

DISEÑO DE UN SISTEMA DE LAVADO DEL GRANO DESPULPADO DE CAFÉ
PARA EL CAFETAL EL TRIUNFO DEL MUNICIPIO DE GUADUAS, -
CUNDINAMARCA.

JORGE LUIS ARIAS BOLIVAR
JUAN PABLO BOTERO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ-COLOMBIA
2020

DISEÑO DE UN SISTEMA DE LAVADO DEL GRANO DESPULPADO DE CAFÉ
PARA EL CAFETAL EL TRIUNFO DEL MUNICIPIO DE GUADUAS,
CUNDINAMARCA.

JORGE LUIS ARIAS BOLIVAR
JUAN PABLO BOTERO BOTERO

Proyecto de grado en la modalidad de solución a un problema de ingeniería para
optar al título de INGENIERO MECÁNICO

Director
Héctor Fabio Montaña Morales
Ingeniero Mecánico
Codirector
JOSE LIBARDO ROJAS
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ-COLOMBIA
2020

DEDICATORIA

A mis padres que me enseñaron que la perseverancia, el esfuerzo y las ganas de seguir adelante pueden más que cualquier obstáculo que tenga que enfrentar en la vida, por su apoyo incondicional, su compañía, sus consejos, su cariño y fomentar para mi vida principios de honestidad y responsabilidad.

A mis familiares, amigos y docentes los cuales estuvieron aconsejándome, motivándome y brindando apoyo en cada uno de los pasos que han formado mi camino como profesional y como persona.

“A menos que alguien como tú se interese de verdad, nada va a mejorar jamás”. Dr. Seuss

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a:

A nuestro director Héctor Fabio Montaña Morales por su dedicación, colaboración, tiempo y seguimiento durante el proceso de elaboración de este proyecto y la formación recibida durante este proceso.

Al ingeniero José Libardo Rojas por su apoyo en la investigación y asesoramiento en el diseño del sistema.

A la Universidad Santo Tomás de Aquino. De igual manera a todos los docentes que hicieron parte de nuestro proceso de formación académica, profesional y personal, contribuyendo en la obtención de valores y conceptos académicos que serán distinguidos para el ejercer de nuestra vida profesional.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	11
1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	12
2 JUSTIFICACIÓN.....	14
3 OBJETIVOS.....	15
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
4 MARCO REFERENCIAL.....	16
4.1 MARCO CONCEPTUAL.....	16
4.1.1 El café de Colombia.	16
4.1.2 Cafés especiales.	17
4.1.3 Beneficio del café.	19
4.2 MARCO NORMATIVO Y LEGAL.....	27
4.2.1 Norma Codex.	28
4.2.2 Norma técnica colombiana (NTC 5181).....	28
5 REQUERIMIENTOS DE TIPO SANITARIO, NORMATIVOS Y LEGALES, QUE APLIQUEN AL PROCESO DE LAVADO DE CAFÉ.....	30
5.1 Requerimientos del codex alimentarius	30
5.2 Requerimientos de la norma NTC 5181.....	30
5.3 Requerimientos del Decreto 60 del 2002 - Aplicación del sistema HACCP (invima)	32
5.4 Matriz de categorización de los requerimientos	32
6 Análisis de metodologías de diseño	36

6.1	Despliegue de la función de la calidad - QFD	36
6.2	Teoría para resolver problemas de inventiva - TRIZ	38
6.3	Matriz Pugh	40
7	DISEÑO DEL SISTEMA.....	42
7.1	ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	42
7.1.1	Análisis de morfología.	42
7.1.2	Opciones de diseño.....	47
7.1.2	Aplicación de la matriz Pugh.	49
8.0	Cálculos hidráulicos del sistema	55
8.1	Punto de operación de las bombas	60
9	ANÁLISIS DE COSTOS	65
10	CONCLUSIONES	67
11	RECOMENDACIONES	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Grados Brix y densidad relativa del mucílago de café fresco según el estado de madurez.....	23
Tabla 2. Variación del pH del mucílago a través del tiempo de fermentación en sistemas abiertos, sólidos y sumergidos con 30% y 50% de agua, según la temperatura de proceso y la clasificación del café en baba.	25
Tabla 3. Etapas del beneficio tradicional del café	27
Tabla 4. Matriz de categorización de los requerimientos	33
Tabla 5. Tabla Morfología	46
Tabla 6 Diseños obtenidos tabla morfológica.....	48
Tabla 7 Matriz Pugh.....	50
Tabla 8. Selección del tanque mediante matriz Pugh	54
Tabla 9. Cálculo del caudal para diferentes tiempos y volúmenes del tanque	55
Tabla 10. Cálculo de diámetros de tubería y comparación con las que se encuentran en el mercado.....	57
Tabla 11. Cálculo de número de Reynolds y rugosidad relativa.....	58
Tabla 12. Cálculo del factor de fricción	59
Tabla 13. Cálculo de pérdidas en tuberías y accesorios	60
Tabla 14. Características del resultado de cálculo de la bomba y referencia de bomba seleccionada.....	60
Tabla 15. Puntos de operaciones bombas seleccionadas y costos.....	63
Tabla 16. Análisis de costos	65
Tabla 17. Comparación de costos en el mercado con el proyecto	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Metodología QFD	37
Figura 2 Morfología diseño seleccionado.....	51
Figura 3. Boceto número uno (1)	52
Figura 4. Boceto número dos (2)	52
Figura 5. Boceto número tres (3)	53
Figura 6. Sistema de lavado de grano	55
Figura 7. Punto de operación diseño bomba aquapak	61
Figura 8. Punto de operación diseño bomba DWO	61
Figura 9. Punto de operación diseño bomba NGA1B-PRO Pedrollo	62

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta la importancia de Colombia como productor de café a nivel mundial y su valor como motor económico en la economía interna del país, no se puede desconocer la complejidad del proceso de producción de este producto que se lleva a cabo en las diversas fincas cafeteras de las distintas regiones colombianas, desde cultivos extensos hasta fincas que no superan las dos hectáreas, pero todas ejecutando sus labores desde procesos o beneficios que acogen varias etapas y requieren de diferentes espacios, maquinaria, personal y recursos para cumplir a cabalidad la labor de generar un café de exportación y de alto reconocimiento y valor.

En Colombia existen diferentes regiones que producen café con características que son muy apreciados en mercados a nivel internacional, estas características de calidad son establecidas por diferentes factores como el suelo donde se cultiva, el grano, la ubicación geográfica, las prácticas de cultivo y el proceso de beneficio utilizado en la zona.

Por dicha razón es importante reconocer la situación problemática de algunos caficultores que no logran acceder a la maquinaria adecuada y necesaria para el beneficio de su café, y que a su vez se convierte en el punto base para el desarrollo del siguiente trabajo, el cual tiene como objetivo diseñar un sistema de lavado de despulpado, esto a sabiendas que el proceso de beneficio es de gran importancia para la conservación de la calidad del grano, de sus cualidades y su nivel de competencia en mercados internacionales.

El diseño del sistema de lavado inició con una recopilación de datos y requerimientos del cliente para determinar las restricciones y necesidades existentes, posteriormente se generó un modelo que se ajustó a las necesidades del cliente, toda vez que se realizaron los respectivos análisis a nivel de normas y metodologías de diseños, se enfocó en la selección adecuada del método para llevar a cabo el proyecto, cumplir las expectativas del cliente y lograr la creación de un sistema que reúna diversas variables importantes en el proceso de beneficio y que a su vez sea asequible para los caficultores.

Una vez determinado el modelo se presentaron los cálculos ingenieriles realizados para el diseño y la elección de equipos necesarios para construir el sistema de lavado. Finalmente se presentó un análisis de costos para ejecutar el proyecto y sus respectivas recomendaciones y conclusiones.

1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El sector cafetero es en la actualidad una de las columnas fundamentales de la economía colombiana gracias a los niveles de trabajo generado, cifras que se acercan a los 800 mil empleos directos y representan el 32% del empleo desprendido de las actividades agrícolas en el país; este panorama posiciona a Colombia como uno de los mayores exportadores de café en términos de volumen, ocupando el tercer lugar y precedido por Vietnam y Brasil¹, donde dicho sector representa aproximadamente el 31% de todas las exportaciones del sector agropecuario y aporta más del 53% al PIB de este mismo sector.²

Actualmente el 95% de los caficultores en Colombia son pequeños productores (poseedores de fincas que no superan las 2 hectáreas)³ y sus métodos para beneficio de café no son tecnificados, lo que afecta el nivel de calidad del grano y su incursión en mercados internacionales. El centro nacional de investigaciones de café argumenta que la calidad es un tema que ha sido objeto de mucha investigación en el transcurso del tiempo, dado que está totalmente ligado a los sistemas de producción que han existido y las exigencias de los consumidores, por lo que a su vez ha generado un mejoramiento y desarrollo de nuevos procesos para alcanzar la calidad del producto en todas sus etapas de beneficio.⁴

Es así que en el mercado se encuentran máquinas, en este caso, que realizan el proceso de lavado del grano de café de manera tecnificada evitando su contaminación por olores externos y contacto con superficies sanitariamente inadecuadas, sin embargo, su precio de adquisición puede ser muy elevado para

¹ GÓMEZ, Susana. Los diez mayores productores de café del mundo – 2019 [En línea]. Quecafe.info. 13 de noviembre de 2018. [Fecha de consulta: abril de 2020]. Disponible en: <https://quecafe.info/mayores-productores-de-cafe-en-el-mundo/>

² GUZMÁN PINILLA, Jhon. PIB agropecuario sube al ritmo de café, arroz y porcicultura. [En línea] En: La República. 11 de marzo de 2016. [Fecha de consulta: abril de 2020]. Disponible en: <https://www.larepublica.co/economia/pib-agropecuario-suba-al-ritmo-de-cafe-arroz-y-porcicultura-2358231>

³ FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. Nuestros caficultores. [Sitio web]. Bogotá [Fecha de consulta: abril de 2020] Disponible en: <https://www.cafedecolombia.com/particulares/nuestros-caficultores/>

⁴ CENICAFÉ. Calidad del café. En: Beneficio ecológico del café. [En línea]. Chinchiná, Colombia. 1999. Pág. 19 [Fecha de consulta: abril de 2020]. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/882/3/2.%20Calidad%20del%20caf%C3%A9.pdf>

un pequeño productor (alrededor de 30.000.000 millones de pesos)⁵, forzándolo a seguir utilizando los métodos tradicionales no tecnificados de beneficio de café, en donde existe un alto consumo de agua, un poco o nulo manejo de los subproductos obtenidos del proceso y en donde es necesaria una infraestructura para medianas y grandes producciones.⁶, reduciendo sus expectativas de precio de venta y acceso a mercados internacionales.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente y las limitaciones evidenciadas para los pequeños cafeteros en cuanto a sus procesos y oportunidades de tecnificación, se propone diseñar una máquina para el lavado del grano despulpado de café, teniendo en cuenta los criterios establecidos por el Codex Alimentarius de la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) , los cuales permiten la protección no sólo de la salud de los consumidores, sino también la garantía del comportamiento correcto de los alimentos en el mercado internacional, posibilitando a los productores, manufactureros y comerciantes actuar con base a presupuestos científicos que rigen y orientan los acuerdos del mercado.⁷

⁵ INGESEC. Portafolio [Sitio web]. Bogotá [Fecha de consulta: abril de 2020]. Disponible en: <https://www.ingesecltda.com/portfolio/becolsub/>

⁶ CENICAFÉ. Beneficio del café en Colombia. [En línea] 2015. Pág. 5 [Fecha de consulta: abril de 2020]. Disponible en: https://www.cenicafe.org/es/publications/Final_libro_Beneficio_isbn.pdf

⁷ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. ¿Qué es el Codex alimentarius? [En línea] 1999. [Fecha de consulta: abril de 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/noticias/1999/codex-s.htm>

2 JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta la importancia del sector cafetero para el país, debido a su valor en el sector económico y la capacidad de empleabilidad que posee, para la Federación nacional de cafeteros (FNC) es de gran importancia que los caficultores del país aumenten la producción y mejoren su rentabilidad con los mejores estándares de calidad del café⁸, sin embargo es necesario enfatizar que actualmente el 95% de los caficultores en Colombia son pequeños productores⁹ y sus métodos para beneficio de café no son tecnificados, y que por ende se ve afectado el nivel de calidad del grano haciendo difícil obtener los beneficios entregados por la FNC.

Por dicha razón, radica la importancia de la tecnificación del proceso de producción del grano, pero que a su vez se ha convertido en un obstáculo por los altos costos que se generan al cambiar la infraestructura de los beneficiadores y la implementación de nuevas tecnologías como las que se encuentran en el mercado, las cuales realizan el proceso de beneficio del grano de café evitando su contaminación por olores externos y contacto con superficies sanitariamente inadecuadas; además que su precio de adquisición puede ser muy elevado para un pequeño productor (alrededor de 30.000.000 millones de pesos)¹⁰; aspectos de infraestructura y económicos que obligan a continuar con la forma tradicional, evitando mejoras en la calidad del grano y aumentando las pérdidas para el productor primario del grano de café.

Este panorama permite evidenciar la necesidad de plantear una alternativa materializada en una maquina o equipo más económica a las ofrecidas en el mercado, para que el caficultor pueda, por medio de la gestión de menores recursos, tecnificar sus procesos y obtener un producto de calidad por medio del control de variables, tales como la temperatura, tiempos de cada etapa del beneficio, uso del agua, entre otras, de esta manera se apuntaría a suplir las actuales necesidades de los caficultores a menor escala y a su vez atender a las demandas del mercado exigente en cuanto a calidad y eficiencia en los procesos del producto.

⁸ FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. Bienvenido a la institucionalidad cafetera. [Sitio Web] Bogotá. [Fecha de consulta: abril de 2020] Disponible en: <https://www.cafedecolombia.com/familia/>

⁹ FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. Nuestros caficultores. Óp. Cit., [Página web]

¹⁰ INGESEC. Óp. Cit., [Página web]

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de lavado del grano despulpado de café para el cafetal El Triunfo del Municipio de Guaduas, Cundinamarca, teniendo en cuenta los criterios del Codex Alimentarius de la FAO.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los requerimientos sanitarios para la producción de café consignados en el Codex Alimentarius de la FAO y que apliquen al proceso de lavado.
- Seleccionar la alternativa de solución al problema planteado que cumpla con los requerimientos sanitarios y del cliente.
- Realizar cálculos de ingeniería y selección de instrumentación y equipos requeridos, de acuerdo con la alternativa de solución elegida.
- Realizar un análisis de costos de fabricación del sistema de lavado para determinar su competitividad en el mercado.

4 MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO CONCEPTUAL

4.1.1 El café de Colombia.

La caficultura es uno de los principales componentes en el desarrollo económico y social del país, especialmente de las zonas rurales, teniendo en cuenta que este sector logra generar setecientos ochenta y seis mil (786.000) ocupaciones directas, donde los ingresos se distribuyen en cerca de quinientos cincuenta (550) familias de quinientos noventa y cinco (595) municipios del territorio colombiano, a nivel macro su contribución se ve reflejada en su representación del 26% del empleo del sector agrícola y en términos del producto interno bruto (PIB) sus ingresos se ven reflejados en 43 puntos del total de este, es innegable su capacidad potenciadora a nivel económica y social.¹¹

Internacionalmente, Colombia goza de un importante reconocimiento por ofrecer un café de calidad homogénea, caracterizado por ser café suave y que ha sido superior a los indicadores establecidos por la OIC (*International Coffee Organization*), su producción se acerca a 11 millones de sacos de 60 kg en promedio anual, lo que lo posiciona como tercer productor mundial¹², panorama que ha propiciado a que la Federación Nacional de Café, desde sus inicios, construya un sistema de respaldo a la calidad del producto, y que con el tiempo, se ha constituido en una de las principales estrategias para asegurar la competitividad del café colombiano¹³.

Este sistema de respaldo al producto se ha mantenido gracias a los permanentes esfuerzos en materia de producción (prácticas estandarizadas de cultivo, recolección manual, beneficio húmedo, entre otros) y de control de calidad en todas

¹¹ MUÑOZ ORTEGA, Luis Genaro. Caficultura sostenible, moderna y competitiva. En: Ensayos sobre economía cafetera [En línea] Bogotá. 2014. Cenicafé. Editorial 30. Pág. 5 [Fecha de consulta: abril de 2020] Disponible en: <https://federaciondecafeteros.org/static/files/EditorialR30.pdf>

¹² VELASQUEZ, Camilo y TRÁVEZ, Mateo. Café especial, una alternativa para el sector cafetero en Colombia. [En línea] Universidad EAFIT. Medellín. 2019. Pág. 16 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/15236/Mateo_Travez_Camilo_Velasquez_2019.pdf?sequence=2&isAllowed=y

¹³ PIZANO, Diego. Calidad, salud e investigación: la experiencia de la OIC. En: Ensayos sobre economía cafetera [En línea] Bogotá. 2002. Cenicafé. Editorial 18. Pág.3 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://federaciondecafeteros.org/static/files/2.%20calidadinvestigacionysalud.pdf>

las etapas del proceso de comercialización. Para llevar a cabo los controles necesarios se utilizan los servicios de la Oficina de Calidad de Café de Alma café S.A., la recomendación y aplicación de las Normas, Reglamentos y Procedimientos de calidad para la comercialización interna y externa emanados por el Comité Nacional de Cafeteros, y la identificación y el diagnóstico de los aspectos y/o cambios que puedan afectar la calidad del café.¹⁴

El café en Colombia pasa por la recolección selectiva del fruto maduro para ser llevado al método húmedo, ganando allí el nombre de arábico lavado, esta técnica procede a ser despulpado y después retirar el mucílago del grano, se lava y se seca al sol o por medios mecánicos, para pasar a ser vendido a las trilladoras en donde se realiza su debida clasificación por peso, tamaño y densidad, todo orientado por los estándares de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, la calidad entonces se obtiene tras un proceso largo y difícil, puesto que los defectos que se encuentran en el momento de su selección son originados durante el proceso de beneficio, limitando la oportunidad de lograr la bonificación y rentabilidad esperada¹⁵.

Queda claro que el tipo de café suave colombiano no es un simple arábico lavado; es además un café suave, con un complejo proceso de cultivo y beneficio detrás de cada grano, producido en altas montañas con variedades adaptadas a temperaturas promedio ideales y en suelos de orígenes específicos, pero aun así que su proceso de beneficio es parte vital de su producción y comercialización, estándares que deben ser monitoreados y controlados con mayor alcance.¹⁶

4.1.2 Cafés especiales.

Este tipo de café es definido por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia como aquel que es percibido y valorado por los consumidores por alguna característica diferenciadora de los cafés convencionales y por ende significan un

¹⁴ FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. Otras certificaciones FNC. [En línea] Bogotá. Pág. 4 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: https://federaciondecafeteros.org/static/pergamino-fnc/uploads/Otras_Certif_fnc.pdf

¹⁵ PUERTA Q., Gloria. Calidad física del café de varias regiones de Colombia según altitud, suelos y buenas prácticas de beneficio. En: Revista Cenicafe [En línea] 2016. Volumen 67. Pág. 8. [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/1.Calidad.pdf>

¹⁶ FEDECAFÉ. 2012. Citado por SOLANO V., Jorge Isaac. Implementación de infraestructura para el beneficio húmedo y seco del café a pequeños caficultores de la vereda Las Yescas, municipio de Soratá, departamento del Cauca. [En línea] Trabajo de grado para optar al título de agrónomo. UNAD. Cauca. 2014. Pág. 33-34 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/2709/1/10535246.pdf>

mayor valor para su adquisición, valor que se paga reconociendo el beneficio que obtiene el productor y la calidad para el consumidor.

Por esta razón, la FNC categorizó los cafés especiales en tres tipos que a su vez determinan su valor, los tres tipos mencionados son Cafés de Origen, Cafés Sostenibles y Cafés de Preparación. Estos grupos no son excluyentes, por lo tanto, determinada carga de café puede ser considerada tanto de origen como sostenible¹⁷.

El objetivo del programa de café especial colombiano propende por su posicionamiento mundial por sus características y condiciones excepcionales del producto, y la clasificación que han hecho: de Origen (Regionales, Exóticos y de Finca), de preparación (selectos, supremos y caracol) y Sostenibles (orgánicos, amigable con las aves o de sombra y café de precio justo o social) permite que su promoción y participación en eventos internacionales aumente el aprecio y demanda que beneficia directamente a los responsables de su condición especial, es decir a las familias productoras¹⁸.

El café Colombiano especial es una alternativa para una mayor remuneración para el productor, por lo tanto existe una relación directa entre el incentivo económico del comprador y la continuidad en su producción con calidad, esto porque aunque sea catalogado especial se sigue sometiendo a los precios internacionales como los granos genéricos; aun así no se puede desconocer que al ser un número más selectivos de compradores de este tipo de café, se pueden evitar las cadenas de intermediarios y poder crear redes de negocios directas, lo que genera un margen también de ganancia significativo¹⁹.

Teniendo en cuenta las ventajas mencionadas anteriormente, se logra conocer el panorama alentador en regiones consumidoras del café especial colombiano, tal como Estados Unidos, dónde el 51% del volumen de los cafés consumidos corresponde a cafés especiales, que equivalen al 55% del valor del mercado, demostrando la importancia de fomentar la producción de este tipo de café por todas

¹⁷ ARRAZOLA, Felipe. Agro-negocios e industria de alimentos. Los cafés especiales, una alternativa para los caficultores colombianos [Página web]. Septiembre de 2015. [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://agronegocios.uniandes.edu.co/2015/09/23/los-cafes-especiales-una-alternativa-para-los-caficultores-colombianos/>

¹⁸ FARFÁN V., Fernando. Cafés especiales. En: Sistemas de producción de café en Colombia. [En línea] Manizales. CENICAFÉ. 2007. Pág. 240. [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo10.pdf>

¹⁹ ARRAZOLA, Felipe. Óp. Cit., [Sitio web]

las rentabilidades que genera y la favorabilidad que tiene gracias a su variedad sin desligarse de su calidad ²⁰.

4.1.3 Beneficio del café.

La FNC desde su cartilla de prácticas y estrategias para el uso eficiente del agua durante el proceso de beneficio del café afirma que, “el fruto maduro del café (café cereza), una vez cosechado, es un material perecedero, por lo cual debe ser transformado rápidamente a café pergamino seco, con humedad en el rango del 10% al 12%, base húmeda, para preservar su calidad intrínseca.” Al proceso se le da el nombre de beneficio húmedo por el uso del agua, todo esto desarrollado en el “beneficiadero”, espacio e infraestructura en la cual se realizan las operaciones y procesos destinados a transformar el café cereza en café pergamino seco²¹.

El beneficio por vía húmeda se compone de las siguientes etapas: despulpado, remoción del mucílago (por fermentación natural o remoción mecánica), lavado y secado, lo cual da como resultado el café pergamino seco (cps), que es vendido por los caficultores en las cooperativas o a los comercializadores privados para ser trillado y extraer el producto a exportar²². A continuación se presentan cada una de las etapas del proceso de beneficio del grano

a. Despulpado:

El primer paso del proceso de beneficio del café consiste en retirar la pulpa de la cereza, para ello se ejerce presión desde la camisa de la despulpadora, siendo un paso que debe iniciarse inmediatamente después de que se cosechan los frutos para evitar la calidad de la bebida o que se pueda originar el defecto llamado “fermento”. El café maduro contiene mucílago, baba o “miel”, que permite El

²⁰ ARRAZOLA, Felipe. Ibíd., [Sitio web]

²¹ CENICAFÉ. Óp. Cit., Pág. 4

²² PABÓN, Jenny., Peñuela, Aída. Efecto de la aplicación de agua ozonizada como técnica de conservación del café pergamino húmedo. [En línea] Manizales. Revista Cenicafe. Volumen 67. 2016. Pág. 64 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/RevistaCenicafe67-1.pdf>

despulpado con solo presionar la cereza. Por lo tanto, el proceso se realiza sin usar agua para despulpar el café.²³

Para este proceso se cuenta con despulpadoras tradicionales, que son las más usadas en Colombia, se encuentra también la despulpadora Gaviota 300 que se caracteriza por su mayor resistencia y finalmente las Zarandas, que su función radica más en la clasificación de los granos despulpados, todas estas herramientas determinan el tiempo, calidad y eficiencia de este primer paso, lo que está también condicionado por la capacidad adquisitiva del caficultor para la tecnificación de su trabajo.²⁴

b. **Remoción del mucílago:**

Según la información establecida por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), en su cartilla cafetera N° 20, el mucílago es la baba que recubre el grano despulpado, este debe ser removido por medio del proceso de fermentación natural o mecánicamente; el proceso de fermentación se realiza en los tanques donde se recibe el grano despulpado. En la fermentación natural, se debe controlar el tiempo para asegurar la calidad final del grano, porque si el café se sobre-fermenta se producen los defectos de sabor y aroma a vinagre, fermento, piña o vino, cebolla, rancio o stinker.²⁵

Se conoce también que la fermentación puede durar de 12 a 18 horas, dependiendo de las siguientes variables:

- **La temperatura del lugar:** el mayor tiempo de la fermentación se requiere en las zonas más frías.
- **La altura de la masa de café en el tanque de fermentación:** a mayor altura de la capa de café, es menor el tiempo de fermentación.
- **El uso de agua:** se recomienda la fermentación en seco ya que acelera la fermentación y se debe permitir que las aguas mieles salgan al exterior del tanque.

²³ CENICAFÉ., FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. Beneficio del café. En: Cartilla cafetera 20 [En línea] 2004. Pág. 154 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: https://issuu.com/revistaelcafetalero/docs/despulpado_remocion_del_mucilago_y

²⁴ CENICAFÉ., FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. Ibíd., Pág. 156

²⁵ CENICAFÉ., FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. Óp. Cit., Pág. 161

- Sumado a estos anteriores se debe tener en cuenta también el grado de madurez del café y la cantidad de mucílago en el grano.

Para la fermentación influyen ciertos **factores, procesos y controles** que orientan todo este paso, primero que todo es importante conocer que básicamente las levaduras y las bacterias de mucilago mediante sus enzimas naturales oxidan parcialmente los azúcares y producen energía (ATP), etano, ácido láctico, ácido acético y dióxido de carbono. Además, se obtienen otros alcoholes como propanol, butanol. También se degradan los lípidos del mucilago del café y cambian el color, el olor, la densidad, la acidez, el pH, la temperatura y la composición química microbiana.²⁶

Desde el Centro nacional de investigación de café (Cenicafé) se postulan los **factores de la fermentación** que deben ser tenidos en cuenta en esta segunda etapa del beneficio del café, tales como la calidad del sustrato, madurez y sanidad del fruto, lo que incide también en la composición química y microbiológica de los granos despulpados; también se encuentran los factores ambientales como la temperatura externa y la higiene de las instalaciones, ambientes y equipos; del tiempo, y del sistema mismo de fermentación.²⁷

En forma más desarrollada y enfática se puede hablar ciertos factores como: los sistemas de fermentación, la temperatura, la cinética, azúcares, grados brix y ph, los cuales serán conceptualizados a continuación como algunos de los más relevantes.

- Al hablar de **sistemas de fermentación**: se conoce el de dilución, aireación, agitación, aislamiento o suministro de sustrato, en los sistemas de sustrato sólido no se adiciona agua al café despulpado, en las fermentaciones sumergidas se agrega agua; a su vez, estos sistemas pueden ser abiertos o cerrados, continuos o discontinuos, estáticos o agitados, o desarrollarse a una temperatura o pH constantes, entre otros. En Colombia, la fermentación del café se realiza en sistemas sin agua o sumergidos y en tanques abiertos de diversos materiales.²⁸

²⁶ CENICAFÉ. Factores, procesos y controles en la fermentación del café. En: Avances técnicos Cenicafé [En línea] Agosto de 2012. Pág. 1 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/327/1/avt0422.pdf>

²⁷ CENICAFÉ. Ibíd., Pág. 2

²⁸ CENICAFÉ. Ibíd., Pág. 2

- En cuanto a la **temperatura**: se debe tener en cuenta que por la composición microbiana y química, el mucílago se fermenta de condiciones de ambiente, donde la temperatura varía entre los 12° a 34° de las zonas cafeteras, durante este proceso se realizan variaciones de dicha temperatura debido también a los procesos metabólicos de los microorganismos consecuente con la producción de energía.²⁹
- **Cinética**: Es el estudio de las velocidades y mecanismos de una reacción. La velocidad de la fermentación del café se mide por los cambios a través del tiempo de las concentraciones de la biomasa de microorganismos, de los azúcares del sustrato y del alcohol, y los ácidos de los productos. Las velocidades de los procesos bioquímicos y de las fermentaciones no son constantes, dependen de la temperatura y del tiempo. La cinética de degradación de los azúcares, de la acidificación y de la formación de alcohol en la fermentación del mucílago de café presenta, al igual que el crecimiento de microorganismos, una primera fase en la que la velocidad es relativamente lenta, seguida de una fase muy rápida hasta alcanzar un valor máximo, luego las tasas de degradación y de producción disminuyen y a partir de estos tiempos las concentraciones de los componentes del sustrato prácticamente no varían.³⁰
- Se debe tener en cuenta que la degradación de los **azúcares** del mucílago y la acidificación son los principales cambios en la composición química del mucílago durante este proceso, estos azúcares constituyen del 6,2% al 7,4% del peso húmedo del mucílago de café maduro y comprenden los azúcares reductores y los no reductores. Los azúcares reductores conforman del 4,0% al 4,6% del peso del mucílago fresco y son fermentados por las levaduras y bacterias para producir el etanol, el ácido láctico y otros compuestos. De otra parte, los azúcares no reductores como la sacarosa son degradados, primero por hidrólisis, y luego, por fermentación de los azúcares reductores obtenidos.³¹
- Con los **grados Brix** se determina y expresa el porcentaje de sacarosa en la caña de azúcar, las frutas y los jugos, y en los vinos su contenido de glucosa. En el caso del café, los sólidos solubles del mucílago contienen principalmente sacarosa, glucosa, fructosa, ácidos málico, láctico, acético, succínico, oxálico, fórmico, fosfórico, galacturónico, etanol y otros alcoholes, ésteres, polisacáridos, proteínas y cenizas.

²⁹ CENICAFÉ. *Ibíd.*, Pág. 4

³⁰ CENICAFÉ. *Ibíd.*, Pág. 4

³¹ CENICAFÉ. *Ibíd.*, Pág. 6

Los grados Brix del mucílago de café fresco varían según el estado de maduración (Véase la Tabla número 1). En promedio, el mucílago del café pintón contiene menos grados Brix (14,1%) que el maduro (17,1%), y el sobre maduro más que el maduro (20,1%). De otra parte, el promedio de la densidad del mucílago del fruto pintón es menor que en los frutos sobre maduros y maduros; la densidad del mucílago disminuye durante la fermentación, pero estos cambios no son significativos para ningún estado de madurez.

En los sistemas de fermentación del café sin agua, a través del tiempo, el ° Brix muestra un decrecimiento exponencial y son más lentos al disminuir la temperatura externa. Por el contrario, en sistemas sumergidos, el ° Brix del medio aumenta a medida que transcurre la fermentación del café, debido a la disolución de las sustancias en el agua. Los grados Brix del mucílago de café fresco son un indicador de la madurez del grano despulpado y su medición durante la fermentación permite hacer seguimiento y control del proceso.³²

Tabla 1 Grados Brix y densidad relativa del mucílago de café fresco según el estado de madurez

Variable media	Grados Brix (%)			Densidad relative		
Madurez del mucílago de café	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.
Pintón	13,04	14,91	14,09A	0,58	1,27	0,91A
Maduro	14,63	18,62	17,05B	1,35	1,43	1,38B
Sobremaduro	18,81	21,23	20,10C	1,18	1,50	1,26B

Fuente: CENICAFÉ. Grados Brix y densidad relativa del mucílago de café fresco, según el estado de madurez. [En línea] Factores, procesos y controles en la fermentación del café. En: Avances técnicos Cenicafe. Agosto de 2012. Pág. 8 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/327/1/avt0422.pdf>

En términos de **PH**, su valor se mide en un potenciómetro o pH- metro y mediante tiras de color que están impregnadas de reactivos indicadores especiales. El pH del café en baba fresco es ácido, con valores que dependen de la madurez, del tiempo entre la recolección y el despulpado, y de la manipulación de los frutos y granos en baba; así, el café en baba clasificado sólo por zaranda presenta pH entre 4,9 y 5,6, con un promedio de 5,2; mientras que los granos en baba obtenidos de frutos

³² CENICAFÉ. Ibíd., Pág. 6 -8

clasificados con agua y después de despulpados por zaranda tienen un pH de 5,1 a 5,6, y un promedio de 5,4. Por su parte, en sistemas sumergidos, cuando para la fermentación se agrega agua en un 30% del peso de café en baba, el pH inicial es de 5,3 a 5,5 y para 50% alcanza valores de 5,6 a 6,0.

La variación del pH durante la fermentación del café es diferente dependiendo de la calidad del grano en baba, del sistema y de la temperatura externa (véase Tabla número 2) Así, los sistemas de sustrato sólido (sin adición de agua) son más heterogéneos que los sistemas sumergidos y, por consiguiente, el rango de variación del pH es más amplio para cualquier tiempo. Los sistemas sumergidos inician con un valor de pH mayor que los sistemas sin agua; en los sistemas abiertos la disminución del pH es más lenta que en los cerrados, y a mayor temperatura externa la disminución del pH en la fermentación es más rápida.

En la fermentación del café el pH del mucílago disminuye hasta un valor que depende del sistema y de la temperatura de fermentación. Posteriormente, el pH del mucílago de café fermentado aumenta debido a la fermentación del ácido láctico, a la eliminación del dióxido de carbono, a la producción de otros ácidos más débiles, a sales y sustancias básicas que se disuelven y por otras degradaciones. En general, valores de pH del mucílago fermentado entre 3,7 y 4,1 son adecuados y seguros para interrumpir la fermentación y lavar el café.³³ Tal como se evidencia en la tabla 2.

Tiempo de fermentación en horas	Sistema de fermentación							
	sin agua	30% agua	50% agua	sin agua	30% agua	50% agua	sin agua	50% agua
	Clasificación por zaranda			Clasificado por sifón y zaranda				
	22 a 25 °C			22 a 25 °C			17 a 19 °C	
0	5,00	5,23	5,43	5,36	5,41	5,81	5,58	5,66
12	4,07	4,42	4,49	3,92	4,39	4,68	4,52	4,65
14	3,95	4,30	4,37	3,76	4,29	4,54	4,39	4,53
16	3,85	4,18	4,27	3,64	4,20	4,40	4,28	4,42
18	3,76	4,06	4,19	3,54	4,13	4,28	4,19	4,31
20	3,68	3,95	4,11	3,47	4,07	4,17	4,11	4,22
22	3,62	3,84	4,05	3,44	4,04	4,07	4,04	4,15
24	3,56	3,74	4,00	3,43	4,02	3,99	4,00	4,08

³³ CENICAFÉ. Ibíd., Pág. 8-9

26	3,52	3,63	3,97	3,45	4,02	3,91	3,96	4,03
28	3,49	3,53	3,94	3,50	4,04	3,85	3,94	3,99
30	3,48	3,44	3,93	3,58	4,07	3,80	3,94	3,96

Tabla 2. Variación del pH del mucílago a través del tiempo de fermentación en sistemas abiertos, sólidos y sumergidos con 30% y 50% de agua, según la temperatura de proceso y la clasificación del café en baba.

Fuente: Variación del pH del mucílago a través del tiempo de fermentación en sistemas abiertos, sólidos y sumergidos con 30% y 50% de agua, según la temperatura de proceso y la clasificación del café en baba. [En línea] Factores, procesos y controles en la fermentación del café. En: Avances técnicos Cenicafé. Agosto de 2012. Pág. 9 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/327/1/avt0422.pdf>

Finalmente, Cenicafé da a conocer las buenas prácticas para lograr bebidas de café a partir de la fermentación natural, basado en tres elementos, el primero **el sustrato**, que habla de estandarizar la calidad del café en baba por medio de la recolección selectiva de los frutos maduros, una selección ordenada de las cerezas y del grano despulpado, en segundo lugar el **tanque fermentador**, por lo cual recomienda la sanidad de estos, superficies lisas y bordes redondeados para un lavado fácil, su capacidad debe ajustarse al nivel de producción de cada finca y por último los **controles**, en los que se fija el tiempo de la fermentación y la medición del pH según el sistema de fermentación, ya que se cuenta con las fermentaciones de sustrato sólido en sistema abierto y las fermentaciones de sustrato sumergido en sistema abierto, en cada uno de ellos varía el tiempo del proceso, el peso, la medición del pH, el proceso de lavado, de escurrir y disponer.³⁴

No se puede desconocer que durante el beneficio del café, los granos despulpados se mantienen hasta su lavado, inmersos en el mucílago fermentado que contiene los diversos productos de la fermentación. Mediante la práctica de procesos de fermentación, lavado y secado controlados, se obtienen bebidas de café con aromas y sabores de buena calidad y especiales.³⁵

c. Lavado

El lavado permite retirar totalmente el mucílago fermentado del grano. Para este proceso se utiliza agua limpia para evitar defectos como el grano manchado, sucio, el sabor a fermento y la contaminación. El lavado puede hacerse en el mismo tanque, o pasarse al canal de correteo.³⁶

³⁴ CENICAFÉ. Ibíd., Pág. 10 -11

³⁵ CENICAFÉ. Ibíd., Pág. 2

³⁶ CENICAFÉ., FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. Óp. Cit., Pág. 163 [En línea]

El proceso de beneficio húmedo constituye un trabajo arduo y artesanal que está íntimamente ligado a la tradición cafetera colombiana, además se constituye en uno de los principales elementos que garantizan la calidad del café. En este proceso se eliminan impurezas y permite una selección y clasificación del café.³⁷

El lavado del café fermentado se lleva a cabo dentro de los tanques haciendo cuatro (4) enjuagues. El primer enjuague se realiza adicionando agua, agitando simultáneamente hasta que se presente fluidez de la masa. En esta operación se drena el residuo del lavado en menos de cinco minutos. La adición de agua en el segundo y tercer enjuague se realiza hasta cubrir la masa, agitando fuertemente el conjunto. El cuarto enjuague se realiza en forma análoga al segundo y tercero, adicionando agua por encima de la masa de café hasta 5 centímetros para facilitar el retiro de los flotes o granos vanos.³⁸

Para facilitar la agitación de la mezcla, se utiliza una paleta construida en PVC la cual ofrece una alta resistencia química, esta provista, en su borde, de una manguera de polietileno con la cual se evitan las averías en el tanque durante el proceso de lavado.³⁹

Una vez el café ha pasado por el proceso de beneficio debe ser secado con el objetivo de reducir su humedad hasta valores entre el 10% y 12%, este proceso se puede realizar con diferentes sistemas tanto solares como mecánicos, cada uno de ellos con formas de realización y medición del estado del grano diferentes, dando como resultado el café pergamino que es el comercializado caracterizado por su color uniforme, olor fresco, libre de organismo, entre otros.⁴⁰

³⁷ FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. 2010. Citado por BASTIDAS, Mabel., Caracterización de las técnicas de manejo en post cosechas para la obtención para la obtención de cafés especiales. [En línea] Trabajo de grado para optar por el título de ingeniera agroforestal. Universidad de Nariño. Pasto. 2017. Pág. 17 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <http://sired.udenar.edu.co/5474/1/ARTICULO%20POSTCOSECHA%20FINAL%20%20MABEL%20BASTIDAS.pdf>

³⁸ ZAMBRANO, Diego., Fermente y lave su café en el tanque tina. En: Avances técnicos Cenicafé. [En línea] Chinchiná, Caldas. Diciembre de 1993. Pág. 8 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: http://kimera.com/data/redlocal/ver_demos/RLCF/RECURSOS/BIBLIOTECA%20CAFETERA/D%200-%20PROCESOS%20BENEFICIO/AT%20197ok%20fermentar%20lavar%20tanque%20tina.pdf

³⁹ ZAMBRANO, Diego. Ibíd., Pág. 3

⁴⁰ CENICAFÉ., FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. Beneficio del café II: Secado del café pergamino. En: Cartilla cafetera 21 [En línea] 2004. Pág. 175 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: https://www.cenicafe.org/es/publications/cartilla_21_Secado_del_cafe.pdf

Las variables de interés en la etapa de secado son: Densidad aparente, peso, diámetros y contenido de humedad del pergamino seco y grano almendra; peso y porcentaje de café retenido en cada tamiz, porcentaje de merma en trilla y rendimiento en trilla; y las relaciones café cereza: café pergamino.⁴¹

A modo de síntesis se desarrolla la siguiente tabla, la cual contiene las etapas del beneficio tradicional del café.

Tabla 3. Etapas del beneficio tradicional del café

Etapas	Descripción	Actividad
Despulpado	Consiste en retirar la pulpa de la cereza por medio de presión que ejerce la camisa de la despulpadora y debe iniciarse inmediatamente después de que se cosechan los frutos. El retraso de este proceso por más de 6 horas afecta la calidad de la bebida y puede originar el defecto llamado Sobre fermentación.	
Remoción del mucilago	El mucilago debe removerse por medio del proceso de fermentación natural o mecánicamente. El proceso de fermentación se realiza en los tanques donde se recibe el grano despulpado. En la fermentación natural, se controla el tiempo para asegurar la calidad final del grano, ya que si el café se sobrefermenta se producen los defectos de sabor y aroma a vinagre.	
Lavado	El lavado permite retirar totalmente el mucilago fermentado del grano. Use agua limpia para evitar defectos como el grano manchado, sucio, el sabor a fermento y la contaminación	
Secado	Luego de lavado, el grano se seca para reducir la humedad. Como norma vigente para la comercialización el café pergamino seco debe tener entre el 10 y el 12% de humedad.	

Fuente: Autor

4.2 MARCO NORMATIVO Y LEGAL

El diseño del sistema de lavado del grano despulpado de café está enmarcado en normas y códigos nacionales e internacionales, que guían las buenas prácticas de manufactura de equipos y sistemas para manipulación y procesamiento de alimentos, por lo tanto, la ejecución, promoción, desarrollo y puesta en marcha del

⁴¹ CENICAFÉ. Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio. [En línea] Abril de 2008. Avances técnicos Cenicafe 370. Pág.4. [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/358/1/avt0370.pdf>

diseño propuesto en este trabajo debe identificar y reconocer las directrices y estándares de las diferentes normas aquí presentadas.

4.2.1 Norma Codex.

El código de alimentación de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) desde el Codex Alimentarius, dónde se recopila los códigos, directrices y recomendaciones de lo anterior mencionado

Por lo tanto se debe conceptualizar de manera general el Codex Alimentarius y sus objetivos, reconociendo que este código establece las normas alimenticias que abarcan los principales alimentos, con el fin de proteger la salud de los consumidores, este también se refiere a los aspectos de higiene y a las propiedades nutricionales de los alimentos, comprendidas las normas microbiológicas, los aditivos alimentarios, plaguicidas y residuos de medicamentos veterinarios, sustancias contaminantes, etiquetado y presentación y método de muestreo y análisis de riesgos.⁴²

El Codex como uno de los referentes reconocidos internacionalmente con respecto a la calidad de los productos alimenticios, el cual establece los estándares que se deben tener en cuenta en este proyecto para garantizar la calidad exigida en la producción del café, lograr su exportación y comercialización de manera segura y eficiente. Del análisis del codex se establecieron una serie de requerimientos de diseño los cuales son desarrollados y presentados más adelante en este documento con el objetivo de garantizar que el proyecto cumple esta normativa.

4.2.2 Norma técnica colombiana (NTC 5181).

En Colombia se cuenta con una entidad Icontec de carácter privado sin ánimo de lucro, que posee como objetivo responder a las necesidades de los diferentes sectores económicos por medio del desarrollo de su competitividad tanto en servicios como en productos, tienen un papel activo en los organismos internacionales de esta misma categoría, lo que permite que sus certificaciones tengan reconocimiento fuera del país, de esta manera en sectores como el cafetero se puede encontrar su respaldo con la prioridad de lograr ventajas competitivas en los mercados internos y externos.⁴³

⁴² ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Óp. Cit. [Página web]

⁴³ ICONTEC. ¿Quiénes somos? [Página web] [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.icontec.org/quienes-somos/>

Teniendo en cuenta que el proyecto se desarrollará en el contexto colombiano, son aplicables los criterios de la Norma Técnica Colombiana 5181, que busca establecer las directrices básicas para asegurar que los diferentes productos de café, sean procesados y comercializados con los más altos estándares de calidad, inocuidad e idoneidad, además de tener un amplio campo de aplicación teniendo en cuenta todas las etapas del proceso de beneficio de este producto ⁴⁴; sabiendo que esta norma es un posible marco orientador para el presente proyecto, se determinará su incidencia y pertinencia en un capítulo siguiente.

4.2.3 Decreto 60 2002- INVIMA (ministerio de salud de Colombia).

En Colombia se cuenta también con entes rectores a nivel salud que determinan estándares de higiene, calidad e inocuidad en escenarios de servicios y generación de productos, como es el caso del Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (invima), quien trabaja desde el carácter técnico y científico para proteger la salud individual y colectiva de los colombianos mediante aplicación de normas sanitarias asociados al consumo y uso de alimentos con regulación y vigilancia sanitarias, estando liderado principalmente por el ministerio nacional de salud.⁴⁵

Es así que en el año 2002 decretaron y estipularon lo correspondiente a la promoción de un sistema de análisis de peligros y puntos de control crítico – Haccp en las fábricas de alimentos, ámbito de aplicación que acoge también a los procesos analizados en el presente trabajo relacionado con el beneficio de café, este marco normativo apunta a la inocuidad de los alimentos y a su proceso de certificación. Con este sistema se lograría principalmente realizar un análisis de peligros reales y potenciales en toda la cadena de producción, se establece un sistema de monitoreo, de corrección, de registro, verificación y seguimiento que garanticen el cumplimiento del sistema y por ende la calidad del producto y salud del consumidor.⁴⁶

⁴⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Buenas prácticas de manufactura para la industria del café. NTC5181. Bogotá.: El instituto. 2003. Pág. 2 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/10297152-Norma-tecnica-colombiana-5181.html>

⁴⁵ INVIMA. Quiénes somos. [Página web][Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.invima.gov.co/web/quest/quienes-somos>

⁴⁶ COLOMBIA. Ministerio de salud. Decreto 60 de 2002 (18 de enero de 2002) Por el cual se promueve la aplicación del Sistema de Análisis de Peligro y Puntos de Control Crítico – Haccp en las fábricas de alimentos y se reglamenta el proceso de certificación. [En línea] Bogotá. [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO%200060%20DE%202002.pdf

5 REQUERIMIENTOS DE TIPO SANITARIO, NORMATIVOS Y LEGALES, QUE APLIQUEN AL PROCESO DE LAVADO DE CAFÉ.

Tal cómo se indicó anteriormente y teniendo un panorama general de los marcos normativos aplicables al presente proyecto, se desglosara de manera más específica y aterrizada en la realidad del presente proyecto los requerimientos que exige cada una de las tres normas, definidas por el Codex Alimentarius, Norma técnica colombiana y normativa Invima. Se busca con este capítulo determinar cuáles son los parámetros relevantes para el desarrollo asertivo de la propuesta planteada en este proyecto que en este caso sería un equipo o maquinaria.

5.1 REQUERIMIENTOS DEL CODEX ALIMENTARIUS

Esta norma permite conocer sobre las buenas prácticas de manufactura del producto y los estándares de higiene en todas las etapas por las que este pasa, sin embargo, se focalizo en las que se refieren **a las condiciones generales de diseño y construcción** de instalaciones alimentarias, la cual determina la importancia de usar materiales duraderos, de fácil mantenimiento, limpieza y desinfección.

Establece también la importancia de que el equipo y los recipientes deben fabricarse con materiales que no tengan efectos tóxicos para el uso al que se destinan, deben ser duraderos y móviles o desmontables, para permitir el mantenimiento, la limpieza, la desinfección y la vigilancia y para facilitar, por ejemplo, la inspección en relación con la posible presencia de plagas.⁴⁷

5.2 REQUERIMIENTOS DE LA NORMA NTC 5181

Tal como lo establece el ICONTEC, esta norma se estructuró para establecer las directrices necesarias para asegurar que los productos de café se procesen con altos estándares de calidad, usando también buenas prácticas de manufactura y todo lo necesario para garantizar inocuidad en los productos.⁴⁸ Esta norma también dicta que los equipos y utensilios empleados en el manejo del café deben estar

⁴⁷ FAO. Código internacional recomendado de prácticas – Principios generales de higiene de los alimentos. En: Códex Alimentarius – Higiene de los alimentos – Textos básicos [En línea] Roma. Segunda edición. [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/y1579s/y1579s02.htm#bm2.5>

⁴⁸ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Óp. Cit., Pág. 2

fabricados con materiales resistentes al uso y a la corrosión, y a su vez debe realizar un constante uso de elementos de limpieza y desinfección.⁴⁹

Todas las partes y superficies de contacto con el café deben ser inertes, no aditivas, ni absorbentes, bajo las condiciones de uso previstas, de manera que no exista interacción entre éstas o de éstas con el café, a menos que éste o los elementos contaminantes migren al producto, dentro de los límites permitidos en la respectiva legislación. De esta forma, no deben usar materiales contaminantes como: plomo, cadmio, zinc, antimonio, hierro u otros que constituyan riesgo para la salud. Todas las superficies de contacto directo con el café deben poseer un acabado liso, no poroso, no absorbente, y estar libres de defectos, grietas, intersticios u otras irregularidades que puedan atrapar partículas o microorganismos que afectan la calidad del café. Pueden emplearse otras superficies cuando exista una justificación tecnológica específica⁵⁰

Hace mención sobre la importancia de que las superficies sean de fácil acceso, así como fácil desmonte para su limpieza e inspección, sugieren ángulos internos con curvatura y de tipo suave para su higienización, recomiendan no usar pinturas u otro material que represente riesgo a la inocuidad del producto.

Además, menciona que:

- Los controles e interruptores (mandos) de los equipos deben ser, en lo posible, separados de éstos con redes eléctricas bien protegidas y organizadas [13]. En los espacios interiores en contacto con el café, los equipos no deben poseer piezas accesorias que requieran lubricación, ni roscas de acoplamiento u otras conexiones peligrosas.
- Se deben evitar pernos, tornillos y remaches, ya que pueden caer en los productos. La soldadura en las superficies en contacto con el producto debe ser tan lisa como sea posible. No se permite hacer agujeros en cuerpos huecos o interiores de los equipos.

⁴⁹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Óp. Cit., Pág. 20

⁵⁰ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Ibíd., Pág. 20

- Las superficies exteriores de los equipos deben estar diseñadas y construidas de manera que faciliten su limpieza y eviten la acumulación de suciedades, microorganismos, plagas u otros agentes contaminantes.⁵¹

5.3 REQUERIMIENTOS DEL DECRETO 60 DEL 2002 - APLICACIÓN DEL SISTEMA HACCP (INVIMA)

Este decreto promueve la identificación de peligros y puntos de Control Crítico para el aseguramiento de inocuidad de los Alimentos y lograr proceso de certificación. Al extraer de su contenido lo relacionado con las **condiciones generales de diseño y construcción**⁵², se sabe que este decreto establece aspectos tales como:

- Los equipos y utensilios utilizados en el procesamiento, fabricación, preparación, de alimentos dependen del tipo de alimento, materia prima o insumo, de la tecnología a emplear y de la máxima capacidad de producción prevista. Todos ellos deben estar diseñados, construidos, instalados y mantenidos de manera que se evite la contaminación del alimento, facilite la limpieza y desinfección de sus superficies y permitan desempeñar adecuadamente el uso previsto.
- Los equipos y utensilios empleados en el manejo de alimentos deben estar fabricados con materiales resistentes al uso y a la corrosión, así como a la utilización frecuente de los agentes de limpieza y desinfección.
- Todas las superficies de contacto directo con el alimento deben poseer un acabado liso, no poroso, no obstante y estar libres de defectos, grietas, intersticios u otras irregularidades que puedan atrapar partículas de alimentos o microorganismos que afectan la calidad sanitaria del producto. Podrá emplearse otras superficies cuando exista una justificación tecnológica específica.
- En lo posible los equipos deben estar diseñados y construidos de manera que se evite el contacto del alimento con el ambiente que lo rodeo.
- Los equipos utilizados en la fabricación de alimentos podrán ser lubricados con sustancias permitidas y empleadas racionalmente, de tal forma que se evite la contaminación del alimento.

5.4 MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS

Habiendo detallado los requerimientos que cada uno de los tres marcos normativos exigen, se hizo necesaria su comparación por medio de una matriz que permite

⁵¹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Ibíd., Pág. 20

⁵² COLOMBIA. Ministerio de salud. Óp. Cit., Pág.

analizar puntos en común, puntos divergentes y aspectos influyentes y en especial aquellos relacionados con las restricciones para el diseño del sistema de lavado del grano de café, tal como lo evidencia en la tabla 4 Matriz de categorización de los requerimientos.

Tabla 4. Matriz de categorización de los requerimientos

PARÁMETROS DE DISEÑO	Normas	NORMA TÉCNICA NTC 5181	DECRETO 60 2002 INVIMA	CODEX ALIMENTARIUS
	Materiales	Materiales resistentes al uso y a la corrosión, así como a la utilización frecuente de los agentes de limpieza y desinfección.	Plantea los principios básicos y prácticas generales de higiene en la manipulación, preparación, elaboración, envasado, almacenamiento, transporte y distribución de alimentos para consumo humano, con el objeto de garantizar que los productos se fabriquen en condiciones sanitarias adecuadas y se minimicen los riesgos inherentes durante las diferentes etapas de la cadena de producción.	Las estructuras del interior de las instalaciones alimentarias deberán estar sólidamente construidas con materiales duraderos y ser fáciles de mantener, limpiar y, cuando proceda, desinfectar. En particular, deberán cumplirse las siguientes condiciones específicas, en caso necesario, para proteger la inocuidad y la aptitud de los alimentos
		No se deben usar materiales contaminantes como: plomo, cadmio, zinc, antimonio, hierro u otros que constituyan riesgo para la salud.		
	Superficies	Todas las superficies de contacto directo con el café deben poseer un acabado liso, no poroso, no absorbente, y estar libres de defectos, grietas, intersticios u otras irregularidades que puedan atrapar partículas o microorganismos que afectan la calidad del café	Plantea los parámetros para dar garantía en cuanto a que los alimentos no causarán daño al consumidor cuando se preparen y/o consuman de acuerdo con el uso a que estén destinados.	Las superficies de trabajo que vayan a estar en contacto directo con los alimentos deberán ser sólidas, duraderas y fáciles de limpiar, mantener y desinfectar. Deberán estar hechas de material liso, no absorbente y no tóxico, e inerte a los alimentos, los detergentes y los desinfectantes utilizados en condiciones de trabajo normales
		Todas las partes y superficies de contacto con el café deben ser inertes, no aditivas, ni absorbentes, bajo las condiciones de uso previstas.		
		Las superficies exteriores de los equipos deben estar diseñadas y construidas de manera faciliten su limpieza y eviten la	Plantea las Medidas o actividades que se deben realizar con el propósito de evitar,	Hay que tener en cuenta las posibles fuentes de contaminación del medio ambiente. En particular, la producción primaria de alimentos no deberá llevarse a cabo en zonas donde la presencia de sustancias posiblemente peligrosas conduzca a un nivel inaceptable de tales sustancias en los productos alimenticios.
			El equipo y los recipientes (excepto los recipientes y el material de envasado de un solo uso) que vayan a estar en	

PARÁMETROS DE DISEÑO		acumulación de suciedades, microorganismos, plagas u otros agentes contaminantes Las tuberías empleadas para la conducción del café deben ser de materiales resistentes, inertes, no porosos, impermeables y fácilmente desmontables para su limpieza.	eliminar o reducir a un nivel aceptable, cualquier peligro para la inocuidad de los alimentos	contacto con los alimentos deberán proyectarse y fabricarse de manera que se asegure que, en caso necesario, puedan limpiarse.
	Accesorios	En los espacios interiores en contacto con el café, los equipos no deben poseer piezas o accesorios que requieran lubricación, ni roscas de acoplamiento u otras conexiones peligrosas. Se deben evitar pernos, tornillos y remaches, ya que pueden caer en los productos	Evitar la presencia Agentes físicos, químicos o biológicos presente en el alimento o bien la condición en que este se halle, siempre que represente o pueda causar un efecto adverso para la salud.	Proteger los alimentos y los ingredientes para alimentos de la contaminación de plagas o de contaminantes químicos, físicos o microbiológicos, así como de otras sustancias objetables durante la manipulación, el almacenamiento y el transporte.
	Soldadura	La soldadura en las superficies en contacto con el producto debe ser tan lisa como sea posible		
	Lubricación	Los motores que van arriba de los equipos deben contar con retenedores para lubricantes, que deben ser USDA H1, para uso alimenticio, o tener rodamientos cerrados.		
	Mantenimiento	Es necesario que en su planificación y diseño se trate de reducir al mínimo el riesgo de error, y debe permitir una adecuada limpieza y mantenimiento del orden, con el fin de evitar la contaminación de cualquier tipo de materiales y productos, y en general toda situación que pueda influir negativamente en la calidad del café.	Identificar los posibles puntos críticos y plantear monitoreo y mantenimientos con el fin de garantizar la inocuidad del alimento.	El equipo y los recipientes deberán fabricarse con materiales que no tengan efectos tóxicos para el uso al que se destinan En caso necesario, el equipo deberá ser duradero y móvil o desmontable, para permitir el mantenimiento, la limpieza, la desinfección.

Fuente: Propia

Se realizó un análisis de las normas alimentarias mencionadas anteriormente específicamente de los aspectos que engloban el tema de restricciones y buenas prácticas de manufactura en cuanto a fabricación de equipos para producción y procesamiento de alimentos. En la matriz se comparan los diferentes parámetros encontrados en las normas y se dividen en materiales, superficies en contacto con el alimento, accesorios del sistema, soldadura, puntos de lubricación y mantenimiento del sistema.

Al comparar los parámetros establecidos por cada una de las normas se determinó que no son excluyentes. En la primera parte se realiza una comparación sobre los materiales adecuados para la fabricación de equipos de procesamiento de alimentos y las características que los mismos deben tener, cada una de las normas establece que los materiales deben ser duraderos fáciles de limpiar y mantener, adicionalmente no se deben utilizar materiales contaminantes como: plomo, cadmio, zinc, antimonio, hierro u otros que constituyan riesgo para la salud. En la segunda sección se presentan las características que deben tener las superficies que están en contacto con alimentos estas deben ser lisas para evitar la acumulación de suciedades y microorganismos u otros agentes contaminantes. En cuanto a las tuberías empleadas estas deben ser fáciles de desmontar para su adecuada limpieza asimismo deben ser de materiales resistentes, inertes y no porosos. La tercera sección está dedicada al análisis de los accesorios, en sistemas de procesamiento de alimentos se deben evitar pernos, tornillos y remaches, ya que pueden caer en los productos.

Otros aspectos para tener en cuenta son los puntos de lubricación y ubicación de motores debido a que si estos se encuentran en la parte superior de los equipos deben contar con retenedores para lubricantes que a su vez deben ser de grado alimenticio o tener rodamientos cerrados. Por lo cual es necesario planificar un mantenimiento adecuado con su respectiva frecuencia para evitar algún tipo de contaminación, para esto las normas establecen que desde la parte de diseño se trate de reducir al mínimo el riesgo de error y que el mantenimiento sea fácil de ejecutar.

Cada una de las normas mencionadas anteriormente, complementan los parámetros para fabricación de equipos y garantizar la inocuidad en los procesos de producción y tratamiento de alimentos. Partiendo de estas normatividades se establecen las restricciones y condiciones mínimas que debe cumplir el sistema de lavado de grano.

6 ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS DE DISEÑO

Cuando se piensa en el desarrollo de nuevos productos, los diseñadores cuentan con gran variedad de herramientas y diferentes metodologías que permiten abordar las situaciones que se presentan durante este proceso de creación, especialmente de escenarios problemáticos en los que el diseño no satisface todas las necesidades o requerimientos para su apropiación y uso.

Otro elemento importante durante el proceso de diseño es la innovación, como eje fundamental para no sólo la creación de productos, sino también en el establecimiento u obtención de los parámetros que van ligados a este, por esta razón se ahondó en tres metodologías diferentes que permitieran facilitar el proceso de diseño tanto para los creadores como para los clientes o beneficiarios del proyecto.

En este caso se hace referencia a: Despliegue de la función de calidad QFD, Teoría para resolver problemas de inventiva TRIZ y la matriz de decisión Pugh, que permiten evitar pedidas de tiempo en el diseño y minimizan el riesgo de errores en la creación o elección de prototipo, a su vez permiten indagar de manera completa las necesidades de los clientes desde diferentes perspectivas.

6.1 DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE LA CALIDAD - QFD

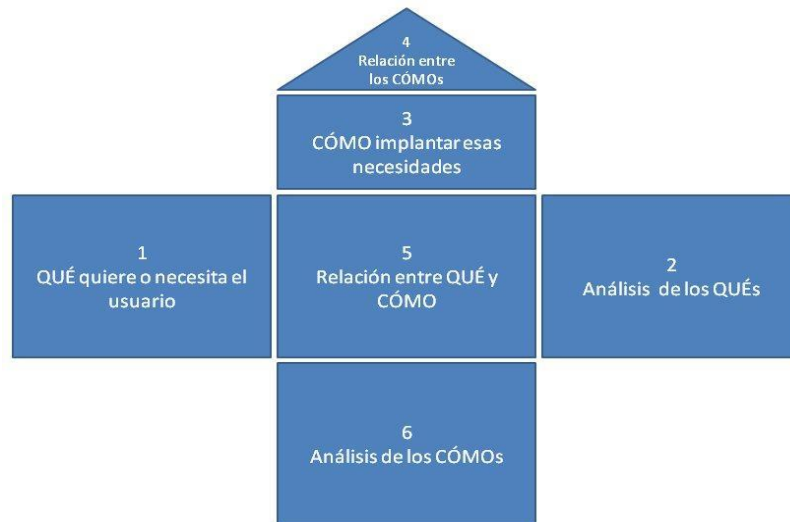
El método QFD permite adecuar y transformar las características cualitativas en cuantitativas, abordando los problemas y sugerencias de los clientes, especialmente en las primeras etapas de la definición del producto y lo que esperan de este, de esta manera a medida que avanza el proceso dichas problemáticas van disminuyendo, esto se debe a su vez por la flexibilidad del método y la oportunidad de adaptarlo según las necesidades de los usuarios.⁵³

En el portal web de la agrupación PCDA Home, orientada a la gestión de calidad en diferentes sectores, se obtuvo información sobre cómo desarrollar esta metodología de diseño, de la cual refiere que se debe tener en cuenta que son seis las etapas (véase figura número 1) por las que se debe llevar la planeación junto al cliente, cada una de estas etapas permiten conocer la prioridad de las necesidades, cuales

⁵³ CONVENCION CIENTIFICA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA [En línea] 17 (24 al 28 de noviembre de 2014). Uso de TRIZ, VOC Y QFD como herramientas para el diseño de nuevos productos. México. Pág. 4 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/25463917/USO_DE_TRIZ_VOC_Y_QFD_COMO_HERRAMIENTAS_PARA_EL_DISEÑO_DE_NUEVOS_PRODUCTOS

no son tan necesarias y el posicionamiento de dicho diseño/producto en relación a otros en el mercado.⁵⁴

Figura 1 Metodología QFD



Fuente: Bernal, Jorge., Despliegue de la función calidad (QFD): Guía de uso. Para qué sirve el QFD y cómo realizarlo. [Página web] Octubre de 2012 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.pdcahome.com/1932/qfd-despliegue-calidad/>

A continuación, se desarrollará una definición concreta de cada uno de los pasos descritos en el portal web de PDCA Home, los cuales definen los elementos a tener en cuenta en la aplicación de esta metodología.

- a. **Paso número 1. Lista de los QUÉ.** En este paso se establece lo qué quiere o espera el cliente del producto, se debe incluir cualquier aspecto que consideren necesario, la relevancia de estos aspectos se irá estableciendo durante el avance de la metodología.
- b. **Paso número 2. Análisis de los QUÉ.** Se realiza la clasificación de los QUÉ según la importancia y relevancia que tengan, para ello es posible realizar una evaluación por aplicación de instrumentos como las encuestas que permitan conocer su prioridad por medio de escalas calificativas (siendo

⁵⁴ Bernal, Jorge., Despliegue de la función calidad (QFD): Guía de uso. Para qué sirve el QFD y cómo realizarlo. [Página web] Octubre de 2012 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.pdcahome.com/1932/qfd-despliegue-calidad/>

1=nada importante y 5=muy importante buena), que luego dará paso al establecimiento de objetivos que se necesitan alcanzar para satisfacer estos requerimientos, a su vez este paso permite descartar las necesidades que se determinen como no relevantes.

- c. **Paso número 3. Lista de los CÓMO.** En este tercer punto se definen los procesos técnicos (CÓMO) para satisfacer las necesidades (QUÉ), se definen por medio de un listado sencillo que sólo los mencione.
- d. **Paso número 4. Relación entre los CÓMO.** Este paso establece las posibles interacciones que existen entre los procesos técnicos propuestos, y cómo estar interacciones repercuten de manera positiva/útil o de manera negativa/limitante en el producto, refieren que este paso no es estrictamente necesario.
- e. **Paso número 5. Relación entre QUÉ y CÓMO.** La importancia de este punto radica en que se relacionan las necesidades con los procesos técnicos por medio de una evaluación de qué tanta relación existe entre las dos variables, se puede desarrollar por una escala evaluativa de 0 a 9, siendo 0 sin relación y 9 alta relación, este punto permite saber si se están teniendo en cuenta todos los aspectos y su nivel de prioridad.
- f. **Paso número 6. Análisis de los CÓMO.** Por último, se calcula los objetivos técnicos, es decir los requerimientos de los usuarios ya expresados a nivel cuantitativo, con el objetivo de identificar la importancia de cada uno de los CÓMO contemplados, también funciona para evaluar los aspectos técnicos en comparación de los diseños o productos del mercado, escenario que permite el mejoramiento de estrategias en función de la competencia.

6.2 TEORÍA PARA RESOLVER PROBLEMAS DE INVENTIVA - TRIZ

Esta teoría fue desarrollada en Rusia por Genrich S. Altshuller en la década de los 40's, y fue planteada para dar solución a problemas más complejos que los presentados en la cotidianidad de la sociedad, es decir a aquellos que necesitaban de un conocimiento científico para su solución y por ende promovían el uso de la innovación y creatividad, lo que ha permitido a la metodología un posicionamiento importante en los escenarios de diseño e ingeniería.⁵⁵

En cuanto a su metodología, se conoce que hay una aplicación a la problemática dada en tres pasos definidos como: reconocimiento de las necesidades del cliente, definición del problema y diseño conceptual, estos se encuentran descritos en el

⁵⁵ JIMENEZ, Iván., Aplicación de la teoría TRIZ en el desarrollo de un nuevo producto. Gestipolis [En línea] mayo de 2012. Pág. 3 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.gestipolis.com/aplicacion-de-la-teoria-triz-en-el-desarrollo-de-un-nuevo-producto/>

texto referente a la aplicación de la teoría TRIZ en el desarrollo de un nuevo producto⁵⁶, y relaciona lo siguiente:

- a. **Reconocimiento de las necesidades del cliente.** Como primer paso es necesario comprender lo que desea o busca el cliente, para ello se pueden aplicar técnicas de recolección de información como encuestas de tipo mercadeo con variables referidas a las funciones requeridas del proyecto y que deben ser concebidas en el momento de su diseño, el autor conceptualiza dichas funciones en tres categorías: negativas, esenciales o superfluas.
- b. **Definición del problema.** Después de analizar los datos obtenidos se da paso a reconocer las contradicciones o problemas que pueden surgir en el momento del diseño del producto, la minimización o eliminación de esas contradicciones es fundamental para asegurar el cumplimiento del objetivo principal e inicial del proyecto, en este paso se puede hacer uso de la matriz de contradicciones, la cual se ha posicionado como la herramienta distintiva de esta metodología.

La matriz identifica cuatro momentos, el primero referido a un problema específico en el que se deben usar los 39 parámetros dispuestos por el creador del método para identificar completamente el problema, en un segundo momento se denomina problema genérico que posee como función evidenciar otros problemas generales análogos y a los cuales se les ha planteado diversas soluciones en la historia del conocimiento, en un tercer momento que plantea una solución general conocidos también como principios inventivos y que pueden apuntarse al problema identificado y finalmente la solución específica que permite establecer soluciones creativas e innovadoras a los problemas concretos del diseño del producto o de la situación problema.⁵⁷

- c. **Diseño conceptual,** que es el desenlace de la identificación y solución de las contradicciones para buscar un diseño que cumpla con las especificaciones del cliente, y que por medio de la experiencia del

⁵⁶ JIMENEZ, Iván., Ibíd. Pág. 8

⁵⁷ TACLE, Paul; Moya, Jorge y Marty, José., Modificaciones de la matriz de contradicciones para el diseño de engranajes cilíndricos de dientes rectos de material plástico. [En línea] Revista Centro Azúcar. Volumen 46. Marzo 2019. Pág. 87-88 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v46n1/2223-4861-caz-46-01-86.pdf>

diseñador se pueden adicionar aspectos que aumenten la calidad y promesa de satisfacción del producto.⁵⁸

6.3 MATRIZ PUGH

La matriz Pugh, la cual lleva su nombre en honor al ingeniero de diseño Stuart Pugh y reconocido por aportar el concepto de diseño total, es una herramienta que se basa en el diseño sistemático necesario que va desde identificar necesidades mercado/usuario y hasta la venta exitosa del producto.⁵⁹

La matriz Pugh se basa en lo cuantitativo, lo que permite comparar diferentes opciones para lograr un arreglo multidimensional y realizar una mejora a un producto existente, para ellos es importante identificar los criterios que serán evaluados, estos hacen referencia a las necesidades del cliente, pasando después a los posibles conceptos de diseño que apunten al cumplimiento de los criterios definidos.⁶⁰

Metodología de matriz de Pugh

A continuación, se realizará una descripción de los pasos que comprenden la ejecución de la matriz Pugh⁶¹, esto según la información encontrada en el documento del curso Métodos cuantitativos para la toma de decisiones.

- **Paso 1:** Elegir el datum o el estándar con el que serán comparadas las otras alternativas.
- **Paso 2:** Elegir los criterios mediante los cuales se evaluarán las alternativas. Estos deben basarse en los requerimientos detallados del estándar (datum). Antes de comenzar la búsqueda de soluciones, se deben establecer los criterios de evaluación, esto se puede llevar a cabo mediante una lluvia de ideas.

⁵⁸ JIMENEZ, Iván., Óp. Cit. Pág. 15

⁵⁹ La Matriz de Pugh para la toma de decisiones [Blog] Calidad total. 14 de octubre de 2016. [Fecha de consulta: junio de 2020]. Disponible en: <http://ctcalidad.blogspot.com/2016/10/la-matriz-de-pugh-para-la-toma-de.html>

⁶⁰ La Matriz de Pugh para la toma de decisiones. Óp. Cit. [Blog]

⁶¹ Matriz de Pugh. En: Course Hero. [En línea] [Fecha de consulta: junio de 2020]. Disponible en: <https://www.coursehero.com/file/p7msgbh/13-Matriz-de-Pugh-La-matriz-de-Pugh-fue-publicada-por-primera-vez-en-el-a%C3%B1o-de/>

- **Paso 3:** Realizar la evaluación, la cual se hace de forma cuantitativa, utilizando símbolos para indicar las diferencias: + (más): la alternativa propuesta es mejor que el datum. (menos): la alternativa propuesta es peor que el datum. Cuando existan dudas respecto a si la alternativa es mejor o peor que el datum, se utiliza la S (de same en inglés) que quiere decir que la alternativa es igual al datum.
- **Paso 4:** Se evalúan las alternativas, utilizando la simbología del paso3 dentro de una matriz.
- **Paso 5:** Una vez realizada la evaluación, se suman los + y los - de cada alternativa.
- **Paso 6:** La mejor solución será la que tenga menos-. Si esto genera un empate, entonces se elegirá la alternativa que tenga más + y menos –

6.4 SELECCIÓN METODOLOGÍA DE DISEÑO

Teniendo en cuenta las especificaciones y elementos característicos de cada una de las tres metodologías de diseño se puede concluir en este punto que la matriz QFD es usada para la investigación y producción de productos en grandes cantidades que sean repetibles en varias situaciones, y en el caso de la Matriz Triz se basa en otros proyectos y productos ya existentes de los cuales se pueda extraer información que permita gestar un nuevo proyecto.

En este caso se desea diseñar un producto que pueda satisfacer las necesidades de un solo cliente en específico mas no en masa, y a su vez se desea hacer uso de la creatividad para atender a las necesidades también específicas del cliente que va a acceder al producto, siendo así la metodología de Matriz Pugh es la de mayor concordancia y utilidad para el presente proyecto, con esta elección se puede realizar un acompañamiento desde la evaluación de necesidades del cliente, opciones de diseño hasta la propuesta y ajuste de alternativas que posea mayor coherencia con el objetivo principal del proyecto.

7 DISEÑO DEL SISTEMA

Teniendo en cuenta toda la información y conceptos analizados y relacionados en el presente trabajo, se proyecta que el sistema de lavado de café que se busca diseñar para el cafetal El Triunfo en el municipio de Guaduas Cundinamarca, debe contar con las siguientes características: filtración de agua en la entrada del sistema, un sistema de limpieza de impurezas del grano, un sistema que realice el proceso de lavado.

El sistema se escogió a partir de las especificaciones del diseño obtenidas de las normas de buenas prácticas de manufactura y las normas relacionadas en el proceso dadas por entidades como el Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé, además de las especificaciones del cliente, y de esta manera poder realizar el análisis morfológico y matriz pugh.

7.1 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

Las especificaciones son los parámetros empleados para seleccionar la solución apropiada y efectiva para este proyecto y que está a su vez corresponda a la función principal “mejorar la calidad del producto a partir del control de las diferentes variables involucradas en el proceso” para poder suplir las necesidades del cliente, que se encuentran relacionadas con el mejoramiento y aseguramiento de la calidad del producto, además de poder estandarizar su proceso para así generar mayores ingresos económicos, según la investigación realizada para el proyecto se pueden extraer y resaltar las siguientes especificaciones:

- El equipo debe ser aséptico.
- Durante el proceso es importante garantizar que no se maltrate el grano.
- Medición de las variables del proceso (temperatura, pH).
- Fácil de operar.
- El mantenimiento del equipo debe ser sencillo para el operario.
- Los puntos de lubricación deben estar ubicado de forma que no se vaya a contaminar el producto.
- La capacidad del almacenamiento debe ser de 1000 litros.
- El área que ocupa el sistema no debe ser mayor a 5 metros de largo y 5 metros de ancho.

7.1.1 Análisis de morfología.

Para realizar el análisis morfológico se escoge como función principal el lavado de del grano por medio de diferentes mecanismos

Las sub-funciones se generaron a partir de las normas evaluadas de los requerimientos del cliente y especificaciones de ingeniería, las cuales generan una serie de conceptos como solución, tal como se puede observar en la tabla 5.

Material del tanque

Las estructuras del interior de instalaciones alimentarias deben estar construidas con materiales duraderos y fáciles de mantener, limpiar. Para el proceso de beneficio de café la FNC recomienda y avala los siguientes materiales que garantizan la inocuidad del producto:

- **Concreto y superficie en baldosa**

Tradicionalmente es el material recomendado por la federación nacional de cafeteros, un tanque en concreto con un entable de baldosa que garantiza que la superficie que este en contacto con el grano sea lisa y fácil de limpiar.

- **Acero inoxidable**

Es un material apto, aséptico y recomendado para tratamiento de alimentos en la industria alimentaria, debido a sus cualidades además es fácil de limpiar y mantener.

- **Material polietileno**

Es un material que facilita su limpieza es muy ligero permite el diseño de un tanque en la forma más conveniente para el proceso debido a su resistencia al impacto y buena procesabilidad.

Limpieza de impurezas

Durante el proceso de beneficio de grano las partículas de baja densidad flotan, así como granos de café defectuosos. Estas impurezas afectan la calidad final del producto por lo que deben ser retiradas. Tradicionalmente son retiradas de la siguiente forma:

- **Rebose**

El tanque cuenta con un nivel máximo falso que se abrirá en el momento en el que el tanque se encuentre lleno y todo el material de impurezas se encuentre en la superficie.

- **Manual**

El operador de la maquina debe extraer impurezas de la superficie del tanque de forma manual con un colador.

- **Sistema mecánico**

El tanque cuenta con un sistema de paletas con mayas filtrantes en la parte superior generando movimiento de extremo a extremo.

Llenado y vaciado del tanque

Es parte importante en el proceso de beneficio llevar un control de los tiempos de llenado y vaciado del tanque y así evitar desperdicios de agua durante el proceso y reducir el tiempo en esta etapa del beneficio para ello se proponen 2 diferentes formas que se presentan a continuación:

- **Gravedad**

Por diferencia de alturas hacer circular agua hasta el tanque hasta obtener la cantidad necesaria de agua.

- **Bombeo**

Para elevar el agua se utilizará una bomba que permitirá realizar esta acción con el agua de salida y de entrada al tanque, se utilizará solo una bomba y tendrá válvulas cambia vías.

Movimiento de la masa de café para retirar el mucilago

Se debe garantizar un movimiento total de la masa de café para retirar en su totalidad el mucilago y evitar pérdidas en calidad final del producto debido a avinagramiento, para esto se proponen 4 sistemas para remoción del mucilago.

- **Tornillo sin fin**

Un tornillo sin fin dentro del tanque de extremo a extremo que permitirá el movimiento de la masa dentro del tanque, debido a su sistema que transmite el movimiento circular entre ejes perpendiculares, actúa como un eje de motor.

- **Movimiento del tanque**

Es un sistema de eje rotatorio en su mismo punto que permitirá rotar el tanque con toda la masa.

- **Bombeo**

Una bomba diseñada para transporte de alimentos que permitiría la circulación del producto continuamente dentro del tanque.

- **Movimiento de paletas**

Es un agitador en el centro del tanque con unas aspas que permite la agitación del producto.

Extracción del grano del sistema

Actualmente el grano se extrae del tanque en forma manual lo que hace que el proceso de beneficio tome más tiempo. Para ello se proponen 3 sistemas que facilitaran extraer el café del tanque de forma rápida y sencilla que se presentan a continuación:

- **Bombeo**

Es una bomba diseñada para transporte de alimentos que permitirá extraer el grano del tanque.

- **Gravedad**

Es una ubicación adecuada para el correcto drenaje del café por gravedad.

- **Tornillo Sin Fin**

Es un tornillo sin fin con uno de sus extremos dentro del tanque y el otro fuera del tanque y así poder extraer el café del tanque.

Montaje y desmontaje del sistema

Debido a las condiciones del terreno y difícil ingreso a la finca el triunfo el sistema debe ser fácil de transportar y de instalar por el cliente. Además, se busca que el equipo pueda ser utilizado por más productores de la zona para ello se propone dos formas de realizar el sistema que se muestran a continuación:

- **Sistema estático**

El equipo se instalará en un área y no se podrá mover del área.

- **Movilidad del sistema**

Todo el equipo contará con conexiones rápidas y de fácil montaje para así poder ser trasladado desde el punto de fabricación a otra área en la que será instalado sin dificultad.

Cada uno de los conceptos se obtuvo de la revisión bibliográfica y se relacionaron en la tabla 5, con su respectiva subsunción para obtener alternativas diferentes de diseño.

Tabla 5. Tabla Morfología

Morfología					
Diseño de un sistema de lavado de grano despulpado de café					
Función principal: lavado del grano despulpado de café y limpieza de impurezas					
	Sub Funciones	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	Concepto 4
A	Material del tanque	Concreto y superficie en baldosa 1-8	Acero inoxidable 2-6-5	Material polietileno 3-4-7	
B	Limpieza de impurezas	Rebose 4-1-2-8	Manual 3-7	Sistema mecánico 6-5	
C	Llenado y vaciado del tanque	Gravedad 1-3-7	Bombeo 2-8-5-6-4		
D	Movimiento de la masa de café para quitar mucilago	Tornillo sin fin 1-7	Movimiento del tanque 3-5	Bombeo 2-8	Movimiento de paletas 4-6
E	Extracción del grano del sistema	Bombeo 2-6-4	Gravedad 3 -5	Tornillo Sin Fin 1-7	
F	Montaje y desmontaje del sistema	Sistema estático 3-5-8	movilidad del sistema 1-2-4-6-7		

Tabla morfología: Fuente Autor

Durante el proceso de relación de los conceptos con las subfunciones se obtuvieron 8 diseños que pueden dar solución al problema. En la tabla 5 se utilizaron números del 1 al 8 para relacionar cada uno de los conceptos dando lugar a sus correspondientes diseños presentados en la siguiente sección

7.1.2 Opciones de diseño.

A continuación, se establecerán los 8 posibles diseños a tener en cuenta en la ejecución del proyecto, encontrando sus características principales correspondientes a su funcionamiento.

- **Diseño 1:** Un tanque en concreto donde la extracción del café vano sea por rebose, su llenado y vaciado sean por gravedad, que cuente con un sistema de tornillo sin fin para retirar el mucílago del grano y su extracción del tanque, que a su vez sea de fácil ensamblaje de fácil transporte para prestar el servicio a otros productores.
- **Diseño 2:** Un tanque en acero inoxidable donde la extracción del café vano sea por rebose, su llenado y vaciado sean por bombeo, que cuente con un sistema de bombeo para mover y retirar el mucílago del grano y su extracción del tanque sea por bombeo; y que esté a su vez sea fácil de ensamblar para el cliente y se pueda prestar el servicio a otros productores de la región.
- **Diseño 3:** Un tanque en material compuesto, donde la extracción del café vano sea manual, donde su llenado y vaciado sea por gravedad, que cuente con un sistema de movimiento del tanque para retirar el mucílago del grano y su extracción del tanque sea por gravedad, a su vez que este sea estático.
- **Diseño 4:** Un tanque en material compuesto, donde la extracción del café vano sea por rebose, donde su llenado y vaciado de agua sea por bombeo que cuente con un sistema de bombeo para mover y retirar el mucílago del grano y su extracción del tanque sea por bombeo y que esté a su vez sea de fácil ensamblar para el cliente.
- **Diseño 5:** Un tanque en acero inoxidable, donde la extracción del café vano sea por rebose y donde su llenado y vaciado sea por bombeo, que cuente con un sistema de movimiento del tanque para retirar el mucílago del grano y su extracción del tanque sea por gravedad, a su vez que el sistema sea estático.
- **Diseño 6:** Un tanque en acero inoxidable, donde la extracción del café vano sea por paletas, donde su llenado y vaciado sea por bombeo, que cuente con un sistema de paletas para mover y retirar el mucílago del grano, que su extracción del tanque sea por bombeo y que este a su vez sea fácil de ensamblar para el cliente.
- **Diseño 7:** Un tanque en material compuesto, donde la extracción del café vano sea por rebose, donde su llenado y vaciado sea por gravedad, que cuente con un tornillo sin fin para retirar el mucílago del grano y su extracción

del tanque sea mediante tornillo sin fin, a su vez que este sea fácil de ensamblar para el cliente y prestar el servicio a caficultores de la región.

- **Diseño 8:** Un tanque en concreto, donde la extracción del café vano sea por rebose y dónde su llenado y vaciado sea por bombeo, que cuente con un sistema de bombeo para retirar el mucílago del grano y su extracción del tanque sea por bombeo, a su vez que el sistema sea estático.

En la tabla 6 se presenta un resumen de los diseños obtenidos de la matriz morfológica.

Tabla 6 Diseños obtenidos tabla morfológica

Diseño 1	A	concreto y superficie en baldosa	Diseño 5	A	Acero inoxidable
	B	Rebose		B	Sistema mecánico
	C	Gravedad		C	Bombeo
	D	Tornillo sin fin		D	Movimiento del tanque
	E	Tornillo sin fin		E	Gravedad
	F	Movilidad del sistema		F	Sistema estático
Diseño 2	A	Acero inoxidable	Diseño 6	A	Acero inoxidable
	B	Rebose		B	Sistema mecánico
	C	Bombeo		C	Bombeo
	D	Bombeo		D	Movimiento de paletas
	E	Bombeo		E	Bombeo
	F	Movilidad del sistema		F	Movilidad del sistema
Diseño 3	A	Material polietileno	Diseño 7	A	Material polietileno
	B	Manual		B	Manual
	C	Gravedad		C	Gravedad
	D	Movimiento del tanque		D	Tornillo sin fin
	E	Gravedad		E	Tornillo sin fin
	F	Sistema estático		F	Movilidad del sistema
Diseño 4	A	Material polietileno	Diseño 8	A	Concreto y superficie en baldosa
	B	Rebose		B	Rebose
	C	Bombeo		C	Bombeo
	D	Bombeo		D	Bombeo
	E	Bombeo		E	Bombeo
	F	Movimiento del sistema		F	Sistema estático

Fuente: autor

7.1.2 Aplicación de la matriz Pugh.

Al realizar la aplicación de esta metodología a cada una de las opciones de diseño que se extrajeron de la morfología, se generó una matriz que permite seleccionar cuál de ellas es la mejor para emplear en el presente proyecto; a continuación se desarrollará una evaluación de cada una de las opciones de diseño teniendo en cuenta los criterios seleccionados y valorados según su importancia, a la cual se le asignó una escala valorativa de 1 a 7 siendo 1 el menos importante hasta 8 el criterio más importante.

- a) **Capacidad de almacenamiento:** este criterio es importante ya que se tiene en cuenta el volumen total que el cliente en este momento está produciendo y el cuál no puede reducirse, no se puede disminuir su capacidad de producción; por esta razón el sistema debe contar con el suficiente espacio para almacenar diferentes cantidades de grano durante el tiempo que toma el proceso de fermentación, además debe contar con la posibilidad de adaptarse para mayores capacidades de almacenamiento de grano.
- b) **Disminución de tiempo en el proceso de beneficio:** es muy importante poder disminuir el tiempo en el lavado para así poder mejorar la productividad y por ende poder prestar el servicio a otros caficultores.
- c) **Transferencia del calor con el ambiente:** uno de los puntos claves en el proceso de beneficio del grano de café es la fermentación, ya que esta está ligada a la temperatura ambiente, así que se debe asegurar que la transferencia de calor con el medio sea menor y así obtener el punto ideal para realizar el lavado del grano.
- d) **Costos:** el costo que tendrá cada uno de los dispositivos debe también considerarse, ya que es un proyecto que busca disminuir las inversiones monetarias, disminuyendo costos, pero garantizando un proceso más eficiente.
- e) **Vida útil /mantenimiento:** la vida útil y el mantenimiento del sistema es importante ya que se encontrará en una zona donde se expondrá a la intemperie y al ambiente natural, además de que la zona de uso no posee acceso inmediato a servicios de este tipo o adquisición de repuestos.
- f) **Transporte del sistema:** el sistema debe ser de fácil transporte y ensamble debido a las condiciones del terreno y vías de acceso.
- g) **Eficiencia del sistema para retirar el mucílago del grano:** El sistema debe asegurar que se retire la mayor parte del mucilago debido a que la calidad y cualidades del producto final se ven afectadas.

- h) **Inocuidad el producto:** El sistema debe asegurar que el producto final que está destinado para el consumo humano cumpla con las normas alimenticias que están establecidas para la producción de este.

Tabla 7 Matriz Pugh

		ALTERNATIVAS DE DISEÑO																
criterios	Diseño	Importancia (datum)	Diseño 1		Diseño 2		Diseño 3		Diseño 4		Diseño 5		Diseño 6		Diseño 7		Diseño 8	
Inocudad en el proceso		7	-1	-7	1	7	1	7	1	7	1	7	1	7	1	7	0	0
Eficacia en la eliminacion mucilago		6	-1	-6	1	6	-1	-6	1	6	-1	-6	0	0	0	0	1	6
Costos		5	0	0	0	0	-1	-5	1	5	-1	-5	-1	-5	0	0	1	5
Vida útil /mantenimiento		4	-1	-4	1	4	-1	-4	1	4	-1	-4	-1	-4	-1	-4	1	4
Capacidad de almacenamiento		3	1	3	1	3	-1	-3	1	3	-1	-3	-1	-3	1	3	1	3
Transporte del sistema e instalación		2	1	2	-1	-2	-1	-2	1	2	-1	-2	-1	-2	1	2	1	2
Tiempo en el proceso de lavado		1	-1	-1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	-1	-1	1	1
Total			-13		19		-13		28		-13		-7		7		21	

Fuente: Autor

Como se observa en la Tabla 7. El diseño 2, diseño 4 y diseño 8 obtuvieron una buena valoración en la eficiencia del sistema de lavado, dado que el sistema de bombeo es el que mejor que se adapta a las condiciones y asegura un movimiento total de la masa del grano de café, además los diseños 4 y 8 se adaptan perfectamente a las condiciones de la zona ya que son equipos de fácil montaje y mantenimiento.

Los diseños 2, 3, 4, 5, 6,7 obtuvieron buena calificación en la inocuidad del proceso debido a que los materiales propuestos son asépticos y aptos para tratamiento de alimentos además son fáciles de limpiar y de mantener sin embargo los diseños 1 y 8 obtuvieron calificaciones no favorables debido a condiciones de desgaste que se presentan en los tanques elaborados en concreto y superficie en baldosa.

Por otro lado, se observa que los criterios de transporte del sistema y tiempo en el proceso de lavado no han sido determinantes en la selección de diseño por el valor de importancia que se le ha dado, aun así, le da un aumento a la valoración de los diseños que cuentan con la opción de ser de fácil transporte e instalación, puesto que el acceso es difícil al lugar donde funcionara el sistema.

Los diseños con calificación 1 en la eficacia en la eliminación del mucilago están bien valorados debido a que se hicieron pruebas para verificar la eficacia de la eliminación del mucilago en los diferentes equipos propuestos.

En definitiva, el diseño 4 debido a que los elementos que lo componen demuestran una mejor capacidad de implementarse frente a los demás diseños, ha sido el seleccionado con un valor cuantitativo de 28 puntos lo cual indica que es el modelo de diseño adecuado entre los evaluados y por lo tanto seleccionado para dar solución al problema.

Figura 2 Morfología diseño seleccionado

Diseño 4	A	Material polietileno
	B	Rebose
	C	Bombeo
	D	Bombeo
	E	Bombeo
	F	Movimiento del sistema

Fuente: autor

7.1.3 Selección del tanque para sistema de lavado

En la figura (2) se observan las características del diseño previamente seleccionado. Para este proyecto se bosquejaron 3 diferentes formas de realizar el sistema que se presentan a continuación, de los cuales se seleccionará uno teniendo en cuenta criterios de costo y adaptabilidad a él beneficiadero de la finca el triunfo.

En el mercado se encuentran diferentes tipos y formas de tanque en material polietileno. En base a esto se generaron los bocetos que se muestran a continuación:

Boceto número uno (1)

Figura 3. Boceto número uno (1)

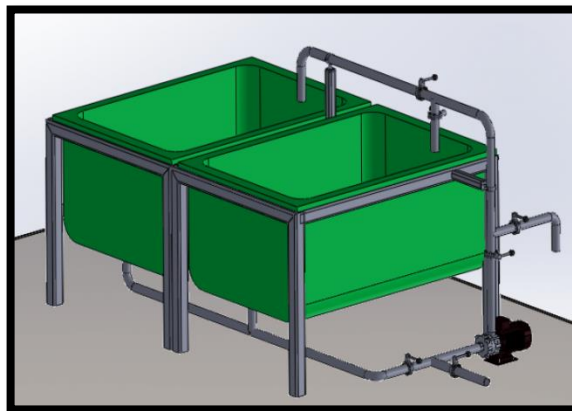


Fuente: autor

Consiste en un tanque de polietileno con capacidad de 2 m³ con una altura de 2.5 m, una estructura en acero inoxidable y tubería en acero inoxidable sanitario con 4 válvulas mariposa una estructura en acero para poder acceder a la parte superior del tanque con una sola entrada al tanque y una sola salida con una bomba centrífuga.

Boceto número dos (2)

Figura 4. Boceto número dos (2)

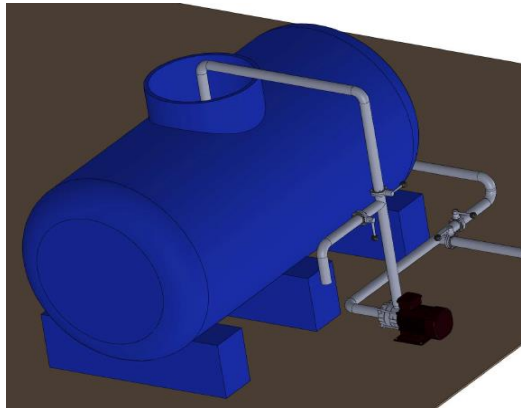


Fuente: autor

Consiste en dos tanques de polietileno con una capacidad de 1 m³ cada uno con tubería en acero inoxidable sanitario, con 8 válvulas de mariposa una bomba centrífuga dos entradas y salidas de producto.

Boceto número tres (3)

Figura 5. Boceto número tres (3)



Fuente: autor

Para este boceto se contó con un tanque con una capacidad de 2m³ con forma circular con una altura de 1m con un man hold de diámetro 0,5m con 4 válvulas mariposa tubería en acero inoxidable sanitario con una bomba centrífuga.

Al realizar un análisis de cada uno de los bocetos, se encuentran ciertas características no tan adecuadas para ejecutar la propuesta, por lo cual se usó nuevamente la metodología de matriz pugh donde se evaluó que tan adaptable es el tanque al beneficiadero, su operatividad, e instalación.

Criterios de evaluación

- **Operatividad:** es un criterio importante debido a que debe ser sencillo para el operario realizar tomar muestras del producto y realizar la limpieza después de cada uso.
- **Adaptabilidad al beneficiadero:** Las dimensiones del tanque se deben adaptar a las dimensiones actuales del beneficiadero donde será instalado.
- **Instalación:** El tanque debe ser fácil de instalar en el beneficiadero, las estructuras deben ser sencillas de fabricar.

Tabla 8. Selección del tanque mediante matriz Pugh

Criterio \ Tipo de tanque	importancia (datum)	Tanque 1		Tanque 2		Tanque 3	
Operabilidad	3	-1	-3	1	3	-1	-3
Adaptabilidad al beneficiadero	2	1	2	1	2	1	2
Instalacion	1	-1	-1	1	1	-2	-2
Total		-2		6		-3	

Fuente: Autor

Tanque 1: se encuentra que la estructura es muy alta adicionalmente es necesario una estructura para poder subir el café hasta su punto de vertimiento, además la altura afectaría el proceso lavado del equipo después de terminar el proceso.

Tanque 2: se encuentra una altura de 1m lo cual nos permite tener un acceso fácil a los tanques ya sea para lavar o para poder verificar el estado del café.

Tanque 3: es un tanque que no es alto, pero al tener una man hold en la parte superior es incómodo para el operario efectuar la limpieza y tomar muestra del producto.

Teniendo en cuenta las razones anteriormente mencionadas, se seleccionó el boceto número dos (2).

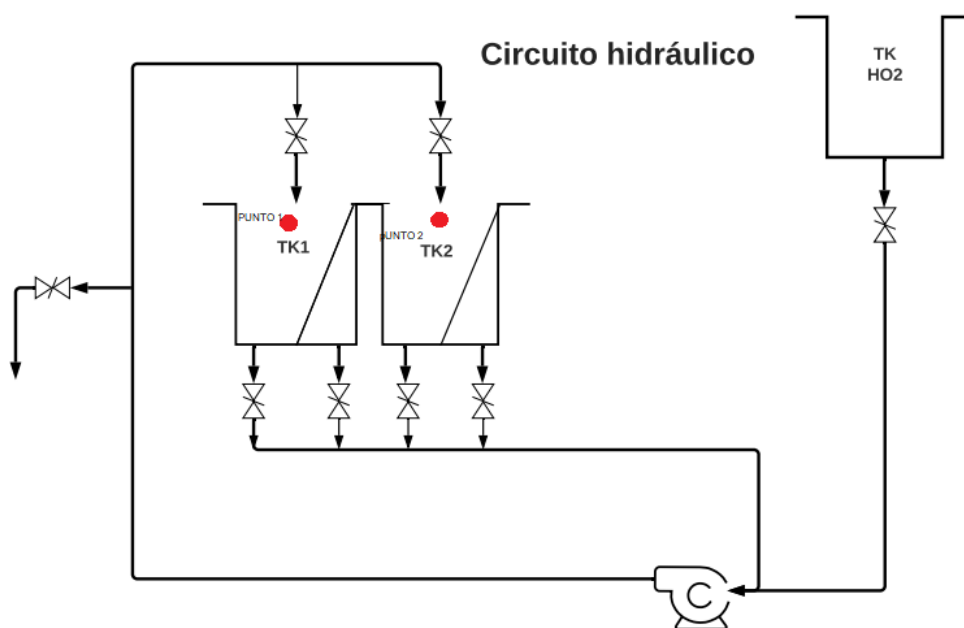
Mediante el uso de la herramienta de diseño matriz pugh se selecciono un sistema que cumpliera con los requerimientos sanitarios y los requerimientos del cliente, adicionalmente se realizó la selección del tanque utilizando nuevamente la misma metodología.

8.0 CÁLCULOS HIDRÁULICOS DEL SISTEMA

En este capítulo se presentan los cálculos ingenieriles realizados en el diseño del sistema hidráulico.

En la figura (6) se muestra el esquema utilizado para el diseño del sistema hidráulico. Esta muestra la configuración de las tuberías por donde recirculará el grano, impulsado mediante una bomba centrífuga hasta retirar en su totalidad el mucilago.

Figura 6. Sistema de lavado de grano



Fuente: autor

En el mercado se encuentran tanques de diferentes capacidades, para el proyecto se realizan los cálculos para un tanque de 4 m³ y diferentes tiempos de vaciado del tanque.

Tabla 9. Cálculo del caudal para diferentes tiempos y volúmenes del tanque

VOLUMEN m ³	TIEMPO [Min]	m ³ /h	L/S
4	10	24,0	6,67
4	15	16,0	4,44
4	20	12,0	3,33
4	30	8,0	2,22
4	35	6,9	1,90
4	40	6,0	1,67

Fuente: autor

Teniendo en cuenta que la temperatura del mucilago se encuentra en un promedio de 20°C, la viscosidad cinemática y peso específico son:

$$\nu = 1.33 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$\gamma = 10 \frac{kN}{m^3}$$

Un aspecto muy importante para tener en cuenta para en el diseño del sistema de tuberías, es la velocidad que alcanza el fluido por el interior de estas. Para la velocidad en tuberías, Mott recomienda que la velocidad de descarga se considere entre el rango de 1,2 y 3 m/s. Se decidió utilizar la velocidad de 1,6 m/s para evitar maltratar el producto.

Al realizar un balance energético en la ecuación general de la energía se obtuvo:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + h_a - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$

En la Figura 6 se toman como puntos de referencia 1 y 2 de color rojo. Dado que dichos puntos se encuentran a la atmosfera se pueden cancelar las presiones. $Z_1 = 0$ dado que es el punto de referencia.

$$\cancel{\frac{p_1}{\gamma}} + \cancel{\frac{v_1^2}{2g}} + \cancel{z_1} + h_a - h_L = \cancel{\frac{p_2}{\gamma}} + \cancel{\frac{v_2^2}{2g}} + \cancel{z_2}$$

Por otro lado, a partir de la ecuación de continuidad:

$$\text{Ec (1)} \quad Q = v * A$$

Y la ecuación del área de la tubería:

$$\text{Ec (2)} \quad A_{\text{tubería}} = \frac{\pi * D^2}{4}$$

De las ecuaciones 1 y 2 se obtuvo:

$$\text{Ec (3)} \quad Q = v * \frac{\pi * D^2}{4}$$

De la ecuación 3 se despeja D para hallar el diámetro de la tubería

$$D = \left(\frac{Q * 4}{v * \pi} \right)^{0.5}$$

Al reemplazar los valores obtenidos se encontró que el diámetro es:

Tabla 10. Cálculo de diámetros de tubería y comparación con las que se encuentran en el mercado

Diámetro de la tubería en m	Diámetro en mm	Tuberías comerciales (IN)	Tuberías comerciales en mm	velocidad corregida m/s
0,229	228,8	9	264,65	1,196
0,187	186,8	7	211,56	1,248
0,162	161,8	6	161,48	1,606
0,132	132,1	5	108,2	2,385
0,114	114,4	5	108,2	1,789
0,102	102,3	4	108,2	1,431
0,081	80,9	3	81,9	1,561

Fuente autor

Al realizar la comparación de los diámetros obtenidos con los que se encuentran en el mercado se aproximan al más cercano por encima y se calcula la velocidad corregida para cada uno.

Con las velocidades corregidas se procede a calcular las pérdidas del sistema, para lo cual se necesita calcular la carga dinámica total.

Carga dinámica total (TDH)

$$H_A = H_{\text{manométrica}} + H_{\text{perdidas}}$$

$$H_{perdidas} = hL_{primarias} + hL_{secundarias}$$

Teniendo en cuenta las dimensiones del beneficiadero de la finca el triunfo la distancia de la tubería es de 10 metros y la altura del tanque es de 8 metros se toma como referencia de altura manométrica para el cálculo.

Pérdidas en la tubería ($hL_{Primarias} - h_L$)

Se requiere calcular el número de Reynolds con la Ecuación 4 y la rugosidad relativa con la Ecuación 5 para poder calcular el factor de fricción en la tubería y así determinar las pérdidas del sistema. El factor de fricción se puede determinar utilizando el diagrama de Moody o calculándolo a través de la Ecuación 6 que permite el cálculo directo de este para un flujo turbulento ⁶²

$$\text{Ec (4)} \quad N_R = \frac{v * D}{\nu}$$

$$\text{Ec (5)} \quad \frac{D}{E} = \text{rugosidad relativa}$$

$$\text{Ec (6)} \quad f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{D}{E} \right) + \frac{5,74}{N_R^{0,9}}} \right) \right]^2}$$

Para obtener el valor de número de Reynolds se reemplazó la velocidad, el diámetro y la viscosidad cinemática en la Ecuación 4, para hallar la rugosidad relativa se necesita la rugosidad del conducto. Debido a las condiciones químicas del agua se seleccionó tubería en acero inoxidable cuya rugosidad es:

$$E = 4.5 * 10^{-5} m$$

Con el diámetro y la rugosidad de la tubería se reemplazó en la Ec (5) y se obtuvo que la rugosidad relativa,

Tabla 11. Cálculo de número de Reynolds y rugosidad relativa

Diámetro	velocidad corregida m/s	Diámetro de la tubería en m	NR	Rugosidad Relativa
9"	1,196	0,229	205789,2	5084,95
7"	1,248	0,187	175292,1	4151,85
6"	1,606	0,162	195426,7	3595,60
5"	2,385	0,132	236935,4	2935,80

⁶² MOTT, Robert L., Mecánica de fluidos. Pearson Educación. Sexta edición. México. 2006

5"	1,789	0,114	153894,0	2542,48
4"	1,431	0,102	110117,6	2274,06
3"	1,561	0,081	94965,0	1797,80

Fuente: Autor

Al tener el número de Reynolds y la rugosidad relativa, se reemplazó en la Ec (6) y se obtuvo que el factor de fricción es igual a:

Tabla 12. Cálculo del factor de fricción

Diámetro	Factor de fricción
9"	0,0170
7"	0,0177
6"	0,0177
5"	0,0177
5"	0,0189
4"	0,0199
3"	0,0208

Fuente: autor

Hallado el factor de fricción se procede a hallar h_L - las pérdidas en la tubería reemplazando en la ecuación de Darcy con la altura a evaluar.

$$\text{Ec (7)} H_L = f \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2g}$$

Pérdidas en los accesorios ($h_{L_{\text{Secundarias}}} - h_F$)

Para hallar la pérdida en accesorios se emplea la ecuación

$$\text{Ec (8)} h_F = \sum k \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Sumando las pérdidas de los accesorios que se ilustran en la Figura 6:

-4 codos

-6 válvulas de mariposa

- 2 Tee

Tabla 13. Cálculo de pérdidas en tuberías y accesorios

Diámetro	Perdidas por accesorios	HL	ha
9"	0,11679	0,064150857	7,181
7"	0,12711	0,087210619	7,214
6"	0,21065	0,027536493	7,238
5"	0,46446	0,097443432	7,562
5"	0,26126	0,028826147	7,290
4"	0,16721	0,047204133	7,214
3"	0,19897	0,064150857	7,263

Fuente: Autor

Proseguimos a hallar la potencia de la bomba con la ecuación:

$$\text{Ec (9)} \quad P = \left(\frac{H_A * \gamma * Q}{n_B} \right)$$

Utilizando las fórmulas anteriores y las especificaciones de diseño se obtiene la potencia.

Tabla 14. Características del resultado de cálculo de la bomba y referencia de bomba seleccionada

Diámetro	Ha	POTENCIA en KW	Potencia en HP
9"	7,181	0,6383	0,856
7"	7,214	0,4275	0,573
6"	7,238	0,3217	0,431
5"	7,562	0,2241	0,300
5"	7,290	0,1620	0,217
4"	7,214	0,1283	0,172
3"	7,263	0,0807	0,108

Fuente: Autor

A partir de la potencia calculada se buscó en el mercado de bombas y se preseleccionaron las siguientes marcas: AQUAPAK, Evans y Ebara para seleccionar la bomba que mejor se adecuaba.

8.1 Punto de operación de las bombas

El punto de operación de la bomba se determina con la gráfica proporcionada por el fabricante de la referencia seleccionada ubicando inicialmente en esta el punto de requerimiento de potencia hallada para cada uno de los diferentes caudales.

En las Figuras 7,8 y 9 los trazos de color rojo representan el punto requerido por el sistema según los cálculos realizados (cabeza – caudal) y los trazos de color azul representan el punto de operación seleccionado; también se decidió aumentar la cabeza porque al hacerlo se mantiene la velocidad de extracción de flujo, con lo cual disminuirá la velocidad de la masa de café dentro del sistema, ayudando a garantizar que no se maltrate el grano y se vea afectada su calidad.

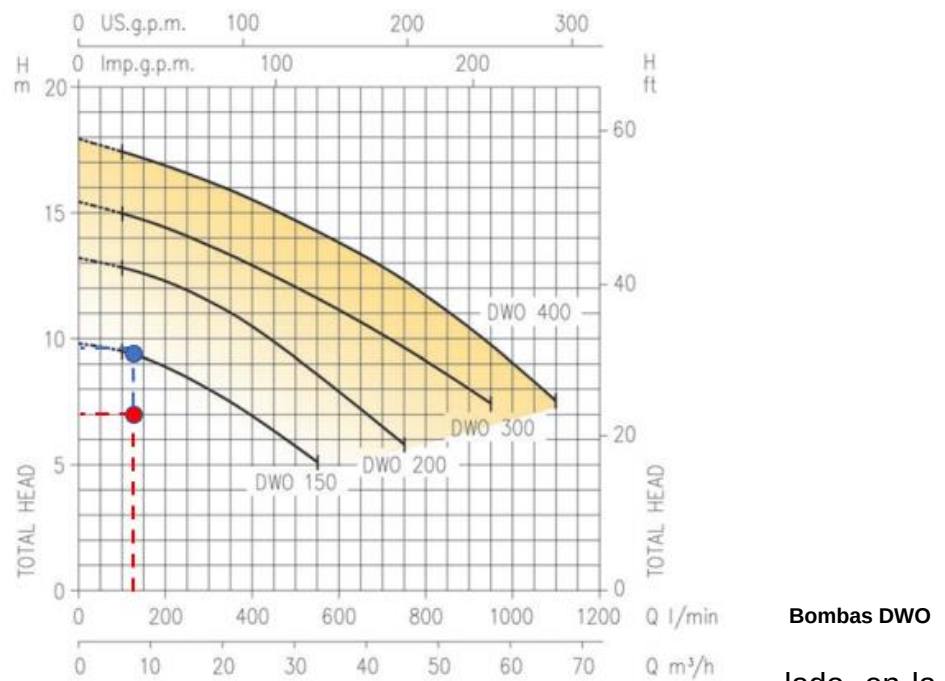
Figura 7. Punto de operación diseño bomba aquapak



Fuente: Bombas aquapak

En la figura 7 se observan las curvas características para una familia de bombas, para el proyecto se decidió trabajar con la bomba ALY20 de 2HP ya que permite el paso de solidos de hasta 19 mm, lo que es ideal para recircular el café dentro del sistema, además es posible de adaptar para aumentos de producción o capacidad por parte del productor.

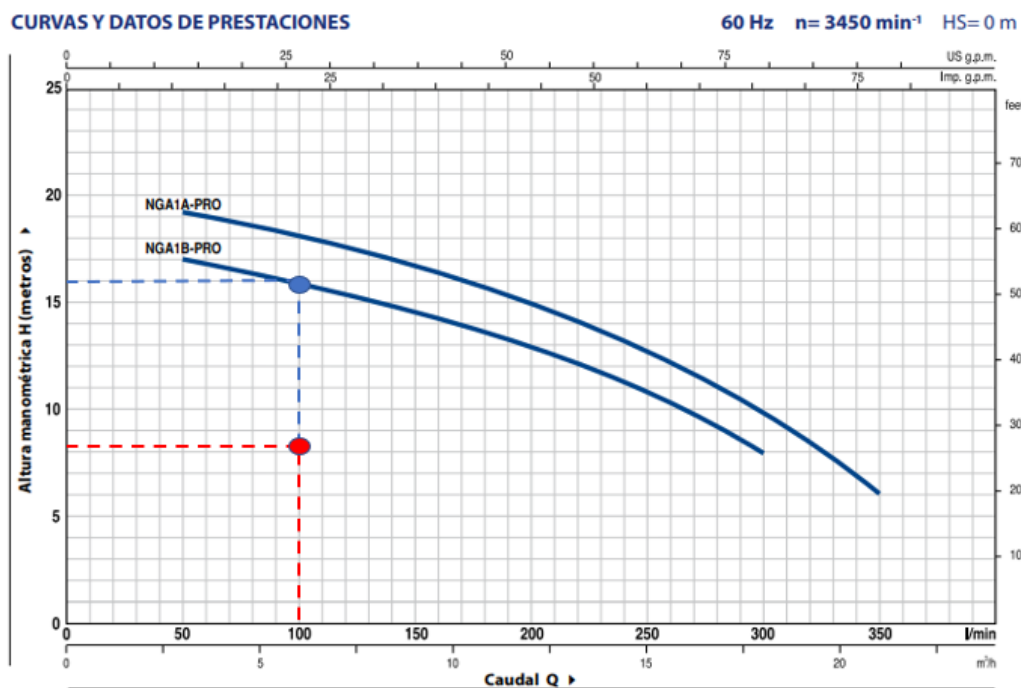
Figura 8. Punto de operación diseño bomba DWO



Por otro lado, en la Figura 8 se realizó el mismo análisis que la anterior con una bomba DWO 150, en esta se observan las curvas características de la bomba, la cual permite el paso de solidos de hasta 19 mm y una cabeza de 10 m, así como el caudal requerido para recircular en café durante el tiempo establecido para el lavado

También se llevó a cabo un análisis para una bomba NGA1B-PRO Pedrollo, para poder comparar el punto de operación con las de las demás bombas y poder seleccionar la que mejor se adapte al sistema de lavado.

Figura 9. Punto de operación diseño bomba NGA1B-PRO Pedrollo



En la figura 9, se evidencia la curva característica de la bomba NGAB-PRO Pedrollo, anteriormente mencionada, y de la cual se observa que ofrece una gran cabeza manométrica en el punto de operación seleccionado, al igual que las demás bombas permite aumentar caudal y disminuir el tiempo de lavado si el cliente así lo solicitara, también permite el paso de sólidos de hasta 10 mm, por lo cual sirve para el transporte de café teniendo en cuenta que el tamaño promedio del mismo es de 6 mm.

Los datos obtenidos del punto de operación de las bombas seleccionadas para el sistema se presentan en la tabla 15.

Tabla 15. Puntos de operaciones bombas seleccionadas y costos

BOMBAS	REFERENCIA BOMBA	POTENCIA DE LA BOMBA (KW)	CAUDAL- Q (M ³ /H)	CABEZA	COSTO(COP)
Bomba 1	AQUAPAK 2 HP	1,5	6,0	16,0	\$ 1.470.000
Bomba 2	DWO – EBARA	1,1	6,0	9,0	\$ 1.670.000
Bomba 3	NGA 1B PRO-PEDROLLO	0,55	6,0	16,0	\$ 2.307.898

Fuente: Autor

En la tabla numero 15 podemos observar 3 diferentes bombas que se tuvieron en cuenta para la selección de la bomba que más se adapta a las necesidades del proyecto en la cual se selecciona la bomba numero 1 esto tiene 2 razones una de ellas es por el costo beneficio que nos ofrece la bomba y por otro lado tenemos un manejo de sólidos en suspensión de 19 mm la cual de adapta en su totalidad a las necesidades del proyecto.

Se selecciono una bomba centrífuga horizontal con cuerpo hidráulico en acero inoxidable 304 que es empleado en aplicaciones en la industria alimenticia, adicionalmente es utilizada en aplicaciones donde el pH se encuentre en un rango entre 5 y 9 que es ideal para para el transporte de las mieles del café. Para garantizar su correcto funcionamiento el fabricante recomienda que se utilice el doble de agua con respecto al volumen de café y así se asegura que no se maltrate el grano de café o dentro del rodete.

Después de realizar los cálculos hidráulicos del sistema y realizar la selección de la bomba empleada en el sistema se da por culminado el tercer objetivo, se decidió no agregar instrumentación debido a que las mediciones de temperatura y pH son realizadas por el productor mediante un termómetro digital de punzón y el ph mediante tiras indicadoras.

9. ANÁLISIS DE COSTOS

En este capítulo se presentará todo lo relacionado con costos del proyecto a partir de unas cotizaciones realizadas con diferentes proveedores, indagando por los mismos materiales de fabricación y así identificar la mejor oferta en el mercado.

Por otro lado, se presentará una breve comparación de precio final del proyecto con equipos del mercado que se asemejan a las características del equipo del presente proyecto.

Los precios, cantidades de materiales y mano de obra cotizados se presentan en la Tabla 16, donde también se puede ver el costo final del proyecto con los diferentes proveedores seleccionados para seleccionar la mejor oferta comercial para el proyecto.

Tabla 16. Análisis de costos

DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO (COP)	EMPRESA (PROVEEDOR)
TANQUE TINA DE 4500 L (700X2) CON ACCESORIOS	1	\$ 1.498.952,00	ROTOPLAST
FABRICAR BASE DE TUBO CUADRADO DE 3"X3"	1	\$ 238.000,00	DMS INGENIERIA Y DESARROLLO INDUSTRIAL
TUBO CUADRADO DE 2"	10	\$ 726.510,00	JH INGENIERIA
VALVULA DE MARIPOSA	8	\$ 752.747,00	INOXPA
ABRAZADERA CLAMP 3"	8	\$ 141.988,00	DMS INGENIERIA Y DESARROLLO INDUSTRIAL
UNIVERSAL SMS 3"	2	\$ 171.210,00	DMS INGENIERIA Y DESARROLLO INDUSTRIAL
FERULA CLAMP INOX 3"	8	\$ 65.395,00	DMS INGENIERIA Y DESARROLLO INDUSTRIAL
CODO SANITARIO 3"	4	\$ 145.600,00	DMS INGENIERIA Y DESARROLLO INDUSTRIAL
TUBERIA ACERO INOXIDABLE	10	\$ 1.409.207,00	DMS INGENIERIA Y DESARROLLO INDUSTRIAL
EMPAQUE CLAMP 3"	8	\$ 141.898,00	DMS INGENIERIA Y DESARROLLO INDUSTRIAL
SOLDADURA	15	\$ 591.420,00	DMS INGENIERIA Y DESARROLLO INDUSTRIAL
BOMBA CENTRIFUGA ALY ACERO INOXIDABLE AQUAPAK 2 HP 1F 230V	1	\$ 1.470.000,00	AQUAPACK
COSTO DE PROYECTO	h	\$ 2.647.073	AUTORES DE PROYECTO TRABAJO DE 2 MESES
	TOTAL	\$ 10.000.000	

Se realizó la cotización del precio unitario de las partes que conforman los sistemas de bombeo, de la cual se logró identificar el costo unitario de tres tipos de bombas en acero inoxidable que podemos encontrar en la tabla 15 ideales para el transporte de alimentos; Así como el precio de tubería en acero inoxidable y accesorios que conforman el sistema, el cual se puede visualizar en el diseño y boceto número dos (2), el cual fue seleccionado como el de mayor concordancia con el proyecto entre los tres sistemas; dichos accesorios y tubería se cotizaron con DMS INGENIERIA

Y DESARROLLO INDUSTRIAL, empresa dedicada a montajes en el sector alimenticio y la cual suministra estas partes por debajo de los precios estipulados por las demás empresas en el mercado.

También se obtuvo la cotización de los tanques con Rotoplast, una compañía que se especializa en el sector cafetero, y en la cual se encuentran tanques tina en diferentes capacidades, las cuales se adaptan a las características requeridas para ser implementada en el beneficiadero El Triunfo.

En la siguiente tabla (Tabla 17) se presenta una breve comparación de algunos equipos que se encontraron el mercado y que se asemejan al proceso que se busca desarrollar con el presente proyecto, se podrá visualizar el costo en dólares con una tasa de conversión a pesos colombianos de 3500 COP por cada 1 dólar USD, los kilos que procesan los equipos y su proveedor encargado del suministro del mismo.

Tabla 17. Comparación de costos en el mercado con el proyecto

ITEMS	PRECIO		KILOS PROCESADOS	PROVEEDOR
	USD	COP	KG/ H	
1	\$ 24.000	\$ 84.000.000	2400	TECNATROP SRL
2	\$ 15.000	\$ 52.500.000	600	NDYA – INDUSTRIAS YAPANGO
3	\$ 20.235	\$ 70.822.500	2500	COMERSA TRADING SAC
4	\$ 18.000	\$ 63.000.000	1700	TECNATROP SRL
5	\$ 2.857	\$ 10.000.000	500	PROYECTO

Fuente autor

Como se observa, el ítem 2 es un equipo que se asemeja en la capacidad de kilos procesados que se busca realizar con el presente proyecto, pero su costo es muy elevado, esto también es debido a que cuenta con elementos adicionales como la despulpadora, secador y tostador en el mismo equipo, los cuales hacen parte del proceso del benéfico del café, teniendo en cuenta el contexto físico donde se ensamblara el proyecto ya cuentan con dichos elementos en sus instalaciones.

Finalmente debido a la diferencia de costo entre el diseño propuesto en este proyecto y el diseño que se encuentra en el mercado, se concluye que la maquinaria planteada en este trabajo posee mayor viabilidad para su ejecución por los bajos

costos de inversión que tendría al realizarlo, además de su fácil instalación y fácil mantenimiento.

10 CONCLUSIONES

En el análisis de las normas desarrollado en el proyecto, se evidenciaron características importantes de cada una, que a su vez condujeron a la construcción de un marco normativo para el proyecto que cumpliera con la normativa vigente. empezando por la norma CODEX, incluyendo las normas NTC y INVIMA.

En cuanto a la identificación de características, aspectos relevantes y convenientes de las tres (3) metodologías de diseño, se encontró que la herramienta más adecuada para el proyecto era la dispuesta por la metodología Pugh, la cual facilita la extracción de ideas similares al proyecto que ya existan en el mercado y teniendo en cuenta estas, se sumaba la propuesta de innovación e ideas nuevas del diseñador para lograr un equipo final que satisfaga las necesidades del cliente.

Así pues, a partir de la utilización de la metodología Pugh, se identificó que el sistema de bombeo para lavado del grano es el que mejor se adapta al beneficiadero, debido a su versatilidad y adaptabilidad para diferentes capacidades y volúmenes que se pueden manejar en la finca El Triunfo y otras, teniendo en cuenta sus diferentes capacidades de producción.

El diseño con una tubería de 3" al concentrarse en un solo sistema, es fácil de adaptar e instalar y el costo del diseño no es elevado en relación a los diseños que se pueden adquirir en el mercado, por lo que se podrá aplicar en los diferentes beneficiaderos de la zona por su adaptabilidad, fácil transporte e instalación, es decir, un sencillo ensamblaje.

Se tiene un beneficio económico para el caficultor ya que este diseño arrojó un costo menor de lo que se puede encontrar en el mercado en relación a equipos con las características necesarias para satisfacer las necesidades de la finca El Triunfo.

11 RECOMENDACIONES

- Aunque los parámetros fisicoquímicos dan una neutralidad en el agua a la entrada del sistema, es importante poder garantizar la completa potabilidad de la misma, por eso se recomienda estudiar la calidad de esta o añadir un proceso de purificación al diseño.
- Se recomienda el uso de lubricantes y grasas de tipo alimenticio para las despulpadoras y demás objetos mecánicos que lo requieran y que estén en contacto con el producto que puedan afectar su inocuidad.
- Debido a las características de las mieles extraídas del grano se recomienda generar un sistema de tratamientos de aguas residuales antes de ser vertidas nuevamente, los cuales ya se encuentran diseñados en la página de cenicafe o con el extensionista de cada región delegado por la federación nacional de cafeteros.

Referencias

ARRAZOLA, Felipe. Agro-negocios e industria de alimentos. Los cafés especiales, una alternativa para los caficultores colombianos [Página web]. Septiembre de 2015. [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://agronegocios.uniandes.edu.co/2015/09/23/los-cafes-especiales-una-alternativa-para-los-caficultores-colombianos/>

Bernal, Jorge., Despliegue de la función calidad (QFD): Guía de uso. Para qué sirve el QFD y cómo realizarlo. [Página web] Octubre de 2012 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.pdcahome.com/1932/qfd-despliegue-calidad/>

CENICAFÉ. Beneficio del café en Colombia. [En línea] 2015. Pág. 5 [Fecha de consulta: abril de 2020]. Disponible en: https://www.cenicafe.org/es/publications/Final_libro_Beneficio_isbn.pdf

CENICAFÉ. Calidad del café. En: Beneficio ecológico del café. [En línea]. Chinchiná, Colombia. 1999. Pág. 19 [Fecha de consulta: abril de 2020]. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/882/3/2.%20Calidad%20del%20caf%C3%A9.pdf>

CENICAFÉ. Factores, procesos y controles en la fermentación del café. En: Avances técnicos Cenicafé [En línea] Agosto de 2012. Pág. 1 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/327/1/avt0422.pdf>

CENICAFÉ. Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio. [En línea] Abril de 2008. Avances técnicos Cenicafé 370. Pág.4. [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/358/1/avt0370.pdf>

CENICAFÉ., FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. Beneficio del café II: Secado del café pergamino. En: Cartilla cafetera 21 [En línea] 2004. Pág. 175 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: https://www.cenicafe.org/es/publications/cartilla_21_Secado_del_cafe.pdf

CENICAFÉ., FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. Beneficio del café. En: Cartilla cafetera 20 [En línea] 2004. Pág. 154 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: https://issuu.com/revistaelcafetalero/docs/despulpado_remocion_del_mucilago_y

COLOMBIA. Ministerio de salud. Decreto 60 de 2002 (18 de enero de 2002) Por el cual se promueve la aplicación del Sistema de Análisis de Peligro y Puntos de Control Crítico – Haccp en las fábricas de alimentos y se reglamenta el proceso de certificación. [En línea] Bogotá. [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO%200060%20DE%202002.pdf

CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA [En línea] 17 (24 al 28 de noviembre de 2014). Uso de TRIZ, VOC Y QFD como herramientas para el diseño de nuevos productos. México. Pág. 4 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/25463917/USO_DE_TRIZ_VOC_Y_QFD_COMO_HERRAMIENTAS_PARA_EL_DISEÑO_DE_NUEVOS_PRODUCTOS

FAO. Código internacional recomendado de prácticas – Principios generales de higiene de los alimentos. En: Códex Alimentarius – Higiene de los alimentos – Textos básicos [En línea] Roma. Segunda edición. [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/y1579s/y1579s02.htm#bm2.5>

FARFÁN V., Fernando. Cafés especiales. En: Sistemas de producción de café en Colombia. [En línea] Manizales. CENICAFÉ. 2007. Pág. 240. [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo10.pdf>

FEDECAFÉ. 2012. Citado por SOLANO V., Jorge Isaac. Implementación de infraestructura para el beneficio húmedo y seco del café a pequeños caficultores de la vereda Las Yescas, municipio de Soratá, departamento del Cauca. [En línea] Trabajo de grado para optar al título de agrónomo. UNAD. Cauca. 2014. Pág. 33-34 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/2709/1/10535246.pdf>

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. 2010. Citado por BASTIDAS, Mabel., Caracterización de las técnicas de manejo en post cosechas para la obtención para la obtención de cafés especiales. [En línea] Trabajo de grado para optar por el título de ingeniera agroforestal. Universidad de Nariño. Pasto. 2017. Pág. 17 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <http://sired.udenar.edu.co/5474/1/ARTICULO%20POSTCOSECHA%20FINAL%20%20MABEL%20BASTIDAS.pdf>

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. Bienvenido a la institucionalidad cafetera. [Sitio Web] Bogotá. [Fecha de consulta: abril de 2020] Disponible en: <https://www.cafedecolombia.com/familia/>

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. Nuestros caficultores. [Sitio web]. Bogotá [Fecha de consulta: abril de 2020] Disponible en: <https://www.cafedecolombia.com/particulares/nuestros-caficultores/>

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. Otras certificaciones FNC. [En línea] Bogotá. Pág. 4 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: https://federaciondecafeteros.org/static/pergamino-fnc/uploads/Otras_Certif_fnc.pdf

GÓMEZ, Susana. Los diez mayores productores de café del mundo – 2019 [En línea]. Quecafe.info. 13 de noviembre de 2018. [Fecha de consulta: abril de 2020]. Disponible en: <https://quecafe.info/mayores-productores-de-cafe-en-el-mundo/>

GUZMÁN PINILLA, Jhon. PIB agropecuario sube al ritmo de café, arroz y porcicultura. [En línea] En: La República. 11 de marzo de 2016. [Fecha de consulta: abril de 2020]. Disponible en: <https://www.larepublica.co/economia/pib-agropecuario-suba-al-ritmo-de-cafe-arroz-y-porcicultura-2358231>

ICONTEC. ¿Quiénes somos? [Página web] [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.icontec.org/quienes-somos/>

INGESEC. Portafolio [Sitio web]. Bogotá [Fecha de consulta: abril de 2020]. Disponible en: <https://www.ingesecltda.com/portfolio/becolsub/>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Buenas prácticas de manufactura para la industria del café. NTC5181. Bogotá.: El instituto. 2003. Pág. 2 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/10297152-Norma-tecnica-colombiana-5181.html>

INVIMA. Quiénes somos. [Página web][Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.invima.gov.co/web/guest/quienes-somos>

JIMENEZ, Iván., Aplicación de la teoría TRIZ en el desarrollo de un nuevo producto. Gestipolis [En línea] mayo de 2012. Pág. 3 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.gestipolis.com/aplicacion-de-la-teoria-triz-en-el-desarrollo-de-un-nuevo-producto/>

La Matriz de Pugh para la toma de decisiones [Blog] Calidad total. 14 de octubre de 2016. [Fecha de consulta: junio de 2020]. Disponible en: <http://ctcalidad.blogspot.com/2016/10/la-matriz-de-pugh-para-la-toma-de.html>

Matriz de Pugh. En: Course Hero. [En línea] [Fecha de consulta: junio de 2020]. Disponible en: <https://www.coursehero.com/file/p7msgbh/13-Matriz-de-Pugh-La-matriz-de-Pugh-fue-publicada-por-primera-vez-en-el-a%C3%B1o-de/>

MOTT, Robert L., Mecánica de fluidos. Pearson Educación. Sexta edición. México. 2006

MUÑOZ ORTEGA, Luis Genaro. Caficultura sostenible, moderna y competitiva. En: Ensayos sobre economía cafetera [En línea] Bogotá. 2014. Cenicafé. Editorial 30. Pág. 5 [Fecha de consulta: abril de 2020] Disponible en: <https://federaciondecafeteros.org/static/files/EditorialR30.pdf>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. ¿Qué es el Codex alimentarius? [En línea] 1999. [Fecha de consulta: abril de 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/noticias/1999/codex-s.htm>

PABÓN, Jenny., Peñuela, Aída. Efecto de la aplicación de agua ozonizada como técnica de conservación del café pergamino húmedo. [En línea] Manizales. Revista Cenicafé. Volumen 67. 2016. Pág. 64 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/RevistaCenicafe67-1.pdf>

PIZANO, Diego. Calidad, salud e investigación: la experiencia de la OIC. En: Ensayos sobre economía cafetera [En línea] Bogotá. 2002. Cenicafé. Editorial 18. Pág.3 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://federaciondecafeteros.org/static/files/2.%20calidadinvestigacionysalud.pdf>

PUERTA Q., Gloria. Calidad física del café de varias regiones de Colombia según altitud, suelos y buenas prácticas de beneficio. En: Revista Cenicafé [En línea] 2016. Volumen 67. Pág. 8. [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/1.Calidad.pdf>

RECURSOS EN PROJECT MANAGEMENT. Matriz de decisión en proyecto. [Sitio Web] [Fecha de consulta: junio de 2020]. Disponible en: <https://www.rekursosenprojectmanagement.com/matriz-de-decision/>

TACLE, Paul; Moya, Jorge y Marty, José., Modificaciones de la matriz de contradicciones para el diseño de engranajes cilíndricos de dientes rectos de material plástico. [En línea] Revista Centro Azúcar. Volumen 46. Marzo 2019. Pág. 87-88 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v46n1/2223-4861-caz-46-01-86.pdf>

VELASQUEZ, Camilo y TRÁVEZ, Mateo. Café especial, una alternativa para el sector cafetero en Colombia. [En línea] Universidad EAFIT. Medellín. 2019. Pág. 16 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/15236/Mateo_Travez_Camil_o_Velasquez_2019.pdf?sequence=2&isAllowed=y

ZAMBRANO, Diego., Fermente y lave su café en el tanque tina. En: Avances técnicos Cenicafé. [En línea] Chinchiná, Caldas. Diciembre de 1993. Pág. 8 [Fecha de consulta: mayo de 2020]. Disponible en: http://kimera.com/data/redlocal/ver_demos/RLCF/RECURSOS/BIBLIOTECA%20CAFETERA/D%20-%20PROCESOS%20BENEFICIO/AT%20197ok%20fermentar%20lavar%20tanque%20tina.pdf

https://energypedia.info/images/d/d1/Maquinaria_para_Caf%C3%A9.pdf