual hacia el enfriador
3	Encender enfriador
4	Esperar a que el café tostado se enfríe
	DESCARGUE DEL ENFRIADOR
5	Activar pistón del enfriador
6	Encender elevador de café tostado y enfriado
7	Esperar a que el enfriador se descargue
8	Desactivar pistón del enfriador
9	Apagar elevador de café tostado y enfriado
	ENFRIAMIENTO Y EXTRACCIÓN DEL CAFÉ TIPO PRE MEZCLA (CONSUMO Y PASILLA ARÁBIGA COLOMBIANA)
ACTIVIDAD	ENFRIAMIENTO DE CAFÉ TOSTADO
1	Encender ventilador del enfriador
2	Direccionar la escotilla manual hacia el enfriador
3	Encender enfriador
4	Esperar a que el café tostado se enfríe
	DOSIFICACIÓN DE CAFÉ TOSTADO TIPO CARACOL
5	Dosificar café tostado tipo caracol durante 15 s
6	Esperar a que se mezclen los dos tipos de café
	DESCARGUE DEL ENFRIADOR
7	Activar pistón del enfriador
8	Encender elevador de café tostado y enfriado
9	Esperar a que el enfriador se descargue
10	Desactivar pistón del enfriador
11	Apagar elevador de café tostado y enfriado
	ENFRIAMIENTO Y EXTRACCIÓN DEL CAFÉ TIPO PASILLA ROBUSTA
ACTIVIDAD	ENFRIAMIENTO DE CAFÉ TOSTADO
1	Encender ventilador del enfriador
2	Direccionar la escotilla manual hacia el enfriador
3	Encender enfriador
4	Esperar a que el café tostado se enfríe
	DOSIFICACIÓN DE LA PRE MEZCLA DE CAFÉ TOSTADO Y DE CAFÉ TOSTADO TIPO EXCELSO

5	Dosificar café tostado tipo pre mezcla
6	Adicionar manualmente el café tipo excelso a la mezcla
7	Esperar a que se mezclen los tipos de café
	DESCARGUE DEL ENFRIADOR
8	Direccionar la escotilla manual hacia el elevador para la tolva de café mezclado
9	Abrir escotilla manual del enfriador
10	Esperar a que el enfriador se descargue
11	Cerrar escotilla manual del enfriador
12	Encender elevador de silo de desgasificación
13	Activar cilindro de salida del silo de mezclado
14	Esperar a que el silo de mezclado se descargue
15	Desactivar cilindro de salida del silo de mezclado
16	Apagar elevador de silo de desgasificación

Tabla 7. Actividades para el enfriado y mezclado de café tostado, diferenciadas por el tipo de café.

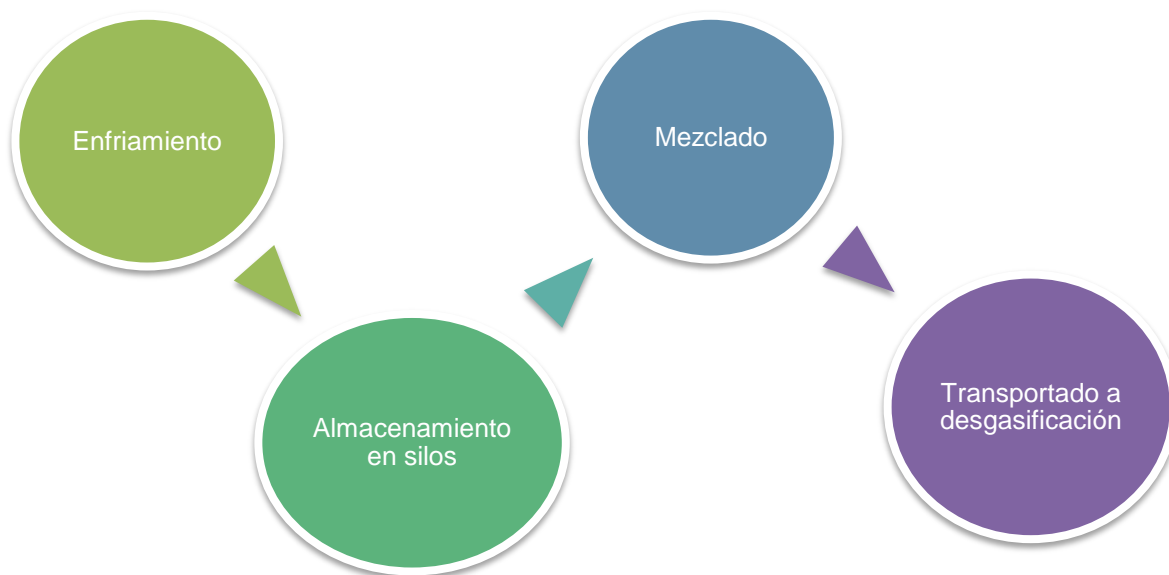


Figura 7. Representación de operaciones en el enfriado y mezclado de café.

Al finalizar la jornada de trabajo o de producción se procede al apagado de las máquinas y a su limpieza, las cuales se presentan en la **Tabla 8**.

FINALIZACIÓN DE LA JORNADA DE TOSTIÓN	
ACTIVIDAD	ENFRIADO DE LA MAQUINA TOSTADORA
1	Cerrar válvula de combustible ACPM
2	Desactivar quemadores de combustible
3	Cerrar escotilla de retroalimentación de la tostadora
4	Abrir escotilla superior de la tostadora
5	Abrir escotilla inferior de la tostadora
6	Dejar funcionando por una hora la tostadora sin carga de café con el pistón de descarga activo
	LIMPIEZA DEL ENFRIADOR
7	Apagar enfriador
8	Limpiar imanes del enfriador
9	Limpiar filtros de virutas del enfriador
10	Limpiar restos de café tostado en el enfriador
11	Apagar ventilador del enfriador
	DESACTIVAR LA FUENTE DE ENERGIA DE INSTRUMENTOS
12	Desactivar aire de instrumentos
13	Desactivar electricidad de la maquinaria

Tabla 8. Actividades para el apagado y finalización de la jornada de tosti3n.

2.3. MODELADO DEL PROCESO PRODUCTIVO DE CAFÉ TOSTADO

2.3.1. Modelo de la Cadena de valor

El modelo de la cadena de valor aplicado a la empresa caso de estudio permitió identificar los procesos que la constituyen, en un acercamiento para definir el proceso. El análisis realizado arrojó como resultado diferentes procesos pertenecientes a la cadena de valor, de los cuales solo a los que están dentro del alcance del proyecto se les identificó los objetos de negocio y a los restantes se les realizó una breve descripción para tener una idea general de la cadena de valor. A continuación se listan dichos procesos:

- **Adquisición de materias primas:** Este proceso es de suma importancia, dentro de la cadena de valor de producción de café tostado en la empresa, porque los controles de calidad durante la recepción de la materia prima permitirán obtener al final un producto de buena calidad.

Existen diferentes funciones que éste proceso debe cumplir dentro de la cadena de valor, que se exponen a continuación:

- **Recepción:** La materia prima se descarga directamente de los camiones sobre la parrilla de recibo donde se realiza un registro de la entrada del café con la documentación pertinente sobre las características de la materia prima y la información sobre el proveedor.
 - **Realizar pruebas de calidad en las muestras:** De la materia prima que llega a la empresa se selecciona una muestra para realizar las pruebas de calidad pertinentes con el fin de obtener información sobre el tipo de café, la humedad, el rendimiento; datos con los cuales se define un precio de compra.
 - **Pesar:** Se debe realizar el pesado del café que se recibe el cual se deposita en una báscula para obtener la cantidad de materia prima por bulto.
- **Adecuación y almacenamiento de materia prima:** En el proceso de adecuación de materia prima se realiza una serie de funciones que clasifican y preparan la materia prima con el objetivo de tener las características adecuadas del grano de café previamente al proceso de tostar café.

Dentro de éste proceso se realizan las siguientes funciones:

- **Despedregar:** Esta función se realiza para el café tipo pergamino el cual debido a la forma en que llega a la empresa necesita un tratamiento especial debido a que la materia prima presenta elementos diferentes a los granos de café, lo que implica condiciones inadecuadas para el proceso. Es por esta razón que se realiza un filtrado a través de la maquina despedregadora para separar dichos elementos.
 - **Trillar:** Para el trillado se hace pasar el café por un molino, que debido a la fricción entre él y los granos de café separa la cascara del grano. La cascara sobrante o cisco que acompaña la almendra de café, en el momento de salir de la trilladora es succionada mecánicamente y se produce una disminución por la extracción del cisco.
 - **Clasificar el café almendra:** La almendra obtenida después del trillado pasa a través del monitor de almendra, denominado así debido a que separa los granos de café según su tamaño en diferentes flujos independientes de producto, luego para terminar de clasificar el café se hace una separación de producto por peso y por vibración a través de las catadoras y estiles, respectivamente.
 - **Almacenar bultos por tipo de café:** El almacenamiento de la materia prima se hace de dos formas, teniendo como única característica el tipo de café. La primera se realiza cuando se recibe el café que es adquirido por la empresa donde se almacena de forma separada; el café pergamino del café verde, los cuales tienen como diferencia que el primero posee la cascara del grano y es necesario el proceso de trillado previamente antes de ser almacenado y el segundo es el café el cual ha sido sometido al trillado por parte del proveedor. La segunda forma de almacenamiento del producto es cuando el café pergamino ya ha sido trillado y clasificado, se vuelve a empacar en bultos y se almacena hasta su utilización.
- **Dosificar de café verde:** El proceso de dosificación de café verde se realiza previamente al proceso de tostar café, cuando la materia prima ya clasificada por tipos de café esta lista para ser utilizada.

En este proceso realiza las siguientes funciones:

- **Dosificar silos:** Esta función se realiza de acuerdo al criterio del operario el cual decide dosificar los silos con la cantidad de material determinado para realizar una pre mezcla entre el tipo de café consumo y el café pasilla arábica.
- **Dosificar tolva de carga de elevador de café verde:** De acuerdo al criterio del operario cuando se dosifica el café excelso y el café tipo pasilla robusta se hace directamente de los bultos almacenados previamente en la tolva del elevador de café verde hacia el transportador.

Los objetos de negocio para estas funciones son:

- ✓ Elementos físicos:
 - Silos de almacenamiento
 - Tolva de alimentación del elevador
 - Elevador de carga
 - Transportador de carga
 - Café en verde (Café consumo con pasilla arábica, café pasilla robusta, café excelso, café caracol)
 - Operario 1
 - Operario 2
- ✓ Elementos de información:
 - Fecha de ingreso
 - Calidad del grano o tipo
 - Cantidad en kilogramos de cada lote
 - Proveedor
 - Numero de silo a almacenar
 - Existencia en silo
- ✓ Elementos de comunicación:
 - Formatos de control de la tolva, materia prima por lote
- **Tostar café:** El proceso de tostar café produce cambios físicos y químicos fundamentales en la estructura y en la composición del café verde, oscureciéndolo y desarrollando el aroma y sabor característicos del café tostado.

Dentro del proceso de tostar café existen las siguientes funciones:

- **Secado de café verde:** Esta función se realiza para eliminar la humedad del grano de café, la cual toma normalmente el 80% del tiempo total de todo el proceso a temperaturas desde los 125°C hasta los 187°C.
- **Pirolisis:** Esta función consiste en una reacción exotérmica espontánea que ocurre al interior del grano de café, cuando éste es sometido a temperaturas alrededor de los 200°C, por un periodo aproximado a un minuto y se caracteriza por la fragmentación de los granos de café. Esta función depende del grado de tuestión que se le quiere dar al grano.
- **Quenching:** Esta función se realiza para detener la reacción de la pirolisis en el grano de café. Tan pronto como es alcanzado el grado de tuestión deseado, se interrumpe la pirolisis rápidamente descendiendo la temperatura de 220°C a 150°C aplicando agua directamente sobre los granos de café en una proporción de 5 litros de agua por cada 140 Kg de café.

Los objetos de negocio para estas funciones son:

- ✓ Elementos físicos:
 - Café para tostar
 - Trolva de carga de la tostadora
 - Tostadora
 - Compresor para aire de instrumentos
 - Tanque de combustible
 - Operario 1
- ✓ Elementos de información:
 - Tipo de café
 - Fecha de tuestión
 - Programación de tuestión
 - Cantidad de café tostado en kg
- ✓ Elementos de comunicación:
 - Formatos de control de programación y ejecución de la tuestión.

- **Enfriar café tostado:** El proceso de enfriamiento de café tostado inicia con la descarga del café proveniente de la tostadora sobre el enfriador-mezclador, donde un ventilador se utiliza para disminuir la temperatura del grano y a la misma vez unas escobillas giratorias retiran algunos posibles elementos metálicos que se puedan encontrar dentro del café utilizando los imanes que se encuentran sujetos a ellas.

Dentro del proceso de enfriar café existen las siguientes funciones:

- **Enfriar café excelso:** Cuando se realiza el enfriamiento del café tipo excelso se procede a descargar los granos dentro de un contenedor móvil.
- **Enfriar café caracol o pre mezcla:** Cuando el café es tipo caracol o pre mezcla (café consumo y pasilla arábica colombiana) se realiza el enfriamiento pero al descargar el café se deposita en un silo temporal para crear una mezcla entre los dos tipos de café.
- **Enfriar café pasilla robusta:** Es el último tipo de café en enfriar ya que éste es la base para la mezcla que se hace después del proceso.

Los objetos de negocio para estas funciones son:

- ✓ Elementos físicos:
 - Enfriador de café
 - Aspersores de emergencia
 - Café tostado para enfriar
 - Silo de almacenamiento temporal
 - Contenedor móvil de almacenamiento temporal
 - Elevador de carga
 - Operario 1

- **Mezclar café tostado:** El proceso de mezclar café consiste en realizar una combinación de los diferentes tipos de café (tipo caracol, consumo, pasilla arábica, pasilla colombiana y excelso), de acuerdo a una cantidad específica para cada uno de ellos, para lograr las características de sabor, color y aroma del producto final. El proceso de mezclado consta de las siguientes funciones:

- **Mezclar café caracol y café pre mezcla:** Estos dos tipos de café se mezclan cuando el café caracol ha sido enfriado y se encuentra en el silo de pre mezcla listo para ser dosificado. Entonces al realizar el enfriamiento del café pre mezcla se dosifica durante 15 s el café caracol que se encuentra almacenado previamente y se dejan los dos tipos de café por 1 min aproximadamente mientras se mezclan y se depositan de nuevo en el silo de pre mezcla.
- **Mezclar café pasilla robusta y excelso:** Esta función realiza la mezcla entre el café caracol, el café pre mezcla, el café excelso y el café pasilla robusta con la diferencia que al finalizar, el café se extrae por la escotilla manual hacia el silo de mezclado hasta que éste llegue al tope de su capacidad.

Los objetos de negocio para estas funciones son:

- ✓ Elementos físicos:
 - Enfriador-mezclador de café
 - Silo de almacenamiento temporal
 - Contenedor móvil de almacenamiento temporal 1
 - Contenedor móvil de almacenamiento temporal 2
 - Operario
 - Cantidades de café a mezclar
- **Realizar pruebas de calidad de la mezcla de café tostado:** Con la totalidad del café tostado y mezclado de acuerdo a las proporciones que establece la receta para la producción, se procede a efectuar las pruebas de calidad para confirmar que se cumple con las características que distinguen al producto final, estas pruebas se realizan sobre las diferentes muestras tomadas durante la jornada de tuestión. En este proceso se desarrollan las siguientes funciones y se realiza para cada una de las muestras anteriormente mencionadas:
 - **Analizar de colorimetría:** Se determina a partir del color del grano de café, el grado de tuestión del mismo de acuerdo a especificaciones técnicas.
 - **Analizar peso:** A la muestra se le realiza una comparación entre el peso del café almendra y el peso del café tostado de la tanda, para determinar la disminución del mismo llamada “merma”.

- **Realizar prueba de taza:** En esta función se muele la muestra de café tostado y se prepara una taza de café, donde se analiza características como fragancia, aroma de la bebida, acidez, amargo, cuerpo, rancidez, sabor residual, impresión global y se determina si la muestra se acepta o se rechaza.

Los objetos de negocio para estas funciones son:

- ✓ Elementos físicos:
 - Muestras de café tostado y mezclado para las pruebas de calidad
 - Colorímetro digital
 - Tostadora de laboratorio
 - Molino de laboratorio
 - Cafetera de laboratorio
 - Operario
- ✓ Elementos de información:
 - Fecha de entrada del grano tostado
 - Fecha de la muestra
 - Lote
 - Cantidad a tostar
 - Número de muestra
 - Hora de muestreo
 - Fragancia
 - Aroma de la bebida
 - Acidez
 - Amargo
 - Rancidez
 - Sabor residual
 - Impresión global
 - Color de tostado
 - Grado de tosti3n
 - Criterios de aceptaci3n o rechazo
- ✓ Elementos de comunicaci3n:
 - Formatos de evaluaci3n sensorial del caf3 tostado

- **Desgasificar caf3 tostado:** Este proceso se realiza al finalizar el mezclado, ya que al tostar el caf3 se produce una cantidad apreciable de gas carb3nico, el cual alrededor del 2% permanece en el interior del grano

hasta por dos semanas y hasta un día cuando el café es molido. Este proceso consta de las siguientes funciones:

- **Transferir al silo temporal:** Esta función se realiza para transferir con la ayuda de un elevador de carga el producto del silo de mezclado al silo de desgasificación antes de ser molido y extraer los últimos posibles residuos a través de un súper imán.
- **Desgasificar granos de café tostado:** El producto en el silo de desgasificación se almacena durante un día completo para que la función se realice.

Los objetos de negocio para estas funciones son:

- ✓ Elementos físicos:
 - Silo de desgasificación
 - Mezcla de café tostado
 - Silo de mezclado
 - ✓ Elementos de información:
 - Tiempo de reposo para la desgasificación
 - Cantidad de café tostado para desgasificar
 - ✓ Elementos de comunicación:
 - Formatos de control para la cantidad de café en el silo de desgasificación
-
- **Moler café tostado:** En la molienda se efectúa la operación mecánica destinada a producir la fragmentación de los granos de café tostado y mezclado, a través de la acción giratoria de una de las dos placas o discos con rebordes que desmenuzan el material entre ellas, lo cual da como resultado la extracción del aroma y de los compuestos solubles durante la preparación de la bebida. Para poder garantizar esto, el café tostado debe presentar una consistencia dura y quebradiza, con un porcentaje de humedad que no supere el 5% o 6% para no perder fragilidad y que la molienda se dificulte.
 - **Almacenar café molido en silo:** Después de la molienda igualmente se presenta la salida de gases, entonces se hace necesario dejar reposar el café molido para luego ser transportado al mecanismo de empaque.

- **Empacar:** Este proceso se realiza con una máquina que permite depositar el producto procesado en diferentes presentaciones, por medio de una selección de parámetros en el empaque se obtiene respuesta del sistema mediante una marca en la franja de la cinta y cada vez que se detecta se ejecuta el mecanismo de sellado con su respectiva fecha de caducidad.
- **Embalar:** Para este proceso se tiene la necesidad de encargar al personal para que embale el producto final en cantidades de 12 bolsas o 24 dependiendo de la presentación.
- **Distribuir:** La distribución de los productos se realiza con automotores de la empresa, proporcionando un servicio directo entre los intermediarios como: tiendas, graneros, depósitos y supermercados y la empresa.

Finalmente el modelo de la cadena de valor se muestra en la **Figura 8** de la siguiente página.

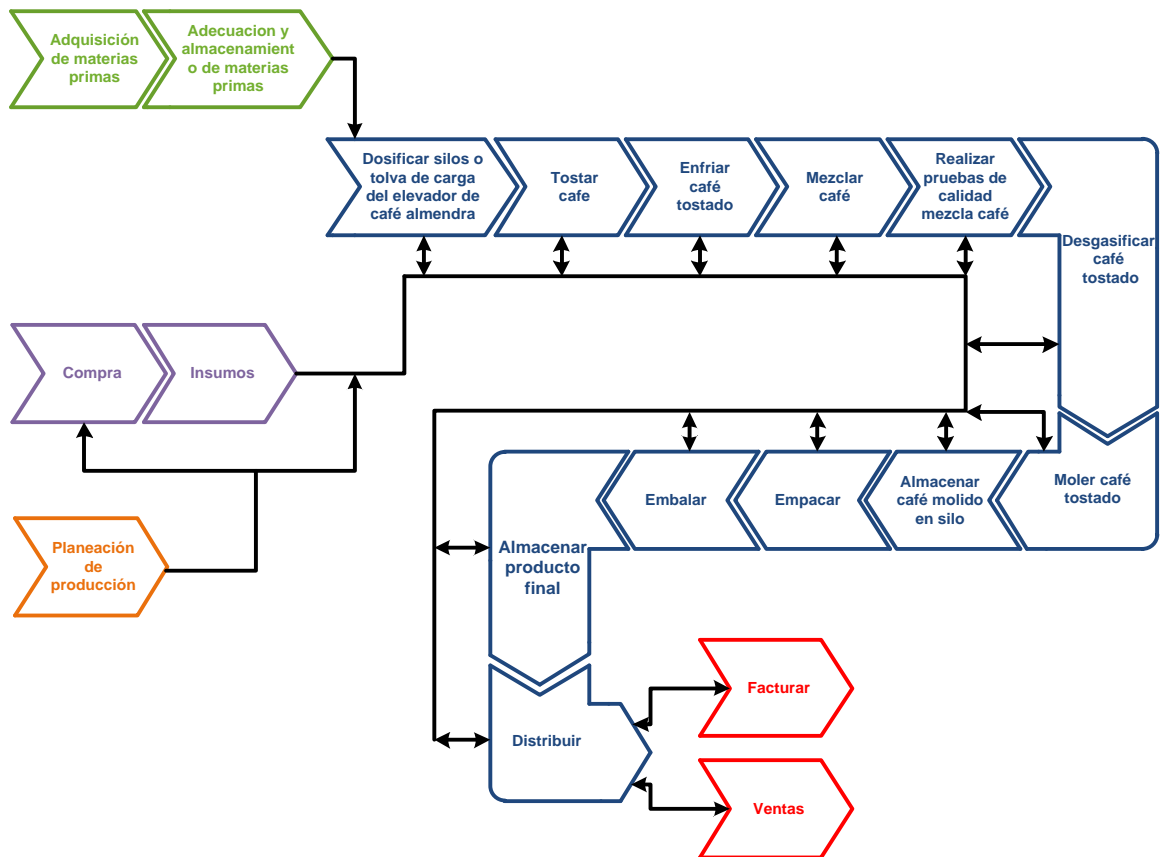


Figura 8. Cadena de valor para el proceso productivo de café tostado.

2.3.2. Modelos del proceso productivo basados en el estándar ISA-88

Teniendo en cuenta las ventajas que ofrece el estándar ISA-88 para el modelado de procesos y analizando por separado las capacidades de los equipos de planta y los procedimientos requeridos para realizar un proceso. Tratando de normalizar el proceso productivo y de facilitar el diseño de un sistema de control de proceso, que permita altos niveles de flexibilidad y reusabilidad. Los modelos que se presentan a continuación representan la información actual que se obtuvo del análisis del proceso de la empresa Café La Palma Ltda. y permitirán un análisis de las falencias que presenta el proceso y de las mejoras que se pueden realizar sobre él.

a. Modelo de proceso:

PROCESO	ETAPAS DE PROCESO	OPERACIONES DE PROCESO	ACCIONES DE PROCESO
Elaborar café tostado	Dosificar	Llenar silos	Adecuar tubería hacia los silos
			Abrir escotilla manual de la tolva de dosificación
			Vaciar bultos en tolva de dosificación
			Transferir café verde hacia silo seleccionado
		Dosificar tolva de carga de la tostadora desde bultos	Adecuar tubería hacia el transportador de café verde
			Vaciar bultos en tolva de dosificación
			Elevar café verde
			Transferir café verde hacia tolva de carga de la tostadora
			Adecuar tubería hacia el transportador de café verde
			Llenar tolva de dosificación desde el silo seleccionado
	Tostar café	Descargar café verde en tostadora	Adecuar tubería del ventilador superior
			Vaciar café en tostadora
		Tostar	Adecuar tubería del ventilador superior
			Aumentar temperatura de la tostadora a 220°C
			Verificar grado de tosti3n del grano de café
Quenching	Adicionar agua durante 10 s		
Descargar tostadora	Vaciar café sobre el enfriador/mezclador		

	Enfriar y mezclar café tostado	Enfriar café	Adecuar tubería del ventilador del enfriador
			Disminuir la temperatura del café
			Transportar cada tipo de café a silo respectivo
		Mezclar café	Adecuar tubería del ventilador del enfriador
			Realizar mezcla de todos los tipos de café
			Descargar café en silo de mezclado
		Desgasificar café	Transferir café a silo de desgasificación
			Almacenar por 24 horas

Tabla 9. Modelo de proceso para la elaboración de café tostado.

b. Modelo físico:

CELULA	UNIDAD	MODULO DE EQUIPO		MODULO DE CONTROL	
Elaboración de café tostado	Dosificado	Llenado silos	Silo de almacenamiento 1	Escotilla manual de entrada 1	
				Escotilla manual de salida 1	
			Silo de almacenamiento 2	Escotilla manual de entrada 2	
				Escotilla manual de salida 2	
			Silo de almacenamiento 3	Escotilla manual de entrada 3	
				Escotilla manual de salida 3	
			Silo de almacenamiento 4	Escotilla manual de entrada 4	
				Escotilla manual de salida 4	
			Elevador 1	Motor 1	
			Tolva de dosificación	Escotilla manual de salida 5	
			Dosificado de café a tolva de tostadora	Tolva de dosificación	Escotilla manual de salida 5
				Elevador 1	Motor 1
		Transportador		Motor 2	
		Tostado	Tostadora		Cilindro de apertura 1
	Quemador de combustible 1				
Quemador de combustible 2					
			Controlador de		

				temperatura
				Sensor de temperatura
				Válvula manual de recirculación de calor 1
				Válvula manual de recirculación de calor 2
				Cilindro de apertura 2
				Motor 3
				Motor 4
	Enfriado y mezclado de café tostado	Mezclado y enfriado	Enfriador/ Mezclador	Electroválvula 1
				Motor 5
				Cilindro de apertura 3
				Compuerta manual de salida 1
				Motor 6
			Válvula manual direccionamiento 1	
			Silo de pre mezcla	Escotilla manual de salida 5
Elevador 2	Motor 7			
Silo mezclado	Escotilla manual de salida 6			
	Cilindro de apertura 4			
Elevador 3	Válvula manual direccionamiento 1			
	Motor 6			
Almacenamiento	Elevador 4	Motor 6		

Tabla 10. Modelo físico del proceso de café tostado.

c. Modelo de control de procedimientos:

PROCEDIMIENTO	PROCEDIMIENTO DE UNIDAD	OPERACIÓN	FASE
Elaborar café tostado	Dosificar café	Llenar silos	Adecuar tubería hacia los silos
			Llenar tolva de dosificación con bultos de café verde
			Elevar café verde
		Dosificar café a tolva de tostadora desde bultos	Adecuar tubería hacia el transportador
			Llenar tolva de dosificación con bultos de café verde
			Elevar café verde
		Dosificar café a tolva de tostadora desde silo	Transportar café a tolva de tostadora
			Adecuar tubería hacia el transportador
			Llenar tolva de dosificación

			desde silo
			Elevar café verde
			Transportar café a tolva de tostadora
	Tostar café	Descargar café	Adecuar tubería del ventilador
			Vaciar café
		Tostar	Adecuar tubería del ventilador
			Calentar café
			Verificar grado de tostión
		Quenching	Adicionar agua
	Descargar tostadora	Vaciar café en el enfriador/mezclador	
	Enfriar y mezclar café tostado	Enfriar café	Adecuar tubería del ventilador del enfriador
			Disminuir temperatura
			Transferir café de acuerdo a su tipo
		Mezclar café	Adecuar tubería del ventilador del enfriador
			Realizar mezcla
Descargar mezcla			
Desgasificar café		Transportar café a silo de desgasificación	
	Almacenar café		

Tabla 11. Modelo de control de procedimientos para la elaboración de café tostado.

3. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO PRODUCTIVO DE CAFÉ TOSTADO

En la realización del diagnóstico del proceso productivo que se lleva a cabo en la empresa Café La Palma Ltda. se analizan todas las acciones que se ejecutan en la producción de café tostado, con la finalidad de identificar las falencias que están presentes a lo largo del proceso de transformación del café verde en el producto final. Éste análisis involucra el estudio de tiempos para las actividades que se realizan a lo largo de todo el proceso, los riesgos a los cuales el operario está expuesto en la realización diaria de éstas actividades y los resultados que arroja el modelado del proceso utilizando el estándar ISA-88.


3.1. ANÁLISIS DE TIEMPOS PARA LAS ACTIVIDADES DEL PROCESO PRODUCTIVO

Teniendo en cuenta el listado de actividades que se definió en la descripción del proceso y el modelo de control procedimental del estándar ISA-88, se realizó un mapeo secuencial de las actividades que realiza el operario durante una jornada de tostión, logrando la identificación de los desplazamientos, pausas y registros que él realiza, con su respectiva duración de tiempo.

3.1.1. Tablas de actividades y tiempos del proceso de producción de café tostado:

Se definió una serie de convenciones con el fin de organizar la información contenida en las tablas, que se presentan a continuación:

- **Actividades de control de operación de equipos y supervisión realizadas por el operario:** Todas estas actividades realizadas por el operario se definieron con el color azul y un número para cada una de ellas.

Actividades de control de operación de equipos y supervisión realizadas por el operario	
	
1	Adecuar tubería para ruta 1, adecuar ruta a silo seleccionado
2	Adecuar tubería ruta 2
3	Adecuar ruta de salida de silo seleccionado
4	Abrir escotilla de tolva de dosificación
5	Cerrar escotilla de tolva de dosificación
6	Encender elevador de café verde
7	Encender transportador de café verde

8	Dosificar café desde bulto
9	Dosificar café desde silo
10	Apagar elevador de café verde
11	Apagar transportador de café verde
12	Esparcir y empujar café con rastrillo
13	Abrir compuerta de salida de silo seleccionado
14	Cerrar compuerta de salida de silo seleccionado
15	Verificar nivel de ACPM*
16	Activar electricidad de la maquinaria*
17	Desactivar electricidad de la maquinaria*
18	Encender compresor de aire*
19	Apagar compresor de aire*
20	Abrir válvula de ACPM*, cerrar escotilla del realimentador, cerrar escotilla superior e inferior de la tostadora
21	Cerrar válvula de ACPM, abrir escotilla del realimentador y abrir escotilla superior e inferior de la tostadora*
22	Abrir escotilla manual ventilador superior
23	Cerrar escotilla manual ventilador superior
24	Encender tambor giratorio de la tostadora y ventilador superior*
25	Encender quemadores
26	Apagar quemadores
27	Definir set point de la tostadora
28	Engrasar tostadora, ventilador superior, enfriador y limpiar exceso de grasa*
29	Activar cilindro de entrada de tolva de carga de la tostadora
30	Desactivar cilindro de entrada de tolva de carga de la tostadora
31	Tomar muestras e inspección visual
32	Activar y desactivar válvula de agua para quenching
33	Activar cilindro de salida de la tostadora
34	Desactivar cilindro de salida de la tostadora
35	Encender ventilador del enfriador
36	Apagar ventilador del enfriador
37	Direccionar escotilla manual del ventilador hacia el enfriador
38	Direccionar escotilla manual del ventilador hacia el elevador por succión
39	Encender enfriador
40	Apagar enfriador
41	Abrir escotilla manual del enfriador
42	Cerrar escotilla manual del enfriador
43	Abrir escotilla de silo de mezclado
44	Cerrar escotilla de silo de mezclado
45	Encender elevador del silo de pre mezcla
46	Apagar elevador del silo de pre mezcla
47	Activar cilindro de salida del enfriador
48	Desactivar cilindro de salida del enfriador
49	Abrir escotilla de salida del silo de pre mezcla
50	Cerrar escotilla de salida del silo de pre mezcla
51	Limpia enfriador
52	Encender elevador de silo de desgasificación
53	Apagar elevador de silo de desgasificación
54	Activar cilindro de salida de silo de mezclado
55	Desactivar cilindro de salida de silo de mezclado
56	Dosificar café excelso

Tabla 12. Actividades de control de operación de equipos y supervisión realizadas por el operario.

- **Desplazamientos realizados por el operario:** Para los desplazamientos que el operario realiza dentro de la planta de producción se definió un color verde claro y una numeración para cada uno de ellos.

Desplazamientos realizados por el operario	
	
D1	Desplazamiento entre área de dosificación y etapa de tosti3n
D2	Desplazamiento entre 3rea de dosificaci3n y 3rea de tanque de ACPM y compresor
D3	Desplazamiento entre 3rea de tosti3n y taller de herramientas
D4	Desplazamiento entre 3rea de enfriado/mezclado y 3rea de dosificaci3n
D5	Desplazamiento entre 3rea de tosti3n y 3rea de tanque ACPM y compresor
D6	Desplazamiento entre 3rea de dosificaci3n y taller de herramientas

Tabla 13. Desplazamientos realizados por el operario.

- **Pausas que realiza el operario:** Estas pausas que se realizan se definieron con un color rojo y una numeraci3n para cada una de ellas.


Pausas realizadas por el operario	
	
P1	Pausa por carga de caf3 a tolva de carga de tostadora
P2	Pausa por pre calentamiento
P3	Pausa por cargue de tostadora
P4	Pausa por proceso de tosti3n
P5	Pausa por vaciado de tostadora
P6	Pausa por descargue del enfriador
P7	Pausa por descargue del silo de mezclado
P8	Pausa para lograr 100 lb de presi3n para aire de instrumentos
P9	Pausa para tomar nueva muestra de tosti3n
P10	Pausa por dosificaci3n desde el silo de pre mezcla

Tabla 14. Pausas realizadas por el operario.

- **Repetici3n de las actividades realizadas por el operario:** La repetici3n de las actividades realizadas por el operario se definieron con un color vino tinto y una numeraci3n para cada una de ellas.


Repetici3n de actividades	
	
R1	Repetir dosificaci3n
R2	Repetir toma de muestra de tosti3n y pausa para tomar otra
R3	Repetir finalizar dosificaci3n

Tabla 15. Repetici3n de actividades realizadas por el operario.

- **Registro y pruebas de calidad realizadas por el operario:** Para el registro de información se definió un color verde oscuro y para las pruebas de calidad se definió un color amarillo, con su respectiva numeración cada uno.

Registro y pruebas de calidad realizadas por el operario	
	
R&I	Registro de indicadores de tostión
D9&Q	Desplazamiento y Pruebas de calidad

Tabla 16. Registro y pruebas de calidad realizadas por el operario.

- **Unidades utilizadas en el proceso:** Se estableció una tabla de colores para las tres unidades que hacen parte del proceso productivo, para la unidad de dosificación se definió el color amarillo claro, para la unidad de tostado el color rosado y para la unidad de enfriado y mezclado se utilizó un color morado




Unidades en el proceso productivo	
Unidad de Dosificación	
Unidad de tostión	
Unidad de enfriado y mezclado	

Tabla 17. Unidades del proceso de productivo.

Con las anteriores tablas se realizó la secuencia de actividades del operario, tratando de abordar el trabajo de una jornada y teniendo en cuenta que dicha secuencia se realiza la mayor parte del tiempo. Hay que aclarar que se pueden presentar cambios teniendo en cuenta el criterio del operario que ejecuta estas actividades y del tipo de café que se vaya a procesar, de igual forma los tiempos por cada actividad son un promedio de los mismos.

En las tablas de tiempos, se utilizaron letras mayúsculas para identificar el batch que está en procesamiento en las diferentes unidades del proceso productivo. De acuerdo a la secuencia de actividades se pueden procesar hasta 3 batch al mismo tiempo en cada unidad de proceso que se tiene.

3.1.2. Fallas encontradas en el proceso a partir del análisis de tiempos:

- **Análisis de desplazamientos:** Los mayores problemas que se encuentran son los desplazamientos que debe realizar el operario durante toda la jornada que desde el punto de vista operacional son tiempos donde no realiza ninguna actividad que tenga que ver con el proceso, ni tampoco toma el descanso que debe tomar, esto debido a la distribución de planta que se tiene en la empresa.
 - a. Proceso de dosificación de silos:** Cuando se realiza el llenado de los silos con café verde, solamente en los desplazamientos entre un área y otra el operario demora 330 s o 5,5 min. Si cada silo se llena con una cantidad máxima de 7800 kg, pero el llenado solo se puede realizar en cantidades de 240 kg de acuerdo a la capacidad que tiene la tolva de dosificación, entonces para poder llenar el silo se deben repetir 32,5 veces las actividades que se han listado en la **Tabla 18**, mostrando que al final del llenado de un silo, el operario ha gastado solamente en los desplazamientos de toda la jornada 10725 s lo que es equivalente a 2,98 horas. Teniendo en cuenta que como está organizado el proceso en este momento faltaría por llenar el segundo silo con la misma cantidad, requiriendo aún más tiempo en los desplazamientos.
 - b. Proceso de precalentamiento de la unidad de tosti3n:** Los desplazamientos que se presentan aqu3 no son tan cr3ticos como en el proceso anterior, porque el pre calentamiento de la tostadora solo se hace una vez al inicio de la jornada, pero vale la pena tenerlos claros para poder ver las mejoras que se pueden hacer en esta parte del proceso productivo. En el pre calentamiento, el operario gasta en los desplazamientos 270 s equivalentes a 4,5 min, donde 3ste tiempo no se repite en toda la jornada.
 - c. Proceso de dosificaci3n desde silo o bultos, tosti3n, enfriado, mezclado y almacenamiento en el silo m3vil, silo de pre mezcla o silo de mezclado:** Despu3s del pre calentamiento los desplazamientos son los mismos a partir del inicio de la tosti3n del primer batch, en los cuales el operario se demora 120 s equivalentes a 2 min por cada batch. Si en una jornada se debe hacer la tosti3n de aproximadamente 7800 kg de caf3, en lotes de 240 kg debido a la capacidad de la tostadora, entonces para lograr lo programado en una jornada se debe repetir 32,5 veces el proceso de tosti3n, lo que

implica que al final de la jornada el operario en los desplazamientos se habrá gastado 3900 s, equivalentes a 1 h y 5 min.

Si se tienen en cuenta los tiempos de la totalidad de los desplazamientos a través de todo el proceso, el operario en total gasta 15170 s, equivalentes a 4,21 h, que se pueden utilizar en actividades como la tostión, enfriamiento, mezclado, almacenamiento de más café, mantenimiento o mejoramiento de los equipos.

- **Análisis de acciones manuales:** Otro problema que se encuentra a través de todo el proceso es la presencia de muchas acciones manuales que dependen de la destreza y memoria del operario, como la apertura y cierre de escotillas manuales, activación y desactivación de cilindros y equipos.
 - a. Proceso de dosificación de silos:** Las acciones manuales que se realizan el proceso de dosificación para iniciarlo y finalizarlo toman un tiempo de 306 s, equivalentes a 5,1 min. Luego cuando se inicia la dosificación de los silos las acciones realizadas por el operario le toman un tiempo de 8 s por cada batch de 240 kg. Para poder llenar los silos con los 7800 kg, de nuevo se deben repetir estas actividades 32,5 veces. Lo que implica que al finalizar la jornada de dosificación se emplean 260 s, equivalentes a 4,33 min en sólo apertura, cierre, activación y desactivación de escotillas, cilindros y equipos. Pero en total de acuerdo a las acciones que se deben hacer al inicio y final de la jornada de dosificación se emplean 566 s, equivalentes a 9,43 min para cada silo que se vaya a llenar.
 - b. Proceso de dosificación de la tolva de carga de la tostadora:** Las acciones que realiza el operario en éste proceso se dividen en dos grupos esencialmente, la primera es cuando se dosifica el producto desde los silos de almacenamiento, donde las acciones toman un tiempo de 152 s, equivalentes a 2,53 min. De acuerdo a la programación de producción que se tiene en la empresa, el 70% del café total que se tuesta en una jornada es dosificado desde los silos. Es decir de los 7800 kg programados se dosifican 5460 kg en total desde los silos de 240 kg a la vez, lo que permite calcular que para dosificar esta cantidad el operario emplea 3458 s, equivalentes a 57,6 min en las acciones de apertura, cierre, activación y desactivación de escotillas, cilindros y equipos.

El segundo grupo de acciones que realiza el operario es la dosificación del producto desde bultos, lo que incrementa el tiempo que gasta el operario el cual es de 493 s, equivalentes a 8,21 min. Debido a que la dosificación desde los bultos almacenados representan el 30% restante del total del café dosificado durante toda la jornada, el tiempo total para dosificar 2340 kg es de 4806,75 s, equivalentes a 80,11 min en las acciones de apertura, cierre, activación y desactivación de escotillas, cilindros y equipos.

- c. *Proceso de pre calentamiento de la unidad de tostión:*** En éste proceso existen varias acciones que no se repiten durante el resto de la jornada de tostión y le toman al operario un tiempo de 319 s, equivalentes a 5,31 min en sólo apertura, cierre, activación y desactivación de escotillas, cilindros y equipos.
- d. *Proceso de tostión:*** Para el proceso de tostión el tiempo que toma el operario en realizar las acciones manuales de esta etapa es de 131 s, equivalentes a 2,18 min para cada batch de 240 kg, es decir que para realizar los 7800 kg el tiempo total que se emplea es de 1 h 11 min, en sólo apertura, cierre, activación y desactivación de escotillas, cilindros y equipos.
- e. *Proceso de enfriado y mezclado:*** Existen tres variaciones para las acciones que el operario realiza en éste proceso debido a los diferentes tipos de café que se manejan y a la forma en que se utilizan los equipos. De acuerdo a la programación se distribuyen los porcentajes para las cantidades de café que se utilizan, debido a la confidencialidad que se debe manejar con el proceso, estos porcentajes no se presentan en éste documento, pero se utilizan para realizar el cálculo de los tiempos.

Primero se inicia con el café tipo excelso el cual en sus acciones manuales se emplea un tiempo de 32 s por cada batch de 240 kg, es decir que para el enfriamiento del porcentaje de café excelso el operario emplea un total de 64 s, equivalentes a 1 min 4 s.

Después sigue el enfriado del café tipo caracol el cual el operario toma el mismo tiempo de que en el enfriamiento del café tipo excelso en cada batch de 240 kg, pero como la proporción total del café tipo caracol varía, el tiempo total empleado por el operario es de 208 s, equivalentes a 3,46 min para enfriar el porcentaje de éste tipo de café.

Luego sigue el enfriamiento del café tipo pre mezcla, pero también se hace la mezcla con el café tipo caracol. Las operaciones

manuales que el operario realiza le toman un tiempo de 36 s por cada batch de 240 kg. Entonces el tiempo total para enfriar el porcentaje de éste tipo de café es de 234 s, equivalentes a 3,9 min en total.

Finalmente el enfriamiento del café tipo pasilla robusta y la mezcla con los anteriores tipos de café el operario realiza las acciones manuales en 74 s por cada tanda de 240 kg. Lo que implica que para realizar el mismo proceso para el porcentaje de éste tipo de café el operario emplea 1202,5 s, equivalentes a 20,04 min en total.

Existen otras acciones que se deben realizar como las pausas por descargue o cargue de equipos, pausas por la dosificación de los tipos de café, la verificación del grado de tostión y acciones de registro y pruebas de calidad, pero estas no pueden ser eliminadas del proceso ya que se deben realizar durante el mismo, por eso no se analizan los tiempos que toman realizarlas. Las actividades completas y sus respectivos tiempos para cada proceso se presentan a continuación en las **Tablas 18, 19, 20, 21, 22 y 23**.

En el análisis de tiempos sirvió para evidenciar la falta de instrumentación, maquinaria y una filosofía de control para los diferentes procesos llevados a cabo, y evidenció que el operario emplea demasiado tiempo en desplazamientos que perfectamente se pueden disminuir y en acciones sencillas desde el punto de vista del control como lo son la apertura, cierre, activación y desactivación de escotillas, cilindros y equipos. Estos tiempos perfectamente podrían acortar el tiempo total de proceso, generando un ahorro en los recursos de la empresa.

PROCESO DE DOSIFICACIÓN DE SILOS																					
		ACTIVIDADES																			
Operario	16	D5	18	D2	P8	1	4	D1	6	D1	8	12	D1	10	D5	19	D5	17			
Tiempos (s)	1	60	2	60	300	300	2	30	3	30	473,1	10	30	3	60	2	60	1			
Unidad de Dosificación												A	A	A							
Unidad de Tostión																					
Unidad de Enfriado y Mezclado																					
Operación								Tiempo (s)													Tiempo (min)
Dosificación de silos								581,1													9,7

Tabla 18. Tiempos para la dosificación de los silos.

INICIO DE PROCESO CON PRECALENTAMIENTO DE LA UNIDAD DE TOSTION Y DOSIFICACION DEL CAFE VERDE DESDE BULTOS																																										
		ACTIVIDADES																																								
Operario	P1															P1																										
	15	18	D2	2	4	8	12	D1	6-7	24-25	20	22	27	D3	28	D3	D6	12	5	D1	10-11	34	23	29	P3	30	22	D1	R1	R2	R2	R2	D1	R3	R2	R2	32	26	33	35-39	P5	34
Tiempo (s)	60	2	60	300	2	473	10	30	2	2	15	2	10	60	120	60	30	10	2	30	2	2	2	2	30	2	2	30	517	110	110	110	30	44	110	110	5	2	2	2	20	2
Unidad de Dosific.	A									A									B																							
Unidad Tostión	A															A																										
Unidad Enfriado Mezcl.																																	A	A								

TIEMPOS DE REPETIR DOSIFICACION		ACTIVIDADES					
REPETICIONES	=	4	8	12	D1	6-7	
Tiempo total (s)	517,1	Tiempos (s)	2	473,1	10	30	2
Tiempo total (min)	8,61						

Operación	Tiempo (s)	Tiempo (min)
Dosificación	864	14,4
Pre calentamiento	349	5,81
Tostado	1195	19,9

TIEMPOS DE REPETIR LA TOMA DE MUESTRA Y DE LA PAUSA		ACTIVIDADES		
REPETICIONES	=	31	P9	
Tiempo total (s)	105	Tiempos (s)	20	90
Tiempo total (min)	1,75			

Tabla 19. Tiempos de la dosificación de la tolva de carga de la tostadora desde bultos, pre calentamiento y tostión.

PROCESO DE DOSIFICACIÓN DESDE SILO, TOSTIÓN, ENFRIADO Y ALMACENAMIENTO EN SILO MÓVIL																																															
ACTIVIDADES																																															
Operario	P1														P2																																
	37	R&I	23	29	P3	30	22	25	27	D1	4	13	9	14	12	D1	6-7	R2	R2	38	41	P6	42	36-40	10-11	D4	12	5	D4	43	P7	44	R2	R2	R2	R2	32	26	33	35-39	P5	34					
Tiempo (s)	2	20	2	2	30	2	2	2	10	30	2	2	120	2	10	30	2	110	110	2	2	150	2	2	2	30	10	2	30	2	120	2	110	110	110	110	5	2	2	2	20	2					
Unidad de Dosific.	B	B	B	B											C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C																						
Unidad Tostión																																															
Unidad Enfriado Mezcl.	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A																							

TIEMPOS DE REPETIR LA TOMA DE MUESTRA Y DE LA PAUSA REPETICIONES			
R2		=	
Tiempo total (s)	517,1	Tiempos (s)	31
Tiempo total (min)	8,61		90

Operación	Tiempo (s)	Tiempo (min)
Dosificación	422	7,03
Tostado	1131	18,85
Enfriado	644	10,73

Tabla 20. Tiempos de la dosificación de la tolva de carga de la tostadora desde los silos, tosti3n, enfriado y almacenamiento en el silo m3vil.

PROCESO DE DOSIFICACION DESDE SILO, TOSTION, ENFRIADO Y ALMACENAMIENTO EN SILO DE PRE MEZCLA																																																
ACTIVIDADES																																																
Operario	P1														P2																																	
	37	R&I	23	29	P3	30	22	25	27	D1	4	13	9	14	12	D1	6-7	R2	R2	45	47	P6	46-48	36-40	10-11	D4	12	5	D4	R2	R2	R2	R2	32	26	33	35-39	P5	34									
Tiempo (s)	2	20	2	2	30	2	2	2	10	30	2	2	120	2	10	30	2	110	110	2	2	150	2	2	2	30	10	2	30	110	110	110	110	5	2	2	2	20	2									
Unidad de Dosific.	C	C	C	C											D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D																							
Unidad Tostión																																																
Unidad Enfriado Mezcl.	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B																								

TIEMPOS DE REPETIR LA TOMA DE MUESTRA Y DE LA PAUSA REPETICIONES			
R2		=	
Tiempo total (s)	517,1	Tiempos (s)	31
Tiempo total (min)	8,61		90

Operación	Tiempo (s)	Tiempo (min)
Dosificación	422	7,03
Tostado	1115	18,58
Enfriado	644	10,73

Tabla 21. Tiempos de dosificaci3n de la tolva de carga de la tostadora desde los silos, tosti3n, enfriado y almacenamiento en el silo de pre mezcla.

3.2. ANÁLISIS DE LOS MODELOS DEL PROCESO PRODUCTIVO BASADOS EN EL ESTÁNDAR ISA-88

3.2.1. ANÁLISIS DEL MODELO DE PROCESO:

Este modelo busca identificar plenamente las acciones que se realizan en el proceso y el orden de las mismas. Evidentemente en el proceso actual existe una secuencia ordenada para la ejecución de dichas acciones, pero éste orden se ve afectado por el criterio del operario. La falta de una estandarización del proceso y de sus actividades hace que el operario decida a su manera las acciones a seguir, lo que implica que el producto final no se hace siempre de la misma forma, viéndose afectada la calidad. El proceso a simple vista por la falta de una estandarización parece complejo en su ejecución, aunque sus actividades no lo sean, mostrando un proceso desordenado y que no aprovecha al máximo los recursos disponibles en la planta. Al realizar el modelo de proceso se organizó de acuerdo a su estructura jerárquica: proceso, etapas de proceso, operaciones de proceso y acciones de proceso como se pudo ver en la *Tabla 9*.

a. *Etapas proceso de dosificación:* Una de las principales falencias en esta etapa es la decisión del operario de llenar dos de los cuatro silos existentes, es por eso que existen tres operaciones diferentes para esta etapa, la primera es cuando se van a llenar dos de los cuatro silos mencionados, la segunda es la dosificación de la tolva de carga de la tostadora desde bultos y la tercera es la dosificación de la tolva de carga de la tostadora desde los silos. Si se hace la dosificación de los cuatro silos con los respectivos tipos de café se podría eliminar la operación de proceso de dosificar la tolva de carga de la tostadora desde bultos, utilizando al máximo la capacidad de los 4 silos que se encuentran en planta.

Otra de las fallas presentes es la adecuación de las tuberías para encarrillar el café hacia los silos o hacia la tolva de carga de la tostadora. Es una acción de proceso que se realiza de forma manual, donde el operario debe subir a una altura considerable y adecuar las tuberías a una de las dos rutas.

b. *Etapas de proceso de tostar café:* Una de las acciones importantes que se realizan en esta etapa es el quenching, que consiste en la aplicación de agua sobre los granos de café cuando el grado de tuestión se ha alcanzado con el fin de fracturar los granos de café y permitan una mejor molienda. La dificultad con esta acción es que se debe realizar por un corto periodo de

tiempo de 5 s, pero en la actualidad el operario lo realiza de forma manual, a veces aplicando más y otras veces menos agua de la necesaria, lo cual puede afectar el grano para la molienda, afectando las propiedades físicas del mismo.

Otra de las fallas en esta etapa es que el operario debido a que debe estar realizando desplazamientos hacia la unidad de tostión o que debe realizar actividades que no tienen que ver con el proceso, no siempre está presente a la hora indicada para tomar la muestra del grado de tostión y ocasionalmente el punto de tostión se pasa del límite establecido, entonces para remediar el problema en el siguiente batch de café del mismo tipo le reduce el punto de tostión para compensar. Claramente ésta decisión no es correcta y perjudica el producto final.

- c. *Etapa de proceso de enfriado y mezclado de café tostado:*** Una de las principales fallas es la dosificación de los diferentes tipos de café al realizar la mezcla, es a la hora de dosificar los granos de café tipo caracol y tipo pre mezcla, ya que se realiza desde el silo de pre mezcla abriendo una escotilla manual por un tiempo que varía de acuerdo a la experiencia del operario. También existe este problema cuando se realiza la mezcla final de todos los tipos de café, porque también se dosifica de la misma forma y además se adiciona manualmente desde un silo móvil con la ayuda de un balde la cantidad de café excelso que el operario cree es la correcta.

Como se puede evidenciar la falta de una estandarización del proceso hace que el operario lo realice de acuerdo a su experiencia y criterio, e implica una variación de las características del café en las diferentes etapas del proceso, obteniendo al final un producto que no es uniforme entre cada batch.

3.2.2. ANÁLISIS DEL MODELO FÍSICO:

El modelo físico permitió conocer los activos físicos que la empresa posee, y agrupar los equipos de proceso y los equipos de control para cada etapa de proceso existentes al definir jerárquicamente en células de proceso, unidades, módulos de equipo y módulos de control todos los equipos. Una de las mayores fallas existentes en todo el modelo físico, es la carencia de lazos de control y de instrumentación que permitan controlar de mejor manera las acciones que se realizan.

a. Unidad de dosificado: En esta unidad no se tiene un control sobre el llenado de los silos y de la tolva de carga de la tostadora.

El primer inconveniente que se tiene es saber el nivel en el que están los silos de almacenamiento, se debe subir por una escalera hasta el techo de los silos y verificar su nivel, también existe un problema al llenar la tolva de dosificación desde los silos, no se tiene un registro de cuanto material sale del silo y cuanto material sigue almacenado.

El segundo inconveniente es la adecuación del sistema de tuberías que existen para poder dirigir el café verde hacia los silos o hacia el transportador de café verde para que se llene la tolva de carga de la tostadora. Este sistema se constituye por una serie de 5 tuberías y escotillas manuales, las cuales se deben acomodar dependiendo de la ruta que se quiere tome el material.

El tercer inconveniente que se tiene resulta de la ubicación de encendido y apagado del elevador y transportador de café verde y el desplazamiento que debe hacer el operario para activar o no estos equipos. Debido a que el operario debe realizar otras actividades mientras la tolva de dosificación se vacía y calcular con su experiencia el tiempo que se demora la tolva en realizar esa acción, en ocasiones se quedan prendido los instrumentos un poco más de lo necesario, esto implica un gasto de energía eléctrica adicional el cual se ve reflejado en los costos de la empresa.

b. Unidad de tostado: En esta unidad el problema más importante que existe es el control de temperatura, debido a que para realizar el control de esta variable en la tostión, no se tiene en cuenta el flujo de combustible que llega a los quemadores, es decir pasa de una temperatura alta a una temperatura baja o viceversa. Tampoco tiene en cuenta la operación de quenching y no activa el agua segundos antes de extraer el café tostado de la máquina.

El segundo problema es el control manual que se debe realizar sobre las escotillas del ventilador superior. Estas permiten la recirculación de calor hacia la tostadora para que esta no sufra descensos de temperatura, también extrae los gases al momento de abrir la tostadora y vaciar el café tostado.

c. Unidad de enfriado y mezclado de café tostado: El mayor problema que se encuentra aquí es la falta de control para la dosificación de los diferentes tipos de café al momento de realizar la mezcla entre ellos, ya que no se tiene una cantidad definida, lo que produce una mezcla que no es homogénea siempre, influyendo en la calidad del producto final.

El segundo problema en esta unidad es un cuello de botella, que se presenta debido a que el enfriador se utiliza también para mezclar los diferentes tipos de café, lo que toma más tiempo en descargarlo. Esto produce que la tostadora tenga que esperar a que el enfriador este desocupado para descargar el producto, haciendo que la tostadora no trabaje a su máxima capacidad, ya que el café tostado podría estar listo en menos tiempo del actual.

3.2.3. ANÁLISIS DEL MODELO DE CONTROL DE PROCEDIMIENTOS:

Al realizar éste modelo se intentó verificar el ordenamiento de las tareas del proceso realizadas sobre los equipos con el fin de obtener el producto final. Es evidente que si existen fallas en los dos modelos anteriores, este modelo que contiene procedimiento, procedimientos de unidad, operaciones y fases, refleja la actualidad del mismo, pero no refleja el correcto funcionamiento del proceso, debido a que no existe una secuencia ordenada para la realización del éste. Ya que varían de acuerdo al criterio del operario que cambia su orden para acoplarse a lo que vaya pasando a medida que avanza el proceso.

3.3. ANALISIS DE LOS RIESGOS DEL PROCESO DE PRODUCCION QUE AFECTAN EL OPERARIO

La automatización industrial no solo se centra en el mejoramiento del proceso a través de la implementación de tecnología para lograr ahorros de tiempo y recursos. También lo hace para minimizar los riesgos que el operario pueda sufrir durante el proceso productivo.

3.3.1. RIESGOS EN LA UNIDAD DE DOSIFICACIÓN:

El operario al realizar las actividades en esta unidad se expone a los siguientes riesgos.

- a.** El riesgo más importante aparece en el llenado de la tolva de dosificación, debido a que realiza el levantamiento de bultos de 70 kg de peso, durante toda la jornada de trabajo, lo que provoca una sobrecarga física y en el futuro puede causar lesiones al operario.
- b.** Cuando el operario realiza la adecuación de la tubería para la dosificación de los silos o para llevar el material a la tolva de carga de la tostadora, debe subir a una gran altura para modificar los equipos y no utiliza una cuerda de seguridad, exponiéndose a una caída que le podría causar lesiones graves. Se debe aclarar que el arnés que se utiliza para este tipo de trabajo si está disponible en la planta.
- c.** La cantidad de polvo a la que el operario se expone cuando se encuentra en esta unidad, debido a la composición de la materia prima puede causar problemas pulmonares en el futuro.
- d.** La repetitividad de las tareas que se realizan durante toda la jornada y numerosos desplazamientos que debe realizar el operario, adicionales al

trabajo pesado que realiza, lo afectan en gran medida al final de la jornada, causándole un agotamiento físico y mental.

3.3.2. RIESGOS EN LA UNIDAD DE TOSTIÓN:

El operario al realizar las actividades en esta unidad se expone a los siguientes riesgos.

- a.** El operario está sometido durante toda la jornada a una temperatura alta debido al calor que se genera en la tostadora y los gases que se liberan. La permanencia prolongada en el panel de control de los equipos, que se encuentra justo al lado de la tostadora, la toma de muestras para verificar el punto de tosti3n exponen al operario de manera directa a los equipos calientes y al movimiento que ellos producen durante el proceso.
- b.** Del anterior riesgo se deriva el segundo que tiene que ver con los cambios de temperatura, debido a los desplazamientos que debe hacer el operario entre las diferentes unidades, se expone a diferentes temperaturas durante toda la jornada de tosti3n, presentándose al final decaimiento en el operario y dolores de cabeza fuertes.
- c.** La falta de comodidad en el puesto de trabajo del panel de control, es otro riesgo debido a que durante toda la jornada debe estar de pie, adem3s la posici3n inc3moda al realizar la toma de muestras para verificar el punto de tosti3n que afecta el brazo y el hombro. Adem3s el cansancio mental que se produce al realizar tareas repetitivas y la toma de decisiones sobre el grado de tosti3n del caf3.
- d.** Cuando el operario se desplaza a la unidad de dosificaci3n pasa muy cerca del re alimentador de aire caliente que tiene la tostadora, lo que puede causar una quemadura.

3.3.3. RIESGOS EN LA UNIDAD DE ENFRIADO Y MEZCLADO:

El operario al realizar las actividades en esta unidad se expone a los siguientes riesgos.

- a.** El riesgo de calor sigue presente en esta unidad debido a que los granos de caf3 salen muy calientes de la tostadora y el operario debe estar expuesto de manera directa a ese calor. La salida del caf3 desde la tostadora genera vapores calientes que aunque son succionados afectan tambi3n al operario por la cercan3a a la hora de ejecutar esa acci3n.

- b.** La posición del trabajo sigue presente en esta unidad debido a la larga jornada de trabajo y a la repetitividad de las actividades. Además la responsabilidad de la toma de decisiones que producen también un cansancio mental.

Uno de los riesgos que se presenta durante todo el proceso y que no pertenece a ninguna unidad, es que el operario no cuenta con un momento para su descanso, donde pueda ser reemplazado o pueda parar el proceso productivo para tomar una pausa y reponerse físicamente.

La clasificación de los riesgos a los que el operario está expuesto se presenta en la tabla

GRUPO DE RIESGO	FACTORES DE RIESGO	FUENTE DE RIESGO	DESCRIPCIÓN
Ambiente de trabajo	Calor	Unidad de tostado, enfriado y mezclado	Calor generado por el horno para calentar el cilindro giratorio de la Unidad de tostión. Granos de café calientes en enfriador y mezclador.
Contaminantes del ambiente tipo químico	Polvo	Unidad de dosificado	Con el suministro de granos de café trillados, desde bultos o desde silos a tolva de dosificación
	Humo	Unidad de tostado	Por la combustión generada en los granos de café.
Productores de sobrecarga física	Posición inadecuada: Parado.	Unidad de tostado, enfriado y mezclado	Por la dinámica y atención prestada al proceso y por carencia de un puesto de control más ornamentado.
	Postura corporal Inadecuada: Extendida.	Unidad de tostado	Por la supervisión y toma de muestras de calidad para determinar el grado de tostión del café.
	Tipo de Trabajo: Pesado, dinámico.	Unidad de dosificado	Por el continuo desplazamiento a dosificar materia prima durante la jornada de tostión, done hay cuatro desplazamientos por cada dosificación entre la unidad de tostado (temperatura alta) y la unidad de dosificado (temperatura ambiente). Por la manipulación de bultos de café.
	Organización de Trabajo: Descanso		Por la carencia de un tiempo de descanso cuando se está ejecutando la jornada de tostión, ya que debe ser ininterrumpido
Productores de sobrecarga síquica	Tarea monótona rutinaria.	Unidad de dosificado, tostado, enfriado y mezclado	Cuando se está llenando los silos de almacenamiento de materia prima; al realizar las dosificaciones segmentadas de materia prima a tostión, el cumplimiento de las múltiples fases de

	Alta decisión y responsabilidad	Unidad de dosificado, tostado, enfriado y mezclado	tostión, enfriado y mezclado. Por el cálculo manual de las dosificaciones de materia prima a tostión. Por la supervisión y determinación del punto de tueste del grano por medio del análisis organoléptico. Por las dosificaciones manuales de café tostado para obtener el producto terminado
Productores de inseguridad tipo locativo	Distribución de puestos	Unidad de tostado, enfriado y mezclado	Por la ubicación cerca a temperaturas altas de del tablero de control manual de la tostadora, enfriador y mezclador, y parte de la unidad de dosificación. También influye esta ubicación, a que el operario pase cerca del re alimentador de aire caliente al desplazarse a la unidad de dosificación.
	Trabajos en alturas	Unidad de dosificado	El trabajo en alturas se da cuando se necesita adecuar las rutas para almacenar materia prima o para llenar la tolva de cargue de la tostadora.

Tabla 24. Riesgos laborales presentes en el proceso.

4. PROPUESTA DE AUTOMATIZACION PARA EL PROCESO PRODUCTIVO

Las soluciones propuestas para el mejoramiento del proceso productivo, nacen a partir del diagnóstico realizado y explicado en el **capítulo 3**. A partir de éste se logró una definición de los componentes hardware y software que pueden ser implementados a futuro en la empresa Café La Palma Ltda. Además se definió la arquitectura para la distribución de los equipos entre sí.

4.1. PLANTEAMIENTO DE LAS SOLUCIONES PARA LOS PROBLEMAS PRESENTADOS EN EL PROCESO PRODUCTIVO

Teniendo en cuenta las dificultades que arrojó el diagnóstico del proceso productivo y también los requerimientos presentados por la empresa, los cuales se muestran en el documento de anexos, se plantearon las siguientes soluciones para el mejoramiento del proceso productivo, a partir del modelo de proceso realizado con base en el estándar ISA-88 y que se presentó en la **Tabla 9**.

4.1.1. SOLUCIONES PARA LA ETAPA DE PROCESO “DOSIFICAR”

a. Soluciones para la operación de proceso “Llenar silos”: Para mejorar la realización de esta operación de proceso se propone la adecuación de la tubería hacia la ruta de los silos, utilizando un cilindro neumático de doble efecto sujetado a una escotilla, controlando la apertura o cierre de la misma a través de la activación o desactivación de una electroválvula de 5/2 vías, conectada a una salida digital de un controlador lógico programable (PLC). Lo cual permitiría el paso de la materia hacia los silos y evitando así que el operario deba realizar esta acción de manera manual a una gran altura.

Para la selección del silo que se debe llenar, también se propone la utilización de un cilindro neumático de doble efecto conectado a una escotilla para cada tubería de cada silo, donde la selección del silo dependerá de la electroválvula que se active a través del PLC para dar paso a la materia prima hacia el silo escogido. Esto permitiría que el operario no realice ésta acción de forma manual a una gran altura.

Para solucionar el problema del encendido del elevador de café verde y evitar el desplazamiento del operario hasta el panel de control existente, se propone la utilización de un sensor para medición de sólidos por límites en la tolva de dosificación, con el fin de que al llenarse la tolva con los 240 kg de café, el sensor se active y envíe una señal al PLC a través de una entrada digital, para que éste encienda el motor del elevador de café verde y lo mantenga

encendido por el tiempo calculado que demora la tolva en descargarse y luego apague el motor. Esto permitirá la eliminación de los desplazamientos hacia el panel de control existente durante toda la jornada de trabajo.

También se propone como tercera solución la utilización de dos sensores de medición de sólidos por límites en cada silo, para saber el nivel bajo y el nivel alto de los mismos con el fin de realizar la dosificación de los silos hasta que el nivel alto se active y envíe la señal al PLC.

Además de la implementación de la nueva instrumentación se propone la capacitación sobre las buenas prácticas que debe realizar el operario que estará al frente del proceso. Una buena práctica es la utilización de los cuatro silos existentes para llenarlos con los diferentes tipos de café durante una jornada de dosificación de los silos que se deberá realizar días antes a la jornada de tuestión.

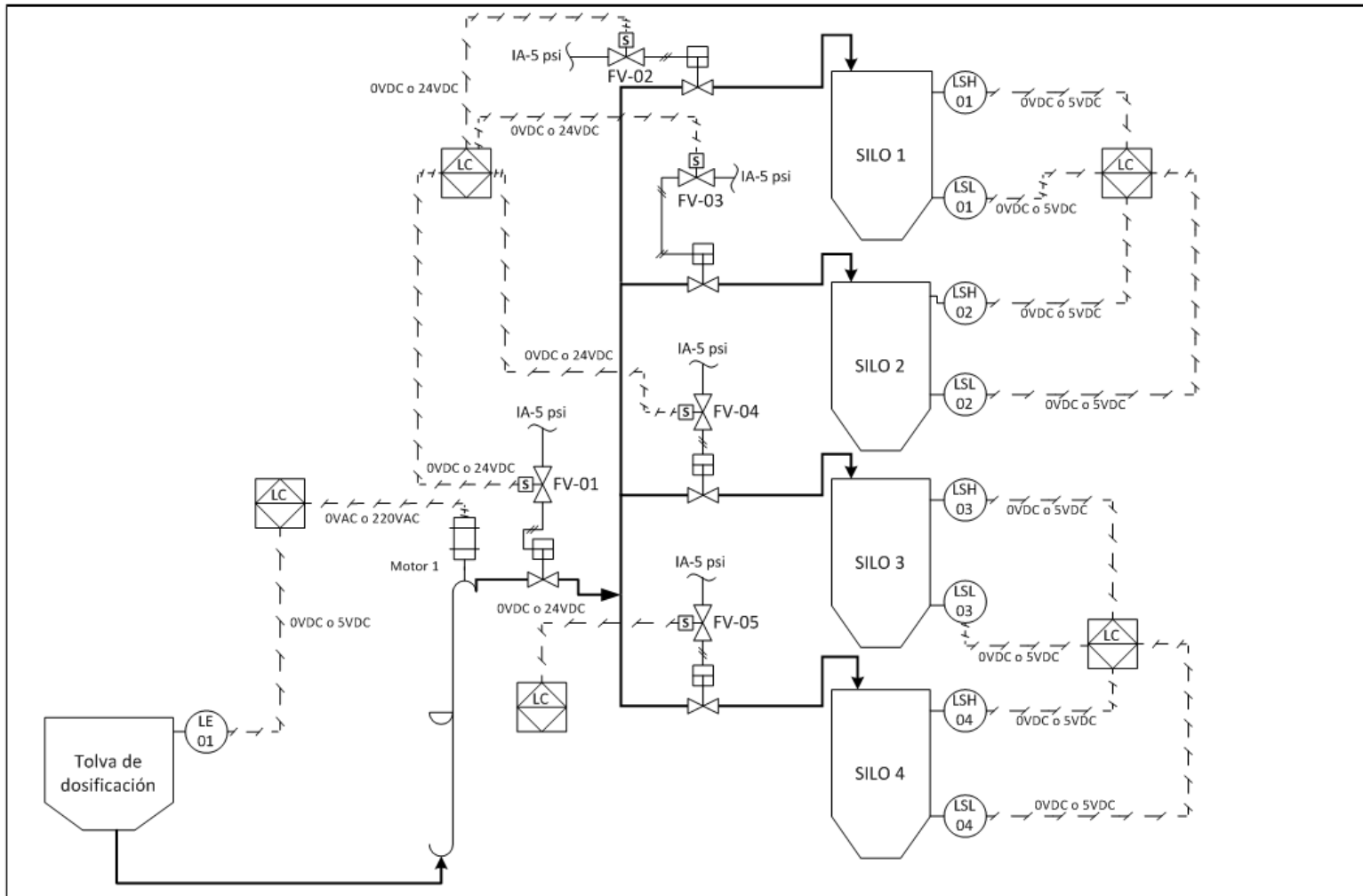
- b. Soluciones para la operación de proceso “Dosificar tolva de carga de la tostadora”:** Para la adecuación de la ruta que lleva el café hacia la tostadora, se propone la utilización de un cilindro de doble efecto para la apertura y cierre de la escotilla que permite llevar el café al transportador de café verde, mediante la activación de una electroválvula de 5/2 vías conectada al PLC, lo que evitaría que el operario realice esta acción de forma manual a una gran altura.

Teniendo en cuenta que se dosificará la tolva de carga de la tostadora solamente con el café que se encuentre almacenado en los cuatro silos de acuerdo al tipo de café, se propone la instalación de cilindros neumáticos de doble efecto que permitan la apertura de cada una de las escotillas de salida de los silos para dosificar la materia prima en la tolva de dosificación hasta que el sensor de nivel se active y a través del PLC se desactive la electroválvula que controla el paso de aire hacia el cilindro neumático seleccionado, de esta manera se podría eliminar el esfuerzo físico que realiza el operario dosificando cada vez que necesita un bulto sobre la tolva de dosificación, lo que disminuye su rendimiento físico significativamente al realizar esta acción una y otra vez durante toda la jornada de trabajo.

De igual manera, la activación del elevador y el transportador de café verde se realizarán cuando el sensor de nivel de la tolva de dosificación se active, encendiendo los motores durante el tiempo que se calcula demora la tolva en descargarse, para luego apagarlos, esto evitaría los desplazamientos cada vez que necesita encender estos equipos.

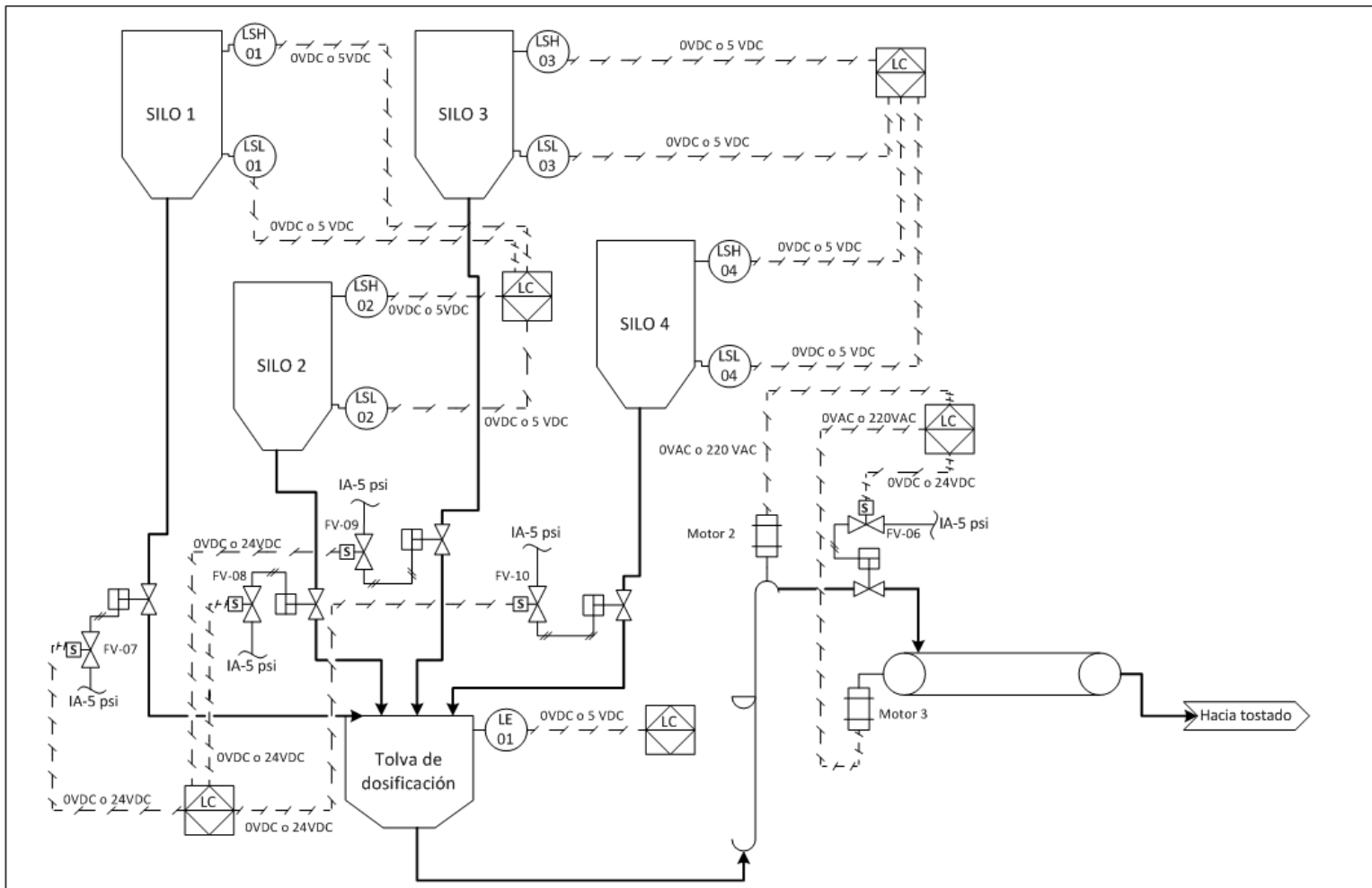
Para poder entender de mejor manera las mejoras propuestas, se muestra el diagrama P&ID de dosificación de café a silos en la **Figura 9** y el diagrama P&ID de dosificación del café a la tolva de carga de la tostadora en la **Figura 10** incluyendo la nueva instrumentación integrada al proceso.

Para una explicación detallada de estos diagramas, se puede dirigir al documento de anexos.



	<p>CAFÉ LA PALMA LTDA Diagrama P&ID para la dosificación de los silos</p>	<p>Desarrollado por: Santiago Tobar Cárdenas</p>	<p>Página: 1 De: 1</p>	<p>Fecha: 11/07/2013</p>	<p>UNIVERSIDAD DEL CAUCA PROGRAMA DE INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL</p>
--	--	--	------------------------	------------------------------	---

Figura 9. Diagrama P&ID para la dosificación de los silos.



	<p>CAFÉ LA PALMA LTDA Diagrama P&ID para la dosificación de la tolva de carga</p>	<p>Desarrollado por: Santiago Tobar Cárdenas</p>	<p>Página: 1 De: 1</p>	<p>Fecha: 11/07/2013</p>		<p>UNIVERSIDAD DEL CAUCA PROGRAMA DE INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL</p>
--	--	--	------------------------	------------------------------	--	---

Figura 10. Diagrama P&ID para la dosificación de la tolva de carga.

4.1.2. SOLUCIONES PARA LA ETAPA DE PROCESO “TOSTAR CAFÉ”

a. **Soluciones para la operación de proceso “Descargar café verde en tostadora”:** La implementación de un controlador lógico programable (PLC), permitirá que acciones de proceso realizadas por el operario de forma manual se eliminen y sean realizadas automáticamente. Al realizar esta operación, el PLC estará encargado de la activación de la electroválvula 5/2, que permite el paso del aire hacia el cilindro neumático de doble efecto el cual se encarga de la apertura y cierre de la tolva de carga de la tostadora. Además el controlador también cerrará la escotilla del ventilador superior a través de un cilindro neumático y su respectiva electroválvula para evitar que el café sea succionado hacia el exterior.

Otra acción a realizar por el controlador será el encendido y apagado del ventilador superior. Esto permitiría la eliminación del tiempo que el operario demora en realizar todas estas acciones de forma manual durante toda la jornada de trabajo.

b. **Soluciones para la operación de proceso “Tostar”:** La primera mejora para ésta operación de proceso será la regulación de la temperatura en el interior de la tostadora, la cual afecta de manera directa los diferentes tipos de café. Es por eso que se propone controlar la temperatura utilizando un transmisor de temperatura, el PLC como controlador y la regulación caudal de combustible ACPM que llega a los quemadores de la tostadora mediante la apertura de una válvula a través de una señal de salida analógica desde el PLC y utilizando un transmisor de presión, esto con el fin de mantener una temperatura constante durante el proceso y que la presión al manipular la apertura de la válvula no caiga lo suficiente como para que suceda un accidente. Se deben tener en cuenta ciertos aspectos de seguridad debido a que se está regulando un combustible altamente inflamable. Es por eso que se debe establecer un procedimiento de seguridad para evitar accidentes, tanto en la lógica que se vaya utilizar para el control de los instrumentos como en la instalación de los equipos y tuberías.

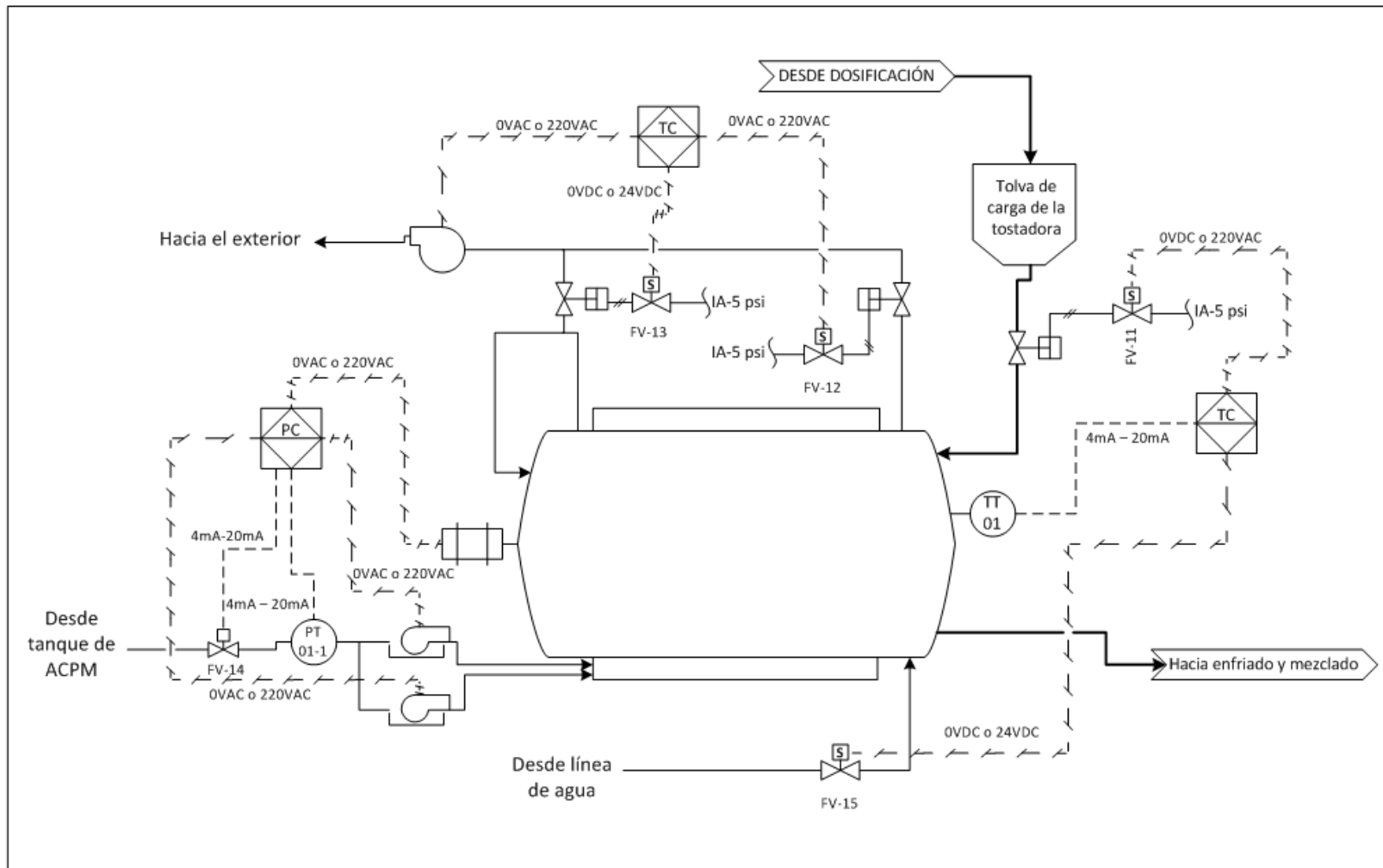
Otra mejora que se propone tiene que ver con la utilización de un cilindro para la apertura y cierre de la escotilla de re alimentación de calor de la tostadora, mediante la activación de su respectiva electroválvula, lo que evitará la ejecución manual de ésta operación.

La tercera mejora que se propone tiene que ver con el encendido y activación de los equipos, como el ventilador superior, el motor del tambor de la tostadora, los quemadores de la tostadora.

- c. **Soluciones para la operación de proceso “Quenching”:** La mejora que se propone para esta operación de proceso es el control de aplicación de agua al café mediante una electroválvula activada por el controlador durante los 5 s exactos que se debe realizar, ésta acción es realizada de forma manual y en ocasiones toma más tiempo del requerido afectando físicamente el café tostado.
- d. **Soluciones para la operación de proceso “Descargar tostadora”:** Aquí la única mejora que se propone es realizar el descargue de la tostadora, activando el cilindro que abre la compuerta de descarga a través de su respectiva electroválvula la cual se encuentra conectada a una salida digital del PLC.

Para entender claramente las mejoras propuestas, se muestra el diagrama P&ID para la tostión de café en la **Figura 11**.

Para una explicación detallada de este diagrama, se puede dirigir al documento de anexos.



	CAFÉ LA PALMA LTDA Diagrama P&ID para la tostión de café	Desarrollado por: Santiago Tobar Cárdenas	Página: 1 De: 1	Fecha: 11/07/2013		UNIVERSIDAD DEL CAUCA PROGRAMA DE INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL
--	--	--	-----------------	----------------------	--	--

Figura 11. Diagrama P&ID para la tostión de café.

4.1.3. SOLUCIONES PARA LA ETAPA DE PROCESO “ENFRIAR Y MEZCLAR CAFÉ TOSTADO”

- a. **Soluciones para la operación de proceso “Enfriar café”:** La primera solución que se propone es realizar la adecuación de la tubería del ventilador del enfriador utilizando un cilindro neumático de doble efecto para la apertura y cierre de la escotilla mediante la activación de una electroválvula conectada al PLC.

La segunda solución es realizar el cambio de uso del silo de mezclado, donde actualmente se almacena el café tostado y mezclado antes de ser pasado al silo de desgasificación, teniendo como nuevo propósito el almacenamiento de uno de los diferentes tipos de café para luego realizar la dosificación al mezclar.

La tercera solución tiene que ver con el ventilador del enfriador, el motor del enfriador, el elevador de pre mezcla y el encendido de los mismos. Donde se propone que ésta acción sea realizada por el PLC. Donde se eliminaría la realización de estas acciones por el operario.

La cuarta solución para ésta operación de proceso es que para descargar los tipos de café excelso, caracol y pre mezcla hacia los respectivos silos de almacenamiento que se tendrán. La apertura de la compuerta de salida hacia el elevador de pre mezcla se realizará a través del PLC y la activación de la electroválvula que permite el paso del aire hacia su respectivo cilindro neumático de doble efecto. Además se adecuarán otros dos cilindros neumáticos con el fin de que a través de la apertura o cierre de sus escotillas, direccionen cada tipo de café hacia el silo de almacenamiento respectivo antes de su dosificación para el mezclado.

Cuando se realice el enfriado del café pasilla robusta, éste será transportado hacia el mezclador a través de la otra compuerta de salida del enfriador, la apertura de éste estará ligada a un cilindro de doble efecto y a la activación de su respectiva electroválvula conectada al PLC.

- b. **Soluciones para la operación de proceso “Mezclar café”:** La solución más importante para esta operación de proceso es el adicionamiento de un nuevo mezclador, donde se realice el mezclado de los diferentes tipos de café. Esto se propone con el fin de utilizar el enfriador solamente para esta actividad y de disminuir el tiempo en que éste se encuentre ocupado permitiendo realizar la tostión en menos tiempo del establecido. En este mezclador se realizará la dosificación de los tipos de café excelso, caracol y pre mezcla, sobre el café

tipo pasilla robusta. Para la dosificación de los tipos de café que se encuentran en los silos de almacenamiento, se tendrá una escotilla donde su apertura dependerá del cilindro neumático de doble efecto y de la activación durante un cierto tiempo de su electroválvula a través del PLC, además se realizará una medición continua del nivel de estos dos silos, con el fin de saber exactamente la cantidad de café en cada uno de ellos.

Otra solución es la activación del mezclador mediante el PLC, además de su descarga utilizando un cilindro neumático de doble efecto y su electroválvula para la apertura de la compuerta.

- c. **Soluciones para la operación de proceso “Desgasificar café”:** Para la transferencia del café tostado y mezclado hacia el silo de desgasificación se propone la utilización del PLC para la activación del elevador de mezclado, además la instalación de dos sensores para la medición de nivel de sólidos por límites, para saber cuándo el silo de desgasificación se encuentre lleno.

Para poder entender mejor las soluciones propuestas, se muestra el diagrama P&ID para el enfriado de café en la **Figura 12** y el diagrama P&ID para el mezclado de café en la **Figura 13**.

Para una explicación detallada de este diagrama, se puede dirigir al documento de anexos.

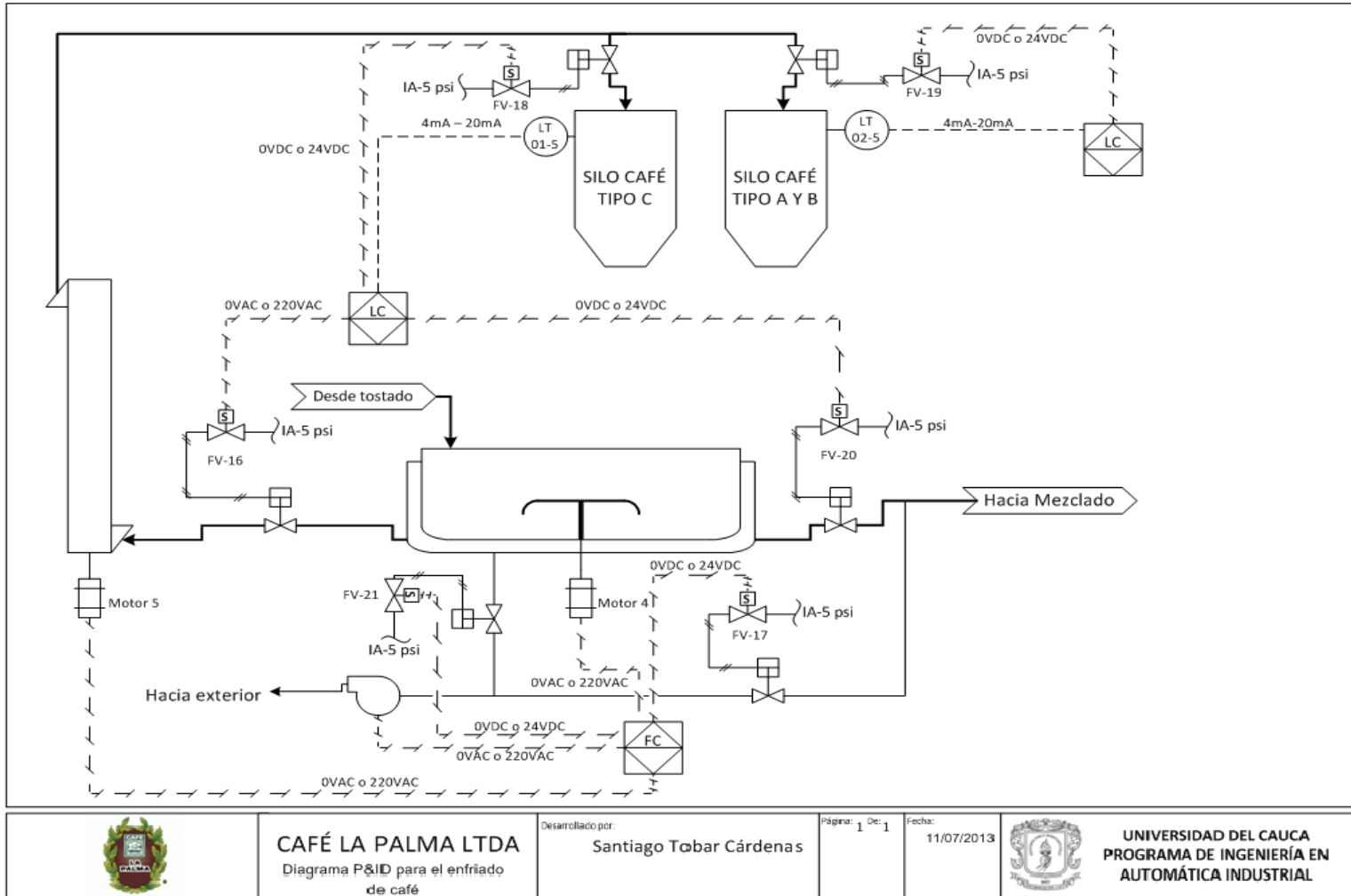
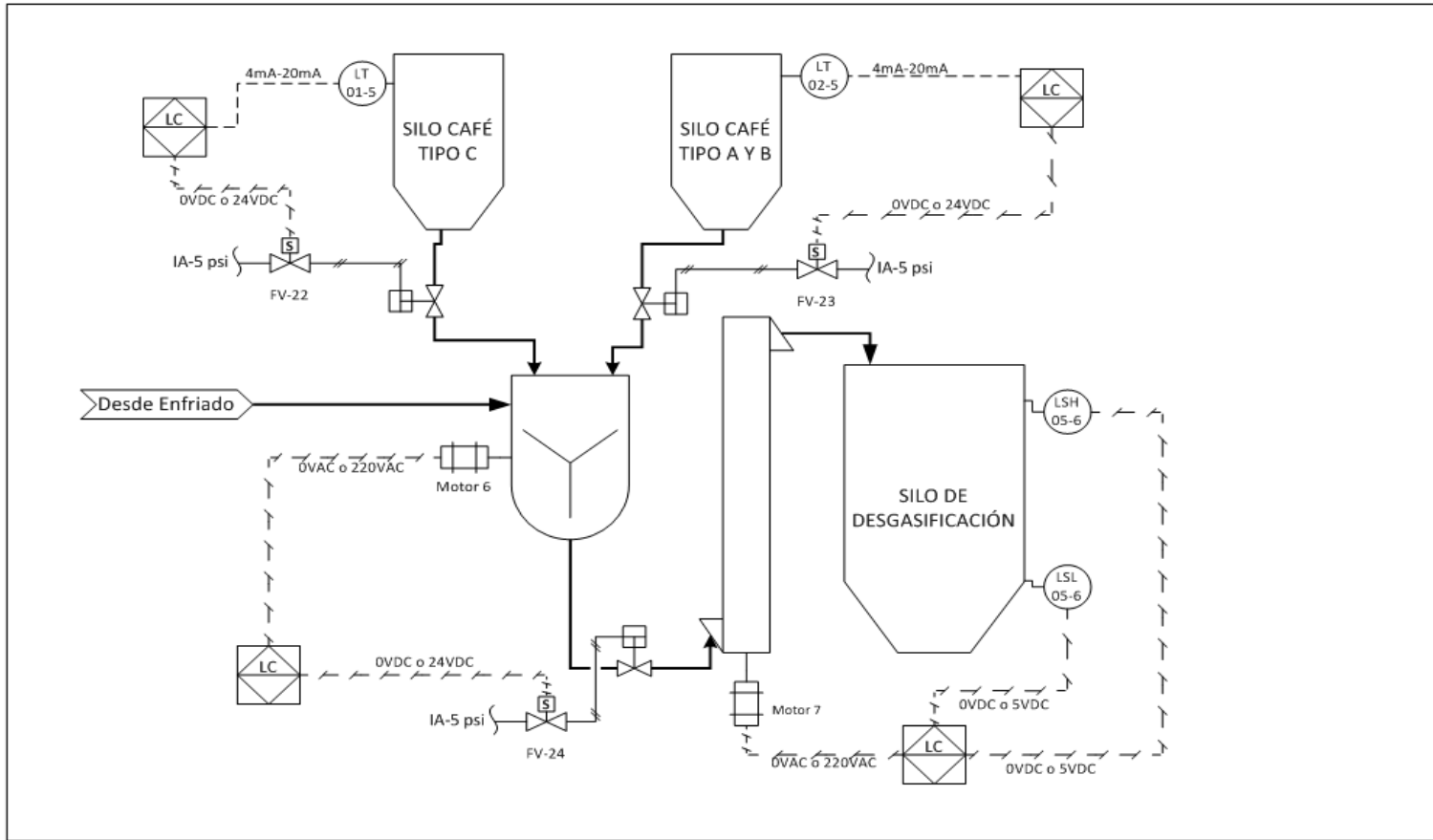


Figura 12. Diagrama P&ID para el enfriado de café.



	CAFÉ LA PALMA LTDA Diagrama P&ID para el mezclado de café	Desarrollado por: Santiago Tobar Cárdenas	Página: 1 De: 1	Fecha: 11/07/2013		UNIVERSIDAD DEL CAUCA PROGRAMA DE INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL
--	---	--	-----------------	----------------------	--	--

Figura 13. Diagrama P&ID para el mezclado de café.

4.2. CRITERIOS PARA LA DEFINICIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL PROPUESTO

Para poder definir los componentes hardware y software que harán parte del sistema de control y supervisión propuesto, se tuvieron en cuenta cinco aspectos importantes.

- **Características del proceso:** Teniendo en cuenta las operaciones que se realizan dentro del proceso productivo se definió la utilización de ciertos equipos para dar solución a los problemas encontrados, como por ejemplo la utilización de un mezclador aparte para realizar esta acción.
- **Equipos instalados:** Se tuvo en cuenta los equipos instalados y sus características, con el fin de hacer una homologación de sus características a equipos modernos con el fin de ser propuestos como solución a algunas de las debilidades encontradas, como es el caso de la utilización de cilindros neumáticos para la apertura y cierre de escotillas manuales.
- **Características de la materia prima:** De acuerdo a que son granos de café los que se manejan a lo largo del proceso productivo de café tostado, los equipos escogidos debían ser los que permitieran el manejo o la medición de sólidos granulados, por ejemplo los sensores de nivel continuo.
- **Presupuesto:** Este criterio se utilizó para generar soluciones de una forma sencilla y tratando de obtener una propuesta donde la inversión de capital fuera la mínima posible. Es el caso de la decisión de proponer la utilización de cilindros neumáticos para la apertura y cierre de las escotillas de dosificación de granos de café, en vez de la utilización de válvulas de acero inoxidable para alimentos sólidos.
- **Compatibilidad:** La compatibilidad entre los equipos utilizados sirvió como criterio para seleccionar los componentes software del sistema de control y supervisión propuesto, debido a que a partir del PLC escogido se debía utilizar el software que fuera compatible con la marca y el modelo del controlador. Esto hizo determinante la escogencia de dichos componentes software.

4.3. SOLUCIÓN PARA EL CONTROL Y SUPERVISIÓN DEL PROCESO

Dentro de las soluciones que se plantean y que están dirigidas a todo el proceso en general, está la implementación de un sistema de supervisión y control, el cual permitirá el pleno conocimiento de los eventos existentes del proceso, el control de las variables de proceso, el manejo de alarmas y la recolección de la información del proceso en una base de datos, esto con el fin de dar el primer paso para realizar una integración vertical en la empresa.

El sistema de supervisión y control deberá permitir la comunicación con los dispositivos de campo a través del controlador lógico programable, con el fin de identificar las anomalías que se presenten durante el proceso productivo y poder tomar acciones correctivas y preventivas, tratando de garantizar la continuidad del mismo y evitar situaciones de emergencia dentro de la planta de producción.

El sistema deberá cumplir con ciertas características que permitan lo anteriormente mencionado, como la adquisición y almacenamiento de datos de forma continua, la utilización de HMI (Human Machine Interface) como herramienta para ejercer la supervisión del proceso completo, la ejecución de acciones de control, la conectividad con otras aplicaciones como las bases de datos y que presente una arquitectura abierta y flexible teniendo en cuenta futuras ampliaciones [9].

Para implementar entonces el sistema SCADA dentro de la empresa Café La Palma Ltda. se definirán los componentes hardware y software del mismo, teniendo en cuenta las mejoras propuestas para el proceso productivo, la arquitectura que conformaran estos teniendo en cuenta las necesidades futuras de la empresa y la comunicación entre los diferentes componentes ubicados en los niveles 0, 1 y 2 de la pirámide de automatización.

4.3.1. COMPONENTES HARDWARE

De acuerdo a las mejoras que se propusieron se tienen estos componentes hardware descritos a continuación:

- a. Instrumentos de campo:** Toda la nueva instrumentación sugerida para realizar las mejoras del proceso productivo como los cilindros neumáticos, las electroválvulas, los transmisores de temperatura y presión, los sensores de nivel para sólidos, son los instrumentos que hacen parte del nivel 0 de la pirámide de automatización, estos componentes estarán conectados al

controlador lógico programable (PLC) a través de E/S analógicas y digitales.

- b. Elementos de control:** Se propuso basar el control de la instrumentación de campo en un controlador lógico programable (PLC), que además de realizar el control de estos, también realizara el encendido y apagado de los diferentes equipos de proceso que se tienen en planta. En el PLC residirá las leyes de control para la realización del proceso. También a través del PLC se recolectaran los datos del proceso con el fin de ser transferidos hacia la parte de supervisión a través de una red de bus de campo.
- c. Elementos de supervisión:** La supervisión del proceso productivo se realizará a través de la estación del operario, la cual estará constituida por un PC, que soportará el HMI, actuando como interface con el operario, el cual podrá monitorear los parámetros y estados del proceso y de los equipos de manera visual, gestionando las alarmas y la recolección de los datos adquiridos por el sistema.
- d. Redes de comunicación:** Para gestionar la información que se obtiene desde los instrumentos de campo hasta la parte de supervisión. Para la primera parte los instrumentos de campo se comunicaran con el PLC a través de las E/S analógicas utilizando señales de 4 mA a 20 mA, a través de las E/S digitales utilizando señales 0V DC– 5V DC y 0V DC – 24V DC. Para la comunicación entre el PLC y el PC de supervisión, se ha propuesto comunicarlos a través de una red Ethernet. Se debe tener en cuenta que el controlador debe contar con el modulo para poderse comunicar a través de ésta red.

4.3.2. COMPONENTES SOFTWARE

- a. Software de supervisión para el proceso:** El sistema necesita de éste software para que el PC de supervisión, soporte el HMI para poder realizar la supervisión y control del proceso productivo y que sea compatible con la red de bus de campo que se utilizará y controlador.
- b. Software de comunicación:** Se debe tener en cuenta que debe haber una configuración de la comunicación entre el controlador y el PC de supervisión, para esto algunos de los fabricantes de controladores manejan sus propios protocolos y su propio software para la configuración de la comunicación.
- c. Software para el almacenamiento de los datos adquiridos:** Para poder almacenar los datos que se adquieren del proceso, el SCADA debe

soportar un software que comunique esta información a una base de datos, y que permita el manejo y la actualización de la misma.

La arquitectura que se propone y la distribución para la comunicación entre los diferentes componentes hardware del sistema SCADA se muestra en la **Figura 14**.

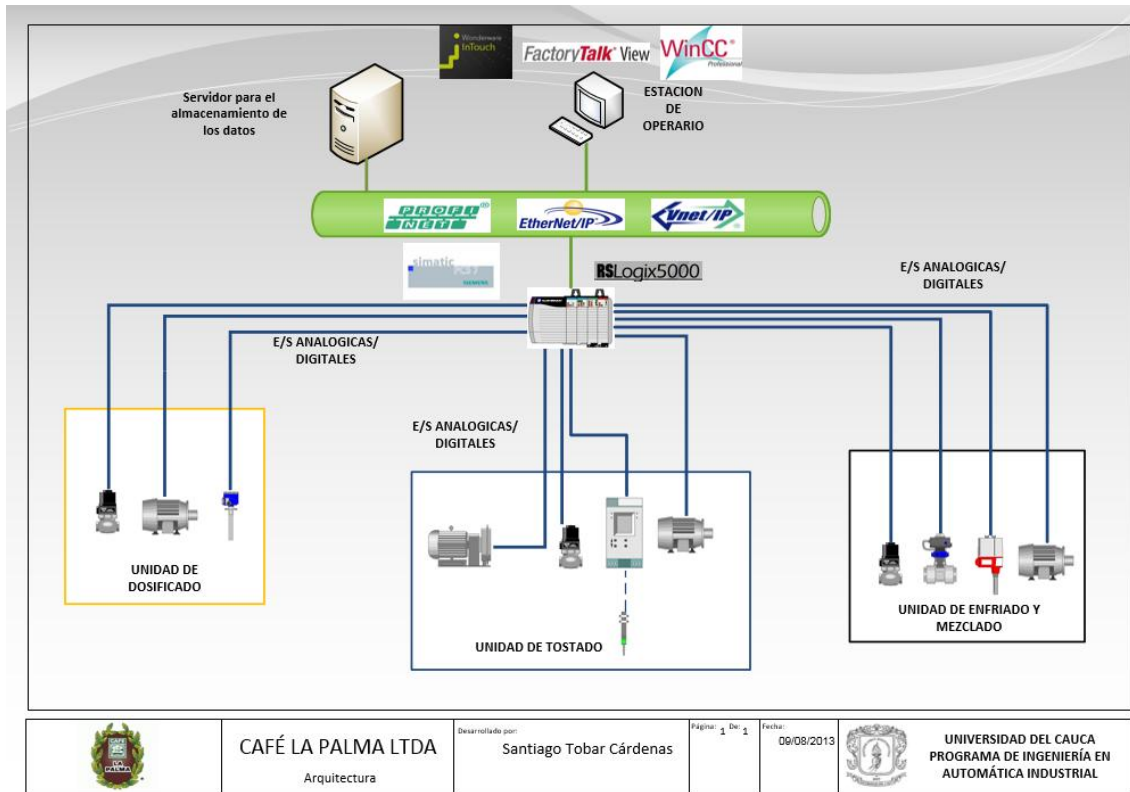


Figura 14. Arquitectura del sistema SCADA

Se puede ver en la figura que los instrumentos de campo y los equipos de proceso, estarán conectados al PLC a través de sus módulos de E/S analógicas y digitales. A su vez el controlador se conectará a una red Ethernet para transmitir los datos a la estación del operario, donde se soporta el HMI y que a través de él se supervisa y se controla el proceso. Esta arquitectura podrá ser utilizada en el futuro para posibles ampliaciones que se realicen en la empresa Café La Palma Ltda.

Las diferentes marcas ahí propuestas para el controlador o para el software para la supervisión y control del proceso son los posibles proveedores que se encuentran en el mercado.

4.4. PROPUESTA PARA EL DISEÑO DEL HMI DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DEL PROCESO

Se debe tener en cuenta que el HMI para la supervisión y control debe tener la capacidad de monitorear los datos del proceso y presentarlos al usuario del HMI estos datos de una forma fácil de interpretar. Debe también tener la capacidad de supervisar permitiendo la posibilidad de ajustar algunas condiciones del proceso desde la estación del operario. La gestión de alarmas es una parte muy importante del HMI, debido que a través de ellas se podrán conocer valores o eventos anormales que ocurran durante el proceso. La capacidad del control que debe tener el HMI también es otra de las características importantes que permite ajustar valores del proceso y mantenerlos dentro de los límites establecidos. Finalmente otra de las características que debe cumplir el HMI, es la capacidad para almacenar datos del proceso cada determinado tiempo, para luego generar históricos con el fin de mejorar el proceso o analizar tendencias.

Es por eso que describiré a continuación el diseño que se propone para el HMI para el proceso de productivo de dosificación, café tostado, enfriado y mezclado en la empresa Café La Palma Ltda. que cumpla con las características anteriormente dichas.

Primero se tuvo en cuenta que debe existir una seguridad a la hora de ingresar al HMI, debido a que éste supervisa y controla el proceso productivo, es por eso que se sugirió que al iniciar se deba realizar un login de usuario y contraseña con el fin de que solo las personas autorizadas puedan ingresar al HMI y que el proceso no se vaya ver afectado con el ingreso de usuarios mal intencionados, en la **Figura 15** se muestra el prototipo para iniciar sesión.

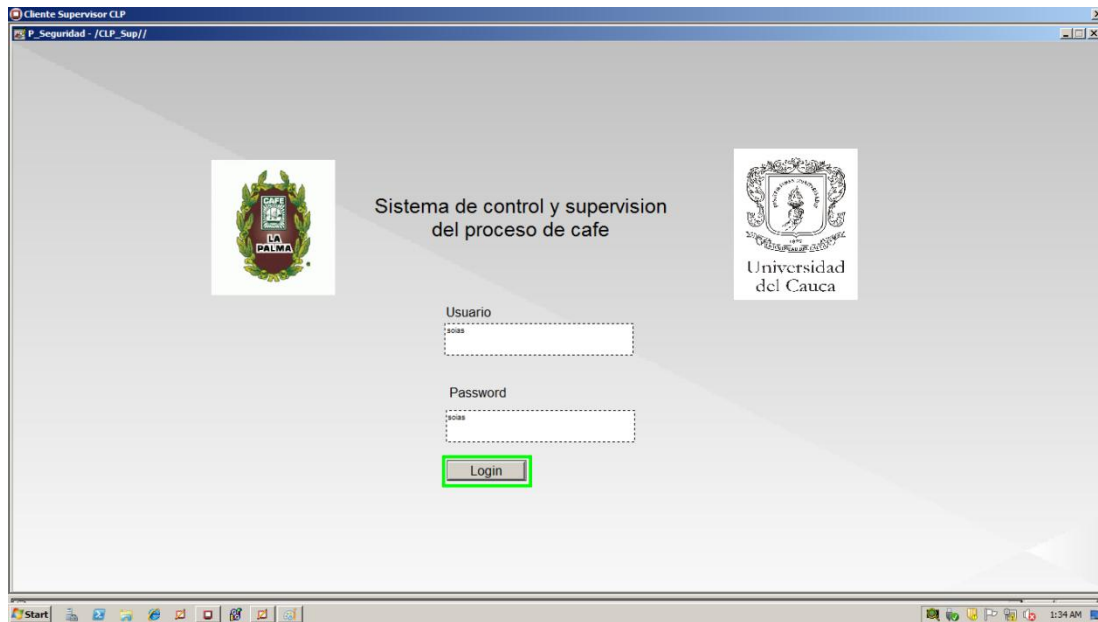


Figura 15. Ventana para el inicio de sesión en el HMI.

Otro de los aspectos que se tuvo en cuenta es que el proceso cuenta con varias etapas, las cuales son muy difíciles de representar gráficamente en una sola pantalla. Es por eso que se decidió la creación de un menú donde el operario pueda escoger que etapa del proceso desea monitorear o si por el contrario lo que desea es acceder a las tendencias del proceso, en la **Figura 16** se muestra esta ventana.



Figura 16. Ventana del menú principal.

A continuación se muestran las diferentes pantallas para las diferentes etapas del proceso productivo.

La primera pantalla hace referencia al proceso de dosificación de los silos de almacenamiento de la materia prima, como se puede ver en la **Figura 17** se cuenta con la representación gráfica de los equipos que se utilizan y de la instrumentación y se muestra el estado de los mismos. Además en el lado derecho se encuentran los botones que le indican al operario que acción quiere realizar. De acuerdo a la lógica que se realice para el control del proceso, se propone que la acción que él elija lleve a cabo lo que se desea, por ejemplo que al oprimir el botón “*Dosificar Silo 1*”, la lógica active los instrumentos y encienda los equipos que permiten que esa acción se lleve a cabo. Existe también un botón de parada de emergencia, para ser utilizado en el momento en que ocurra alguna anomalía y la única opción sea la parada inmediata del proceso que se realiza. En la pantalla para esta operación se estableció un espacio para las alarmas, donde permanentemente el operario podrá observar si existe alguna anomalía, la cual se presentará en dicho espacio.

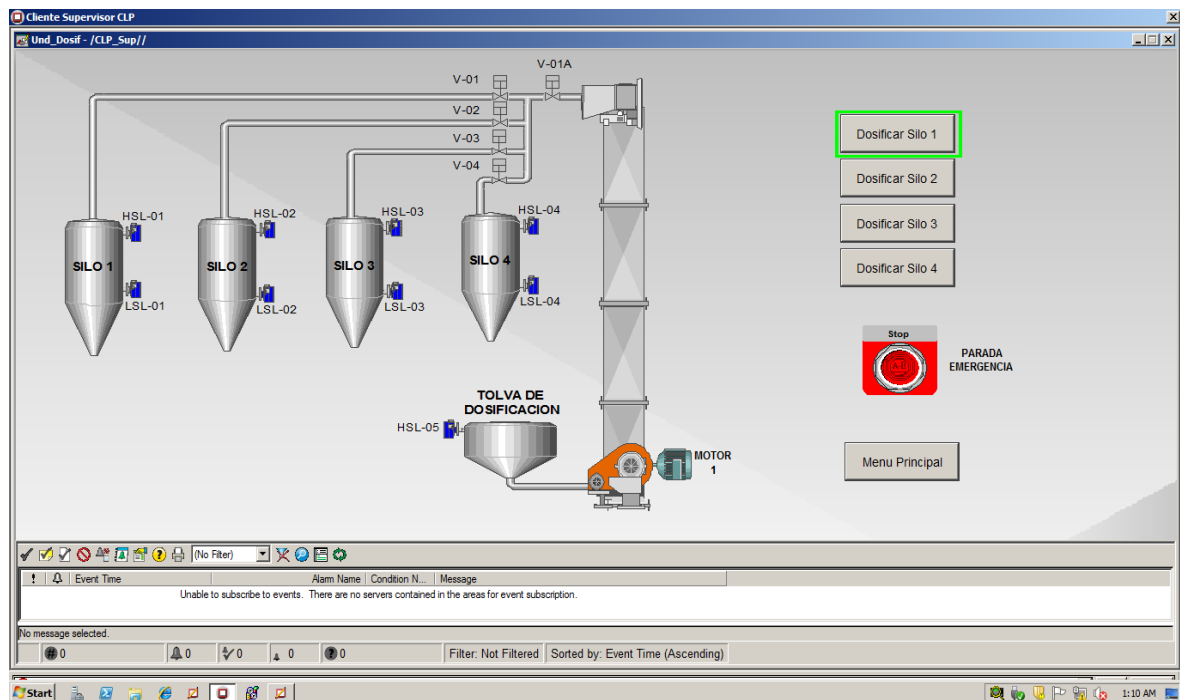


Figura 17. Ventana para el proceso de llenado de silos.

La siguiente pantalla muestra el proceso de dosificación de la tolva de carga de la tostadora. En ésta también se encuentran representados los equipos e instrumentos, su funcionamiento y si se encuentran activos o no. La ventana del listado de alarmas aparece también para permitir al operario estar en permanente observación de los eventos anormales que pueden suceder. Existen también botones para las acciones que se pueden realizar dentro de esta parte del proceso, incluyendo la parada de emergencia. Todo esto se muestra en la **Figura 18**.

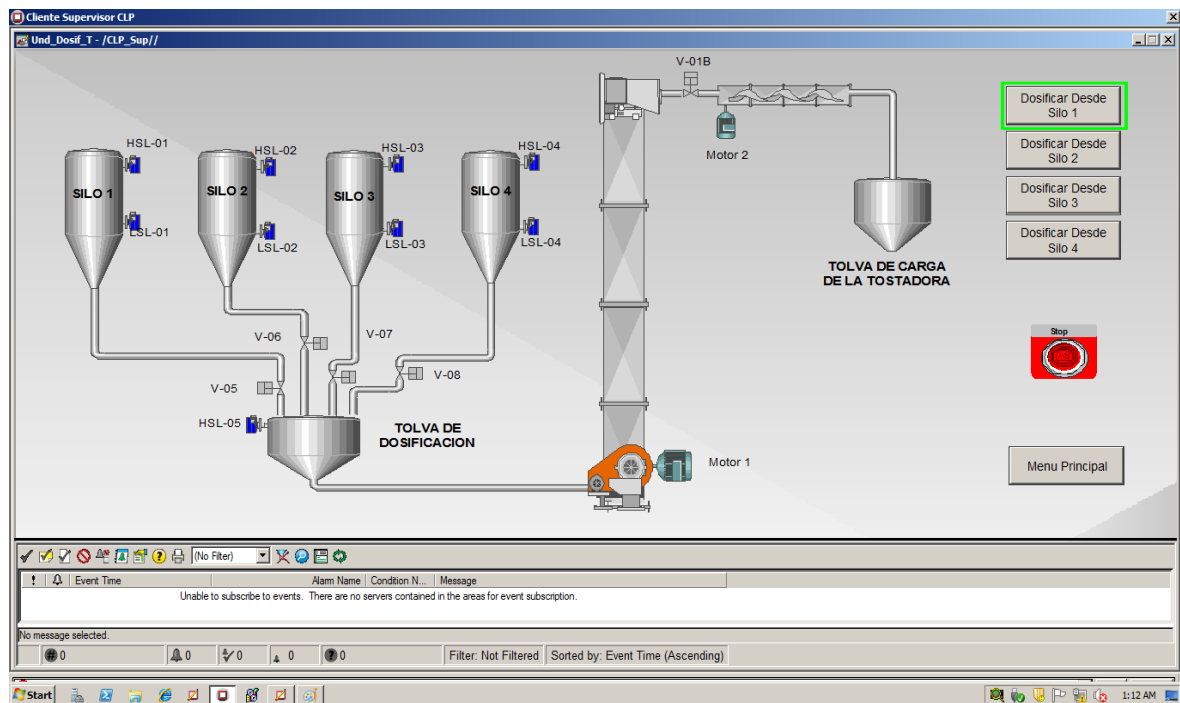


Figura 18. Ventana para el proceso de dosificación de la tolva de carga de la tostadora.

La tercera pantalla se definió para el proceso de tostión, el cual presenta diferentes variables que se deben tener en cuenta como la presión en la línea de entrada de combustible a los quemadores de la tostadora, el porcentaje de apertura de la válvula que regula el caudal del combustible, la temperatura actual de la tostadora. Estas variables son señales analógicas adquiridas a través del PLC, es por eso que su valor se muestra continuamente en la pantalla del HMI. También se muestra los estados de los equipos y de la instrumentación durante todo el proceso, los botones del lado derecho son los que ejecutan las acciones que se desean realizar por parte del operario. En esta pantalla también se mantiene la ventana de alarmas para que el operario tenga pleno conocimiento de ellas el mayor tiempo posible. Esto se muestra en la **Figura 19**.

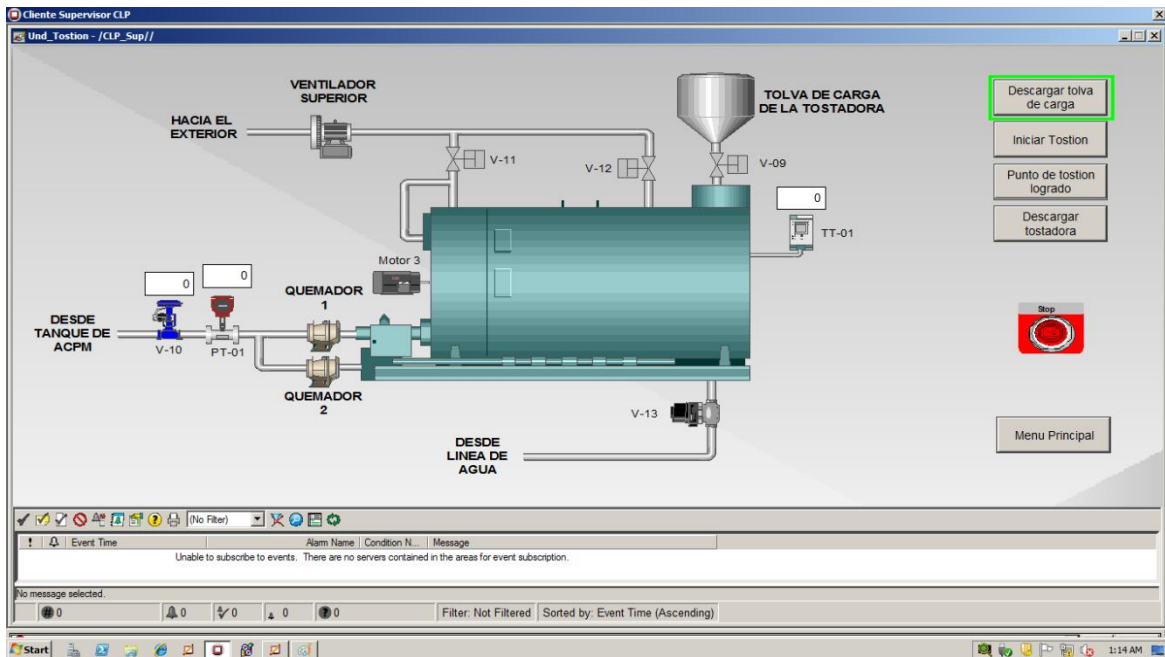


Figura 19. Ventana para el proceso de tosti3n de caf3.

La siguiente pantalla muestra lo concerniente al proceso de enfriado de caf3, se pueden ver los equipos como el enfriador y los silos para el almacenamiento de los tipos de caf3 antes de su mezclada. Los botones al lado derecho tienen como funci3n realizar la transferencia del caf3 despu3s de ser enfriado de acuerdo al tipo a su respectivo silo, activando la instrumentaci3n que permite que estas acciones se realicen de acuerdo a la l3gica establecida en el controlador. Las alarmas siguen estando presentes en esta pantalla para que se muestren los eventos anormales que pueden ocurrir. Todo lo anterior se muestra en la **Figura 20**.

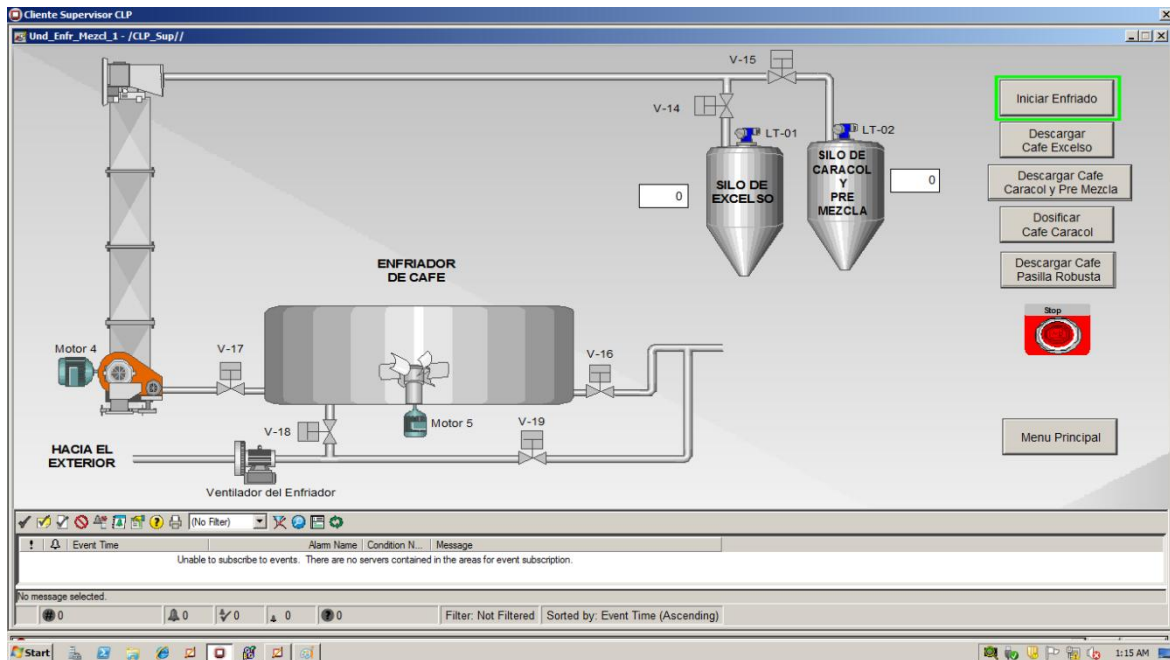


Figura 20. Ventana para el proceso de enfriado de café.

La siguiente pantalla muestra el proceso de mezclado donde se muestran las variables analógicas que existen y se muestra su valor, también se muestra el estado de la instrumentación que envía señales digitales y de los equipos. Los botones a la derecha de la ventana permitirán realizar la dosificación del café que se requiera durante el tiempo establecido dentro de la lógica y realizar el mezclado de los diferentes tipos de café, para luego ser transportado hacia el silo de desgasificación. La ventana de alarmas se encuentra presente de nuevo en esta pantalla.

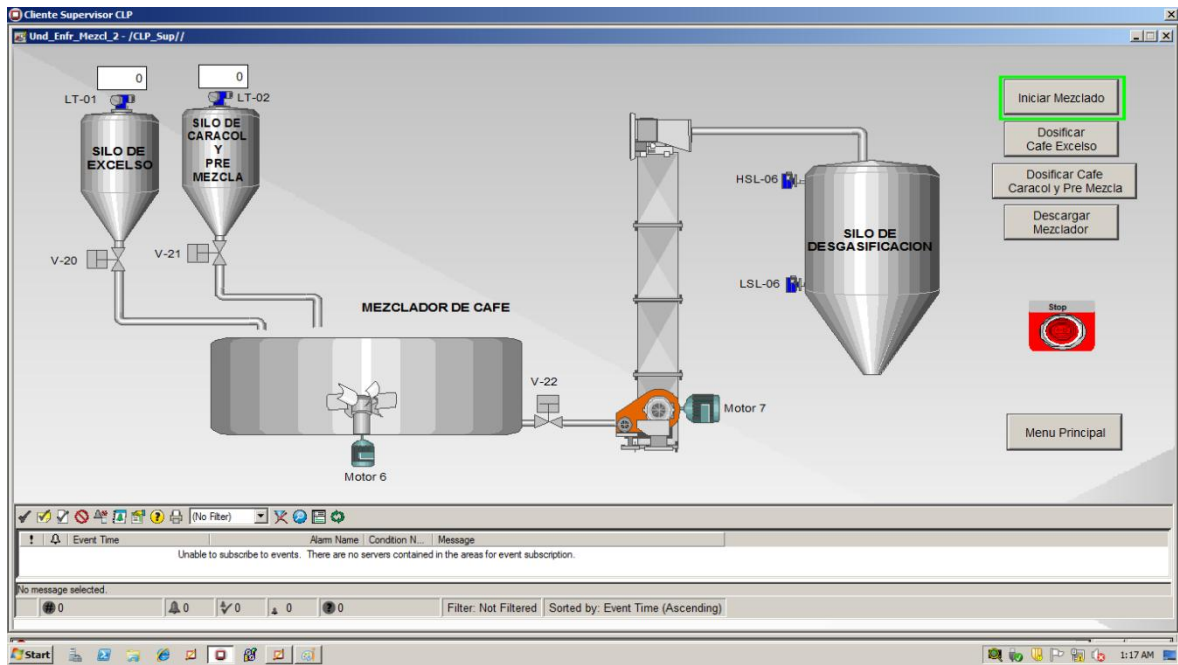


Figura 21. Ventana para el proceso de mezclado de café.

La última pantalla que se presenta es la de las tendencias, la cual se propone para realizar los gráficos de los cambios que han sufrido las diferentes variables y de los datos adquiridos por el sistema SCADA durante un periodo de tiempo. Ésta se muestra en la **Figura 22**.

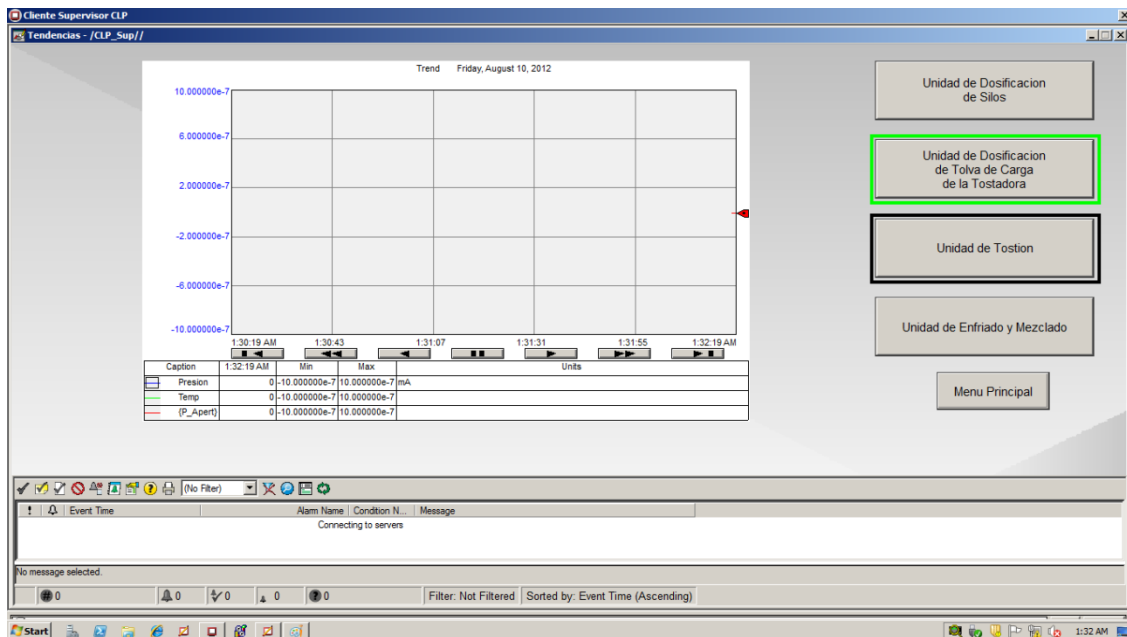


Figura 22. Ventana para las tendencias del proceso productivo.

Se debe aclarar que a pesar que el diseño del HMI para el proceso de producción de café tostado, no se encuentra dentro del alcance del proyecto, se realizó una serie de pantallas, que pueden ser tomadas como guía para el diseño del mismo en el futuro.

Finalmente y como complemento para la propuesta de diseño del HMI, se plantean las posibles variables que se pueden manejar para las alarmas y los eventos no deseados.

- Alarma de temperatura alta: Evento que ocurriría si el valor de la temperatura medida dentro de la tostadora sobre se acerca a los 250°C, donde el operario debería tomar acciones correctivas para no permitir el aumento de la temperatura más allá de ese valor.
- Alarma de temperatura muy alta: Evento que ocurriría si el valor de la temperatura medida dentro de la tostadora sobrepasa los 250°C, donde el operario deberá sacar inmediatamente el café de la tostadora, debido a que los granos se pueden incendiar y perder las propiedades físicas y químicas que dan las características de olor, color y sabor al producto final.
- Alarma de temperatura baja: Evento que ocurriría si el valor de la temperatura está por debajo de los 140°C y no ha aumentado durante un tiempo a pesar de que la instrumentación esté configurada para ello.
- Alarma de presión baja: Evento que ocurriría si la presión en el flujo de combustible ACPM disminuye a tal medida que podría ocasionar un accidente, pero que el operario estaría a tiempo de realizar acciones para corregir dicho valor
- Alarma de presión muy baja: Evento que ocurriría cuando la presión en el flujo de combustible ACPM ha disminuido a tal punto donde la única acción por parte del operario para evitar un accidente, sería la detención inmediata del proceso de tostado.
- Alarma de presión alta: Evento que ocurriría cuando la presión en el flujo de combustible ACPM aumenta a tal medida que podría causar un accidente.
- Alarma de presión muy alta: Evento que ocurriría cuando la presión en el flujo de combustible ACPM ha pasado el límite permitido y la única acción para evitar un accidente es la detención inmediata del proceso de tostado.
- Alarma de nivel de sólidos alta: Evento que ocurría si el nivel alcanzado dentro de los silos de almacenamiento temporal A o B y c están llegando a su máximo valor.

- Alarma de nivel de sólidos muy alta: Evento que ocurriría si el nivel alcanzado dentro de los silos de almacenamiento temporal A o B y C sobre pasan el valor máximo.

4.5. ANÁLISIS DE TIEMPOS PARA LAS ACTIVIDADES DEL PROCESO CON LAS MEJORAS PLANTEADAS

Para poder tener una idea de cuál será el impacto de la propuesta de automatización, se realizó un análisis de los tiempos de las actividades realizadas por el operario, teniendo en cuenta la utilización del sistema de control y supervisión propuesto.

Donde se definieron las nuevas actividades, las repeticiones, los desplazamientos y las pausas realizadas por el operario a partir de las mejoras propuestas, las cuales se muestran en las siguientes tablas.





Unidades en el proceso productivo	
Unidad de Dosificación	
Unidad de tostión	
Unidad de enfriado	
Unidad de mezclado	

Tabla 25. Unidades del proceso productivo de la propuesta.


Repetición de actividades	
	
R1	Repetir dosificación
R2	Repetir toma de muestra de tostión y pausa para tomar otra

Tabla 26. Repeticiones realizadas por el operario en la propuesta.

Actividades de control de operación de equipos y supervisión realizadas por el operario con la propuesta realizada	
	
Seleccionar ruta 1	1
Seleccionar ruta 2	2
Seleccionar silo a llenar	3
Abrir escotilla de tolva de dosificación	4
Cerrar escotilla de tolva de dosificación	5
Realizar dosificación de silos o realizar dosificación de tolva de carga	6
Dosificar café desde bulto	7
Dosificar desde silo seleccionado	8
Esparcir y empujar café con rastrillo	9
Verificar nivel de ACPM*	9
Activar electricidad de la maquinaria*	10
Desactivar electricidad de la maquinaria*	11
Encender compresor de aire*	12
Apagar compresor de aire*	13
Iniciar precalentamiento	14
Finalizar jornada de trabajo	15
Realizar tostado	16
Realizar llenado de tostadora	17
Definir set point de la tostadora	18
Preparación de maquinaria	19
Tomar muestras e inspección visual	20
Finalizar tostado	21
Iniciar enfriado	22
Finalizar enfriado	23
Descargar a silos temporales A o B y C	24
Iniciar mezclado	25
Descargar enfriador hacia mezclador	26
Dosificar café A	27
Dosificar café B y C	28
Descargar mezclador	29

Tabla 27. Actividades de control de operación de equipos y supervisión realizadas por el operario con la propuesta realizada.

Registro y pruebas de calidad realizadas por el operario en la propuesta	
	
R&I	Registro y pruebas de calidad de indicadores de tostión

Tabla 28. Registro y pruebas de calidad realizadas por el operario en la propuesta.


Pausas realizadas por el operario en la propuesta	
	
P1	Pausa por carga de café a tolva de carga de tostadora
P2	Pausa por pre calentamiento
P3	Pausa por cargue de tostadora
P4	Pausa por proceso de tosti3n
P5	Pausa por vaciado de tostadora
P6	Pausa por descargue del enfriador
P7	Pausa por descargue del enfriador hacia mezclado
P8	Pausa para lograr 100 lb de presi3n para aire de instrumentos
P9	Pausa para tomar nueva muestra de tosti3n
P10	Pausa por dosificaci3n desde los silos temporales A o B y C
P11	Pausa por mezclado de los diferentes tipos de caf3

Tabla 29. Pausas realizadas por el operario en la propuesta.


Desplazamientos realizados por el operario en la propuesta	
	
D1	Desplazamiento entre 3rea de dosificaci3n y etapa de tosti3n
D2	Desplazamiento entre 3rea de dosificaci3n y 3rea de tanque de ACPM y compresor
D3	Desplazamiento entre 3rea de tosti3n y taller de herramientas
D4	Desplazamiento entre 3rea de tosti3n y 3rea de tanque ACPM y compresor

Tabla 30. Desplazamientos realizados por el operario en la propuesta.

Teniendo en cuenta las anteriores tablas, se re organizaron las actividades realizadas, presentando como principal cambio la disminuci3n en los desplazamientos realizados por el operario, la estandarizaci3n de las operaciones y la inclusi3n de la unidad de mezclado propuesta. A continuaci3n se presentan estas tablas.

PROCESO DE DOSIFICACIÓN DE SILOS															
	ACTIVIDADES														
Operario	10	D4	12	D2	P8	1	3	D1	4	7	9	D4	13	D4	11
Tiempos (s)	1	60	2	60	300	2	2	30	2	473,1	10	60	2	60	1
Unidad de Dosificación										A	A	A			
Unidad de Tostión															
Unidad de Enfriado y Mezclado															
Operación						Tiempo (s)					Tiempo (min)				
Dosificación de silos						485,1					8,08				

Tabla 31. Análisis de tiempos para el proceso de dosificación de silos bajo la propuesta realizada.

INICIO DE PROCESO CON PRECALENTAMIENTO DE LA UNIDAD DE TOSTION Y DOSIFICACION DEL CAFE VERDE DESDE SILOS																																																
Operario	ACTIVIDADES																																															
	P8								P1								P2								P3								P4								P5							
	9	12	D2	2	D1	4	D1	8	9	6	10	14	D3	19	D3	17	P3	16	18	2	R1	R2	R2	R2	R2	R2	R2	21	P5																			
Tiempo (s)	60	2	60	2	30	2	30	120	10	2	2	2	60	120	60	2	30	2	15	2	132	120	120	120	120	120	120	10	20																			
Unidad de Dosific.					A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A					B	B	B																									
Unidad Tostión																				A	A	A	A	A	A	A	A	A																				
Unidad Enfriado																																																
Unidad de Mezclado																																																

TIEMPOS DE REPETIR DOSIFICACION						
REPETICIONES			ACTIVIDADES			
R1			=	8	9	6
Tiempo total (s)	134		Tiempos (s)	120	10	2
Tiempo total (min)	2.23					

Operación	Tiempo (s)	Tiempo (min)
Dosificación	410	6.83
Pre calentamiento	278	4.63
Tostado	881	14.68

TIEMPOS DE REPETIR LA TOMA DE MUESTRA Y DE LA PAUSA					
REPETICIONES			ACTIVIDADES		
R2			=	20	P9
Tiempo total (s)	120		Tiempos (s)	30	90
Tiempo total (min)	2				

Tabla 32. Análisis de tiempos para el proceso de precalentamiento y dosificación del café verde desde silos.

PROCESO DE DOSIFICACIÓN DESDE SILO, TOSTIÓN, ENFRIADO Y ALMACENAMIENTO EN SILO TEMPORAL A o B y C																	
Operario	ACTIVIDADES																
	P1																
	P4																
Tiempo (s)	22	R&I	17	P3	16	18	2	R1	R2	R2	R2	R2	R2	24	P6	21	P5
	2	20	2	30	2	15	2	132	120	120	120	120	120	2	150	10	20
Unidad de Dosificación								C	C	C							
Unidad Tostión					B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Unidad Enfriado	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A			
Unidad de Mezclado																	

TIEMPOS DE REPETIR LA TOMA DE MUESTRA Y DE LA PAUSA				
REPETICIONES		ACTIVIDADES		
R2		=	20	P9
Tiempo total (s)	120	Tiempos (s)	30	90
Tiempo total (min)	2			

Operación	Tiempo (s)	Tiempo (min)
Dosificación	372	6.2
Tostión	793	13.21
Enfriado	687	11.45

Tabla 33. Análisis de tiempos para el proceso de dosificación, tostión, enfriado y almacenamiento en silo temporal A o B y C.

PROCESO DE DOSIFICACIÓN DESDE SILO, TOSTIÓN, ENFRIADO, MEZCLADO Y ALMACENAMIENTO EN SILO DE DESGASIFICACIÓN																											
Operario	ACTIVIDADES																										
	P1												P4														
	22	R&I	17	P3	16	18	2	R1	R2	R2	R2	R2	26	P7	21	P5	17	P3	27	P10	28	P10	P11	29	P12	15	
Tiempo (s)	2	20	2	30	2	15	2	132	120	120	120	120	2	150	10	20	2	30	2	10	2	30	300	2	150	2	
Unidad de Dosificación	C							D			D			D													
Unidad Tostión					C																						
Unidad Enfriado	B				B				B				B														
Unidad de Mezclado													A														

TIEMPOS DE REPETIR LA TOMA DE MUESTRA Y DE LA PAUSA			
REPETICIONES		ACTIVIDADES	
R2		=	20
Tiempo total (s)		120	P9
Tiempo total (min)		2	90

Operación	Tiempo (s)	Tiempo (min)
Dosificación	372	6.2
Tostión	793	13.21
Enfriado	687	11.45
Mezclado	558	9.3

Tabla 34. Análisis de tiempos para la dosificación, tostión, enfriado, mezclado y almacenamiento en silo de desgasificación.

A partir de las anteriores tablas, se verificó que los desplazamientos y las actividades manuales que el operario realizaba, se eliminaron afectando de manera directa los tiempos para las diferentes operaciones encontrando una disminución en ellos.

Analizando el tiempo para el proceso de dosificación de los silos, se verificó la disminución que anteriormente se mencionaba donde se tenía un tiempo de 581,1 s, equivalentes a 9,7 min, pero teniendo en cuenta la propuesta y la modificación de las operaciones planteadas para ese proceso se obtuvo un tiempo de 485, 1 s equivalentes a 8,08 min.

A la misma vez para el proceso de precalentamiento de la unidad de tostión y dosificación del café verde desde silos, se obtuvo cambios para las operaciones de dosificación que paso de 864 s equivalentes a 14,4 min a emplear 410 s equivalentes a 6,83 min. También para la operación de precalentamiento se obtuvo un tiempo de 278 s equivalentes a 4,63 min, mientras que sin tener en cuenta la propuesta de éste proyecto se empleaba 349 s equivalentes a 5,81 min y finalmente para la operación de tostado se redujo el tiempo empleado de 1195 s equivalentes a 19,9 min a un tiempo de 881 s equivalentes a 14,68 min.

Para el proceso de dosificación desde silos, tostión, enfriado y almacenamiento en los silos temporales A o B y C también se verificaron reducciones en los tiempos para las diferentes operaciones teniendo en cuenta la propuesta planteada, además se generalizaron las actividades para el enfriado de los tipos de café excelso, café caracol y café pre mezcla que se muestran en la **Tabla 33**.

Finalmente para el proceso de dosificación desde los silos, tostión, enfriado, mezclado y almacenamiento en el silo de desgasificación también se obtuvieron mejoras en las acciones realizadas y en los tiempos para cada una de ellas, las cuales se presentan en la **Tabla 34**.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- El modelado y la identificación de las fallas del proceso, a través de la utilización de los estándares existentes, permite encontrar las soluciones de automatización que mejor se adaptan a las necesidades y requerimientos cada proceso, lo que implica un mejoramiento funcional y una reducción en los costos de producción.
- Los nuevos retos comerciales que las empresas colombianas están afrontando debido a los diferentes tratados internacionales, exigen que estas sean más competitivas para estar al mismo nivel de las empresas extranjeras que se están incorporando poco a poco a la industria del país. Para lograr esto sus procesos deben ser más eficientes, realizando análisis del proceso para encontrar soluciones de automatización que les permita alcanzar la eficiencia deseada y a la misma vez estandarizar sus procesos, para aumentar su producción, sin que los costos de la misma se aumenten.
- La propuesta de automatización realizada en este trabajo de grado permitió abordar el proceso de elaboración de café tostado, desde el almacenamiento de la materia prima hasta la obtención del café tostado listo para ser molido y analizar cada una de las etapas del proceso, determinando los puntos críticos de éste para generar las soluciones de automatización que permitan el mejoramiento y la optimización del proceso. Obteniendo una propuesta que se adapte a las necesidades y especificaciones del cliente.
- La propuesta de automatización tuvo en cuenta la seguridad y la salud del operario como prioridad para la optimización del proceso productivo. Dando como resultado una propuesta donde la carga física del operario se disminuye considerablemente a través de la inclusión de nueva tecnología.
- La elaboración de este trabajo de grado, permitió incursionar a la Universidad del Cauca en los servicios de ingeniería que puede prestar a las empresas de la región, aplicando los conocimientos adquiridos dentro del alma mater en casos reales de la industria local. Dando el primer paso para una unión entre la industria y la academia con el fin del mejoramiento de la región.

- La definición de la arquitectura para el proceso productivo junto a sus respectivos componentes hardware y software, permitirán dar el primer paso hacia la integración empresarial de Café La Palma Ltda.

Por otra parte culminado este trabajo de grado, se proponen como trabajos futuros:

- La implementación de la propuesta de automatización desarrollada en este documento para la empresa Café La Palma Ltda.
- Integrar la etapa de molienda de café tostado a la arquitectura planteada.
- La realización del mejoramiento de la programación de la producción teniendo en cuenta los nuevos equipos que se propusieron para el mejoramiento del proceso productivo.
- La definición de un sistema MES para la empresa Café La Palma Ltda.

6. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- [1] E. Córdoba Nieto, **“Manufactura y automatización”**, Artículo, Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Universidad Nacional de Colombia, Colombia 2006. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v26n3/v26n3a14.pdf>. [Acceso en Febrero 26, 2013].
- [2] Encuesta Anual Manufacturera, Boletín de Prensa, Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Colombia 2012. Disponible en: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/eam/bolet_eam_2011.pdf. [Acceso en Febrero 26, 2013].
- [3] ISA S88.00.01. Batch Control Part 1: “Models and Terminology”, International Society of Automation. 1995.
- [4] M. Morillo, **“Análisis de la Cadena de Valor Industrial y de la Cadena de Valor Agregado para las Pequeñas y Medianas Industrias”**, Artículo, Actualidad Contable FACES, Venezuela 2005. Disponible en <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/17363/1/articulo5.pdf>. [Acceso en Febrero 21, 2013].
- [5] I. M. Besembel, E. Chacón, **“Objetos y reglas de negocios en la integración y automatización de procesos de producción continua”**, Artículo, Departamento de Computación, Universidad de los Andes, Venezuela. Disponible en <http://www.ing.ula.ve/~ibc/cleiOnRn.pdf#page=4&zoom=auto,0,652>. [Acceso en Febrero 21, 2013].
- [6] O. A. Rojas Alvarado, **“Propuesta de Integración para la empresa Friesland Colombia S.A.”**, Artículo, Laboratorio de Sistemas Distribuidos y Automatización Industrial, Universidad de los Andes, Venezuela.
- [7] E. A. Chacón R., I. V. Rondón M., K. R. Quintero G., O. A. Rojas A. **“Aplicación del Estándar ISA-88 en el Modelado del Proceso de Producción de Azúcar en un Central Azucarero”**, Artículo, Universidad de Los Andes, Venezuela, Universidad del Cauca, Colombia, Venezuela 2009. Disponible en http://www.laccei.org/LACCEI2009-Venezuela/Papers/PM141_ChacónR.pdf. [Acceso en Febrero 21, 2013].
- [8] **“Aspectos de calidad del café para la industria torrefactora nacional”**, Vademécum, Departamento de estrategia y proyectos especiales de

comercialización, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Colombia 2005. Disponible en: http://www.iue.edu.co/portal/images/negocios_internacionales/cafe/LACALIDADENLAINDUSTRIADELCAFE.pdf. [Acceso en Agosto 21, 2012].

- [9] D. N. Carrero T. **“Diseño de un sistema de control supervisorio y adquisición de datos (SCADA) para el monitoreo remoto de los sistemas de energía ininterrumpida (UPS) pertenecientes al sistema eléctrico de una refinería en el país”**. Trabajo de pregrado, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Carabobo, Venezuela 2008. Disponible en: <http://riuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/123456789/31/1/10858.pdf>. [Acceso en Junio 26, 2013].
- [10] M.A.A. Bastias Roldan, A. G. Cabrera Friz. **“Estudio y propuestas de automatización para el aumento de la producción en línea principal de un aserradero”**. Tesis de pregrado, Ingeniería de Ejecución en Mecánica, Universidad del Bio Bio, Chile 2010. Disponible en: http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2010/bastias_m/doc/bastias_m.pdf. [Acceso en Febrero 11, 2013].
- [11] J.F. Díaz Castillo. **“Propuesta para la automatización de una impresora de sacos para uso agrícola por medio de un circuito neumático asistido por un PLC”**. Tesis de pregrado, Ingeniería Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala 2009. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0584_M.pdf. [Acceso en Febrero 11, 2013].
- [12] J.A. Pino Villarroel. **“Propuesta de automatización y control para la planta de inyección de agua salada de la estación de descarga Bared – 8, perteneciente al Distrito de Múcura”**. Tesis de pregrado, Ingeniería de Sistemas, Universidad de Oriente, Venezuela 2009. Disponible en: <http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/bitstream/123456789/1097/1/Tesis.AUTOMATIZACION%20Y%20CONTROL%20PARA%20LA%20PLANTA%20DE%20INYECCION%20DE%20AGUA%20SALADA.pdf>. [Acceso en Febrero 11, 2013].
- [13] A. E. Ávila Girón. **“Propuesta de automatización del proceso de recubrimiento de maní con chocolate”**. Tesis de pregrado, Ingeniería Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala 2006. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0478_M.pdf. [Acceso en Febrero 11, 2013].
- [14] D. C. Cuca Yepes. **“Propuesta para la automatización del proceso de fabricación de jabón en la Universidad de San Buenaventura, Cali”**. Tesis de pregrado, Ingeniería Electrónica, Universidad de San Buenaventura

- Cali, Colombia 2012. Disponible en: http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/jspui/bitstream/10819/864/1/Jab%C3%B3n_Universidad_Buenaventura_Cuca_2012.pdf. [Acceso en Febrero 11, 2013].
- [15] B. E. Idrobo Cerón, “**Norma ISA-88 aplicada como caso de estudio a un sistema de procesamiento UHT**”, Tesis de pregrado, Ingeniería en Automática Industrial, Universidad del Cauca, Colombia 2007.
- [16] J. A. Galindo, J. E. Cerón, “**Propuesta de una recomendación para la documentación y ejecución de proyectos de Ingeniería en Automatización a nivel de campo, basado en estándares de la ISA**”, Tesis de pregrado, Ingeniería en Automática Industrial, Universidad del Cauca, Colombia 2010.
- [17] E. Castillo Castillo, O. D. Gómez Pérez, “**Norma ISA S88 aplicada al proceso de fabricación de películas delgadas de óxido de vanadio por magnetron Sputtering RF**”, Tesis de pregrado, Ingeniería en Automática Industrial, Universidad del Cauca, Colombia 2012.
- [18] A. F. Suárez Corredor, F. R. Jiménez López, “**Modernización del sistema de control de llenado de tolvas de carbón en las unidades I, II y III en la Termoeléctrica de Paipa**”, Artículo, Ingeniería Electrónica, Universidad Santo Tomás, Colombia 2010. Disponible en: http://virtual.uptc.edu.co/revistas/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/File/1836/1766. [Acceso en Febrero 14, 2013].
- [19] S. Bernal, “**Mejoramiento del proceso de empaque de los productos en polvo de 25 kg. en la empresa**”, Tesis de pregrado, Ingeniería Industrial, Pontificia Universidad Javeriana Bogotá, Colombia 2007. Disponible en: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/Tesis220.pdf>. [Acceso en Febrero 14, 2013].