



**Método para la generación conceptual de soluciones en el diseño de una máquina
mezcladora de ladrillos de Arcilla con herramientas CAD/CAE**

Diego Medina Gutiérrez

Código

Jorge Luis Zuluaga Rodríguez

Código

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Nieva, Colombia

2022

**Método para la generación conceptual de soluciones en el diseño de una máquina
mezcladora de ladrillos de Arcilla con herramientas CAD/CAE**

Diego Medina Gutiérrez

Jorge Luis Zuluaga Rodríguez

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Mecánico

Director (a):

Ph. D, Ingeniero Karel Joel Arencibia Ávila

Ph. D, Ingeniero Roberto Pérez Rodríguez

Línea de Investigación:

Energy and Materials REM.

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Nieva, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado **Método para la generación conceptual de soluciones en el diseño de una máquina mezcladora de ladrillos de Arcilla con herramientas CAD/CAE**

_____, Cumple
con los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Neiva, 16 noviembre de 2022.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	13
Abstract.....	14
Introducción	15
1. Capítulo 1: Marco Referencial	21
1.1 Estado del arte	21
<i>1.1.1 Dimensión Internacional.....</i>	<i>21</i>
<i>1.1.2 Dimensión Nacional</i>	<i>24</i>
1.2 Tecnologías actuales disponibles.....	26
1.3 Tecnologías actuales de producción y/o aplicación	30
1.4 Principios mecánicos empleados en máquinas mezcladoras y moldeadoras de ladrillos macizos de arcilla	31
1.5 Equipos de mezcladoras patentadas.....	32
1.6 Fundamentos teóricos del proyecto	37
2. Capítulo 2: Método para la generación conceptual de soluciones en el diseño de productos con herramientas CAD/CAE	40
2.1. Identificación y observación.....	40
2.2. Requerimientos del cliente.....	41
2.3. Método QFD	42
<i>2.3.1. Descripción de requerimientos</i>	<i>42</i>
<i>2.3.2. Matriz de planificación del producto</i>	<i>44</i>
<i>2.3.3. Identificación de competidores.....</i>	<i>45</i>
<i>2.3.4. Análisis de Pareto en función de requerimientos del cliente</i>	<i>47</i>
<i>2.3.5. Despliegue de la matriz QFD</i>	<i>49</i>
2.4. Matriz morfológica.....	52
3. Capítulo 3: Diseño y cálculos de la máquina mezcladora de ladrillo de arcilla....	55
3.1. Diseño del prototipo	55
3.2. Inercia Del Sistema.....	56
3.3. Cálculo del eje por esfuerzos máximos y torsión.....	58
3.4. Análisis por Elementos finitos (FEM) del chasis	62

3.4.1. <i>Sensibilidad de Malla</i>	62
3.4.2. <i>Análisis de tensión del chasis</i>	63
3.4.3. <i>Análisis de desplazamiento del chasis</i>	64
3.4.4. <i>Análisis del coeficiente de seguridad</i>	65
4. Capítulo 4: Método para la fabricación de la máquina mezcladora	71
4.1. Estructura del método para fabricación de mezcladora de arcilla	72
4.1.1. <i>Etapa 1: Análisis de mega tendencias</i>	73
4.1.2. <i>Etapa 2: Voz del cliente</i>	74
4.1.3. <i>Etapa 3: Análisis de Pareto</i>	75
4.1.4. <i>Etapa 4: Método QFD (Quality Function Deployment)</i>	76
4.1.5. <i>Etapa 5: Análisis morfológico</i>	77
4.1.6. <i>Etapa 6: Desarrollo de concepto</i>	79
Conclusiones	81
Anexos	77

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1-1. Estado actual tecnologías de mezclado en la zona de estudio.	26
Figura 1-2. Tecnologías de mayor uso por parte de medianos productores en otras áreas del país.	28
Figura 1-3. Tecnologías de producción actuales para fabricación de ladrillos de arcilla. .	30
Figura 2-1. Evaluación de tecnologías de producción.	40
Figura 2-2. Prototipo seleccionado.	54
Figura 3-1. Prototipo de máquina mezcladora a un paso para la fábrica Tito del municipio de La Plata (Huila).	55
Figura 3-2. Cargue datos entrada para cálculo de inercia del sistema.	56
Figura 3-3. Definición datos de distancia al centro del mezclador.	57
Figura 3-4. Diagrama de cuerpo libre del eje de la mezcladora de arcilla.	60
Figura 3-5. Análisis de sensibilidad de la malla.	63
Figura 3-6. Análisis y valores máximos de tensión en chasis mezcladora.	64
Figura 3-7. Análisis y valores máximos de desplazamiento en chasis mezcladora.	65
Figura 3-8. Análisis y valores de factor de seguridad en chasis mezcladora.	66
Figura 4-1. Método conceptual para fabricación de máquina mezcladora de arcilla.	71
Figura 4-2. Estructura del método integrado para fabricación mezcladora de arcilla.	72
Figura 4-3. Etapa de mega tendencias.	73
Figura 4-4. Proceso de identificación de requerimientos método observación y herramienta de encuesta.	74
Figura 4-5. Isométrico y vistas lateral, vertical y frontal del desarrollo del concepto.	80

Lista de tablas

Tabla 1-1. Principios mecánicos empleados.....	31
Tabla 1-2. Patentes mezcladoras grupo 1.....	33
Tabla 1-3. Patentes mezcladoras grupo 2.....	34
Tabla 1-4. Patentes mezcladoras grupo 3.....	35
Tabla 1-5. Bases teóricas para el diseño conceptual.....	37
Tabla 2-1. Consolidado de la voz del cliente.....	41
Tabla 2-2. Categorización de las prioridades para el diseño.....	44
Tabla 2-3 . Caracterización de los competidores.....	45
Tabla 2-4. Determinación de pesos ponderados para matriz QFD.....	47
Tabla 2-5. Pareto requisitos de calidad.....	48
Tabla 2-6. Ranking y análisis de Pareto.....	49
Tabla 2-7. Matriz QFD.....	51
Tabla 2-8. Matriz morfológica.....	53
Tabla 3-1. Potencia del mezclador.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4-1. Estructura Matriz para identificación de criterios QFD.....	75
Tabla 4-2. Estructura matriz QFD y despliegue.....	76
Tabla 4-3. Estructura matriz morfológica para el proceso de mezclado.....	78

Lista de Símbolos y Abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
A	Área	m^2	πr^2
F	Fuerza	Kg/ms^2	m.a
M	Momento	V/min	n/t

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
Ω	Factor de seguridad	UL	
σ	Esfuerzo Normal	Pa	
τ	Esfuerzo cortante	N.m	
K_s	Factor de servicio	UL	

Subíndices

fs	Factor de seguridad
σ	Esfuerzo del material
T_1	Torque
i	Relación de transmisión
M_e	Momento equivalente
C_p	Centésima de poise

Superíndices**Superíndice Término**

<i>n</i>	Exponente, potencia
----------	---------------------

Abreviaturas**Abreviatura Término**

<i>mm</i>	milímetros
<i>Kg</i>	Kilogramos
<i>m</i>	metros
<i>rpm</i>	revoluciones por minuto

(Dedicatoria)

A Dios por ser nuestro GPS de las acciones, decisiones, comportamientos en nuestro entorno, por proveernos de oportunidades y valores para ser grandes personas; por darnos las herramientas a través de nuestros padres para guiarnos y ser nuestro sustento en la vida.

Agradecimientos

Queremos agradecer en primera estancia a nuestros tutores los ingenieros Karel Joel Arencibia Ávila y Roberto Pérez Rodríguez, por su apoyo incondicional en el desarrollo de esta propuesta, así como los continuos aportes técnicos y de vida en su desarrollo; a la Ing. Martha Solano por sus concejos y rol de formadora; a la Universidad Antonio Nariño por darnos la oportunidad de ser parte de esta gran familia, a todos y cada uno de los profesores que nos orientaron con dedicación y competencia profesional en este proceso de formación.

Resumen

La producción artesanal de ladrillos macizos de arcilla implica baja productividad, ya que en muchas plantas se utilizan sistemas manuales para el proceso de mezclado de la arcilla demandando mayores tiempos de preparación, mano de obra y un número inferior de unidades producidas. Esta situación común no es ajena a la fábrica Tito ubicada en el municipio de la Plata (Huila). Para solucionar este problema, se propone crear un método para la generación conceptual de soluciones en el diseño de una máquina mezcladora de ladrillos de Arcilla con herramientas CAD/CAE. El método empleado comprende cuatro fases que van desde la identificación del estado del arte de los métodos para las soluciones conceptuales, la determinación de los requerimientos del cliente, el diseño, el cálculo de variables y la elaboración del método para el diseño básico. Los resultados indican que se deben incorporar las necesidades del cliente, el análisis de Pareto, el método QFD, el análisis morfológico y el desarrollo de concepto. Se concluye que a partir del desarrollo del concepto, este permite mejorar la productividad pasando de 300 unidades a 900.

Palabras clave: método, mezcladora, arcilla, QFD, morfología

Abstract

The artisanal production of solid clay bricks implies low productivity, since in many plants manual systems are used for the clay mixing process, demanding greater preparation time, labor and a lower number of units produced. This common situation is not foreign to the Tito factory located in the municipality of La Plata (Huila). To solve this problem, it is proposed to create a method for the conceptual generation of solutions in the design of a clay brick mixing machine with CAD/CAE tools. The method used includes four phases that go from the identification of the state of the art of the methods for the conceptual solutions, the determination of the client's requirements, the design, the calculation of variables and the elaboration of the method for the basic design. The results indicate that customer needs, Pareto analysis, QFD method, morphological analysis and concept development should be incorporated. It is concluded that from the development of the concept, this allows productivity to be improved from 300 units to 900.

Keywords: method, mixer, clay, QFD, morphology, morphology

Introducción

La producción de ladrillo de arcilla es una actividad que durante los últimos 20 años se ha desarrollado bajo la concepción de métodos manuales que van desde la preparación e hidratación de la arcilla, hasta el moldeo del ladrillo para su posterior cocción en horno de carbón (Barranzuel L, 2014).

En Colombia, la industria del ladrillo de arcilla es heterogénea en su composición, con un notorio nivel de informalidad. La producción de ladrillos se basa en procedimientos artesanales milenarios, y si bien algunas empresas han evolucionado tecnificando el proceso y realizando grandes inversiones, no deja de ser una realidad que producir ladrillos es un proceso que se puede hacer con pocas inversiones.

De acuerdo con la Corporación Ambiental Empresarial, el 25 % de las toneladas de ladrillos en Colombia se produce por la gran industria en tan solo el 3 % de los hornos, mientras que el 75 % restante se produce en el 97 % de hornos, lo que corrobora la alta informalidad (ANDI, 2021).

Ahora bien, el grado de tecnología empleada en el proceso de producción depende del proceso diseñado. De acuerdo con lo anterior, Romero (2020) indica que los sistemas que utilizan los fabricantes locales provienen de desarrollos de equipos adaptados, cuya principal característica es la manipulación directa del hombre en todo el proceso, lo que genera un alto número de unidades no estandarizadas. Este proceso semi industrial en el ladrillo fabricado con procedimientos manuales, el proceso de mezclado se realiza con maquinaria elemental para la preparación de la pasta de arcilla. Dentro de las ventajas de este tipo de proceso se tienen por ejemplo, ladrillos de superficie lisa y homogénea, lo cual

difiere de procesos industriales en donde el ladrillo fabricado se realiza mediante trenes de producción, que integra los procesos de mezcla, moldeo, prensa o extracción de la pasta de arcilla (Romero G & Salguero Q, 2020).

El departamento del Huila ocupa el primer lugar en la producción de ladrillos de arcilla, y posee un inventario con corte al 2020 de 105 ladrilleras de arcilla registradas. Sin embargo, se estima que este dato puede variar a 350 con fábricas informales. El tipo de ladrillo característico de fabricación es el macizo y sus medidas estándar son 30 x 10 x 10 cm (SIR-HUILA, 2020).

La importancia de diseñar tecnologías limpias y adaptadas a las necesidades de pequeños productores como es el caso del proceso de la ladrillera Tito ubicada en la Plata (Huila), permite no solo disminuir el producto defectuoso (el cual es una pérdida), si no reemplazar prácticas tradicionales como la mezcla por tracción animal y la integración de procesos para optimizar en tiempo, cantidad y calidad su fabricación.

De aquí que el diseño conceptual juegue un rol fundamental en la creación de soluciones, ya que a partir de un proceso sistemático (el cual parte de las necesidades y requerimientos reales del cliente) se empieza a dar forma a detalles prácticos que luego se transforman en variables técnicas para su diseño.

La problemática estudiada aborda el hecho de que el método actual de producción de ladrillos en la fábrica Quintero parte de la preparación de la arcilla, la cual se mezcla por un sistema se prensado con arrastre animal. La arcilla que sale por el cilindro de prensado se transporta en carretilla hasta la zona de armado y moldeado, el cual consiste en compactar la arcilla sobre un molde y realizar acabados sobre una mesa de moldeado y corte para su

posterior cocción. La mesa empleada en esta operación obliga a que todo este proceso se haga de forma manual desde hace más de 15 años, haciendo técnicamente inviable la posibilidad de una mejora en esta etapa.

La baja productividad/día que resulta de este proceso se refleja en una fabricación promedio de 300 unidades. Esta producción está por debajo de los 800 ladrillos / día, que por norma realiza un trabajador, esto según el manual de mejores técnicas de producción del Ministerio del Medio Ambiente en Colombia (MINAMBIENTE, 2021). Esto ha generado que, al realizarse pedidos mayores a 5000 unidades, deban tomarse más de una semana, lo cual conlleva a gastos adicionales < a \$1000.000 (Licon, 2016). La población de productores de ladrillo de arcilla macizo que emplea esta práctica de fabricación artesanal en el área de influencia es de 17 y a nivel departamental de 34, es decir un total de 41 productores que pueden mejorar estas condiciones de producción (CAEM, 2020).

La actividad de mezclado se realiza de forma manual, sin el uso de Elementos de Protección Personal (EPP) acorde a la actividad, lo cual lo expone a cortaduras, hongos entre otros. De acuerdo con lo anterior, se evidencia que los métodos de producción a gran escala no son viables ya que precisan de elevados costos de inversión, adecuación y mantenimiento (MINAMBIENTE, 2021).

A nivel de equipos para mezclado, según Cuenca (2021), existen comercialmente unidades que oscilan entre los \$20 y \$ 40 millones de pesos, lo que es inviable para la compra por parte de pequeños productores de ladrillos de arcilla artesanal. Estas máquinas existentes en el mercado son pesadas (< 2 Ton) y requieren en su totalidad de equipos adicionales para su arrastre como carros o tractores para su movilización y adaptaciones eléctricas, plantas e

incluso en ocasiones para su operación aumentando los costos. Esto se convierte en otra limitante, ya que las áreas actuales como ladrilleras del municipio de la Argentina, La plata y Gallego, las áreas de acceso son montañosas lo que impide el acceso fácil a estos para su desplazamiento. Los principios de funcionamiento se basan en sistema neumáticos e hidráulicos que sirven para la tarea funcional, y a su vez sistemas de control y mando para la programación de tareas lo que las hace óptimas, productivas, eficientes y seguras (Cuenca G, 2021).

Otro aspecto no menor, es el que por ser el mezclado un proceso artesanal o de baja aplicación tecnológica, los impactos ambientales para esta etapa son mínimos en comparación con mezcladoras que emplean motores a combustión interna o gasolina como se da en los municipios de la Plata y la Argentina.

Del contexto anterior es claro que el método de producción artesanal implica sobrecostos en el mismo, sin contar con la baja eficiencia y la carencia de equipos ajustados a estas necesidades.

Tomando como referencia lo expuesto, se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo elaborar un método para la solución conceptual de una máquina mezcladora y moldeadora de ladrillo con herramientas CAD/CAE?

Para poder desarrollar este proyecto se definió como objetivo general: Desarrollar un método para la generación conceptual de soluciones en el diseño de una máquina mezcladora de ladrillos de arcilla mediante herramientas CAD/CAE.

De acuerdo con lo anterior, los objetivos específicos que permitirán dar cumplimiento al proyecto son:

- Identificar el estado del arte de los métodos para soluciones conceptuales en el diseño de una máquina mezcladora de ladrillos de arcilla con herramientas CAD/CAE.
- Determinar los requerimientos del cliente para el diseño del método a partir del método QFD.
- Diseñar y calcular las variables que componen el método para la máquina mezcladora de ladrillos de arcilla con herramientas CAD/CAE.
- Elaborar el método para el diseño básico de una máquina mezcladora de ladrillos de arcilla como ejercicio de aplicación.

La metodología empleada comprende las siguientes etapas, las cuales se definen a continuación:

Paso 1- Estado del arte: Análisis de tendencias- patentes existentes sobre métodos de diseño basados en CAD/CAE a partir de una revisión bibliográfica.

Paso 2- Requerimientos del cliente: Comprende actividades como recoger la voz del cliente a partir del despliegue de la matriz de calidad QFD.

Paso 3- Diseño: Comprende el despliegue de la función de calidad por método QFD, las variantes de solución a partir de matriz morfológica, los cálculos de esfuerzos, desplazamiento máximos y factor de seguridad mediante método Von Mises.

Paso 4: Elaboración del método y prototipo virtual, el cual incluye la Modelación CAD, Análisis de Elementos Finitos (FEM) a partir de Software Autodesk Inventor versión 2021.

El proyecto comprende una propuesta de método para el diseño conceptual de una máquina mezcladora y moldeadora para ladrillos de arcilla macizos.

La importancia de este se fundamenta en el desarrollo de una propuesta de valor orientada a modificar los sistemas tradicionales empleados en la fabricación de ladrillos macizos de arcilla. Implica un desafío de diseño para el ingeniero, ya que lleva a un cambio de mentalidad por parte del productor sobre las bondades o ventajas que ofrece el diseño de soluciones tecnológicas orientadas a mejorar la productividad de su proceso de fabricación.

A esto se suma, que el diseño de soluciones conceptuales plantea, una nueva forma de integrar el conocimiento teórico-práctico que debe tener los ingenieros mecánicos, haciéndolos más idóneos y sistemáticos en su estructura mental, lo que les permite la generación de ideas de valor como aporte en la construcción de dichas soluciones.

La ventaja del desarrollo conceptual propuesto consiste en que recoge de una manera práctica los requerimientos de los procesos artesanales para la fabricación de ladrillos de arcilla, lo que permite la estandarización de principios y variables para su posterior fabricación.

1. Capítulo 1: Marco Referencial

El capítulo presentado a continuación muestra una descripción del estado del arte sobre métodos y máquina empleadas en el mezclado de arcilla para la fabricación de ladrillos, así como una caracterización de tecnologías actuales y principios mecánicos contemplados para su diseño como se indican a continuación.

1.1 Estado del arte

En este ítem se presenta el estado del arte descrito desde un enfoque global y nacional, esto es la descripción de tendencias de investigación en los numerales comprendidos entre 1.1.1 al 1.1.2.

1.1.1 Dimensión Internacional

Se desarrolló un modelo conceptual para la construcción de máquinas de construcción de módulos automatizados para análisis de despliegues de calidad. El proceso se inicia con la identificación de requerimientos funcionales, el cual combina con el método KANO y complementa con el QFD. Este primer avance se dio en una máquina automática para enmarcado de paredes de acero, la cual tenía adaptado un brazo robótico con dos grados de libertad. Las técnicas de análisis y desacoplamiento para el diseño de controladores presentadas en este estudio difieren de las utilizadas en forma tradicional, lo cual es una ventaja frente a otros métodos ya que permite dimensionar en conjunto la relación de los sistemas que integran el equipo. El QFD para el diseño de controladores proporciona funciones de transferencia continua para representar relaciones y desacoplamiento matemático que se implementa fácilmente en el software. El aporte del presente estudio se basa en el método QFD como técnica para la construcción del modelo conceptual (Musilek, 2021).

Una investigación sobre la configuración de inyección de procesos de moldeo de compuestos líquidos se realizó sobre fundamentos de ingeniería concurrente a partir de cuatro principios: la organización, comunicaciones, especificaciones y desarrollo de producto. Como resultado los autores emplearon algoritmos de optimización adoptados para determinar las características de funcionalidad del equipo, así como la matriz morfológica para determinar la mejor alternativa. Las ventajas que ofrece este método parten del hecho de que el algoritmo permite realizar simulaciones por fases del diseño, permitiendo realizar ajustes sin comprometer todo el prototipo (Chai, 2021).

Otra investigación se enfocó sobre las metodologías de diseño de máquinas apropiadas para contextos de comunidades en desarrollo. El diseño de un equipo o producto industrial en un país desarrollado es un proceso caracterizado por la creatividad y, al mismo tiempo, condicionado por el cumplimiento de requisitos impuestos por el cliente, usuarios, mercado y/o competencia. La complejidad e importancia del proceso de diseño ha motivado muchos estudios y el establecimiento de diferentes metodologías para ayudar a los equipos de diseño a guiar el proceso, enfocarse en la creatividad y lograr los requisitos necesarios. Estas metodologías tienen en cuenta muchos aspectos para tomar decisiones de diseño: estudios de mercado, análisis de necesidades de los usuarios, generación de especificaciones, propuestas y evaluación de alternativas, etc. Esto implica características específicas del entorno: alta disponibilidad de recursos energéticos, materiales y tecnología, reducción de tiempos y costos, operadores y usuarios altamente capacitados. De acuerdo con lo anterior, el autor indica que en el caso de diseño de máquinas para solución de problemas locales, el ingeniero debe tratar de integrar de la forma más práctica métodos que recojan la dimensión total de la necesidad a resolver. Estas corresponden a métodos como el análisis funcional,

causa-efecto, morfología de diseño y herramientas de ingeniería concurrente. El aporte de la investigación permite identificar y seleccionar los métodos de ingeniería de diseño para construcción de máquinas (Romero, 2018).

Un estudio basado sobre el diseño de una máquina moldeadora de arcilla emplea una metodología de caja negra, el cual muestra la relación que hay entre cada una de las actividades y su relación con el proceso de transformación del material. Las fases establecidas para el estudio comprenden la identificación de subsistemas, un estudio comparativo, selección de subsistemas y diseño de detalle. Se logra establecer una secuencia sistemática, que permitió el desarrollo de un prototipo eficiente en función del tiempo y de la simplificación de procesos (Arzate, 2019).

Un estudio sobre el diseño y la construcción de una máquina mezcladora de arcilla con capacidad de 200 kg/h para la fabricación de reliquias a base de arcilla, propuso dos prototipos, los cuales evaluó mediante la matriz morfológica. Se seleccionó una máquina cuyo sistema se compone de una tolva de alimentación lateral, un sistema de transmisión polea-correa, un bastidor y un dispositivo mezclador tipo martillo. El diseño es horizontal y tiene como ventajas su capacidad de producción y su bajo peso (menor de 230 Kg). Como desventaja se identifica que tanto el sistema de transmisión como el motor no tienen carcasa protectora, lo que los expone a oxidación por acumulación de material particulado, aumentando los costos de mantenimiento (Rojas, 2019).

De acuerdo con las descripciones de los estudios anteriores se indica que para el diseño de un prototipo de máquina se deben considerar de primera mano las necesidades o requerimientos del cliente, los cuales se traducen en expectativas para el diseño e insumos para el desarrollo a partir de la implementación de modelos que comprenden la

identificación de requerimientos, estructuración de criterios de calidad y el análisis detallado de las opciones de desarrollo partiendo de métodos de análisis como por ejemplo la matriz QFD, en la cual estos se despliegan y se clasifican según su importancia.

Ya en el ámbito nacional algunos de estos estudios describen los siguientes aspectos presentados en el numeral 1.1.2.

1.1.2 Dimensión Nacional

Una investigación realizada en Bucaramanga sobre el diseño de una herramienta para la extracción tuerca-corona en una excavadora a partir de ingeniería concurrente, integró la función de calidad o QFD y el diseño para la Manufactura y Ensamble (también conocido como DFMA, Design for Manufacturing and Assembly). Los resultados alcanzados comprenden un modelo conceptual, el cual se compone de tres etapas que parten de las necesidades del cliente, los requerimientos funcionales y la determinación de la función como etapa 1. El diseño conceptual, la selección de alternativas como etapa 2. Las reglas y principios, el diseño final y montaje como etapa 3. La investigación permite determinar los pasos a seguir para la solución conceptual de la propuesta (Coba & Vanegas, 2020).

Un investigador diseñó una máquina mezcladora de arcilla y mortero para el aprovechamiento de residuos de demolición y construcción (RCD). El diseño propuesto parte de un análisis de calidad en donde se consideran las necesidades del cliente. Posterior a ello se desarrolla el prototipo, el cual consta de un sistema de alimentación por tolva vertical, la cual lleva la materia prima por gravedad hasta la boca del tornillo. A medida que gira hidrata la materia prima, permitiendo una menor maleabilidad de la arcilla. El material de la estructura es perfilera cuadrada en acero estructural o AISI A36 y el material de las guías es acero inoxidable. Dentro de las ventajas de esta propuesta están su gran capacidad

de procesamiento (mayor a 400 kg/h). Se considera un equipo pesado ya que este es superior a los 600 kg (Caicedo, 2020).

El diseño de un prototipo de máquina para mezclar y fabricar ladrillos partió de la conceptualización del diseño y la parametrización. Una vez seleccionado el prototipo se procedió al diseño funcional de cada una de sus partes hasta su desarrollo. Seguidamente se diseñó la caja de almacenamiento y el sistema de alimentación mediante tolva. El proceso de mezclado previo se desarrollaba a partir de un sistema de tornillo sin fin, su capacidad teórica es de 60 Kg/min y con un peso inferior a los 320 kg (Benavides, 2020).

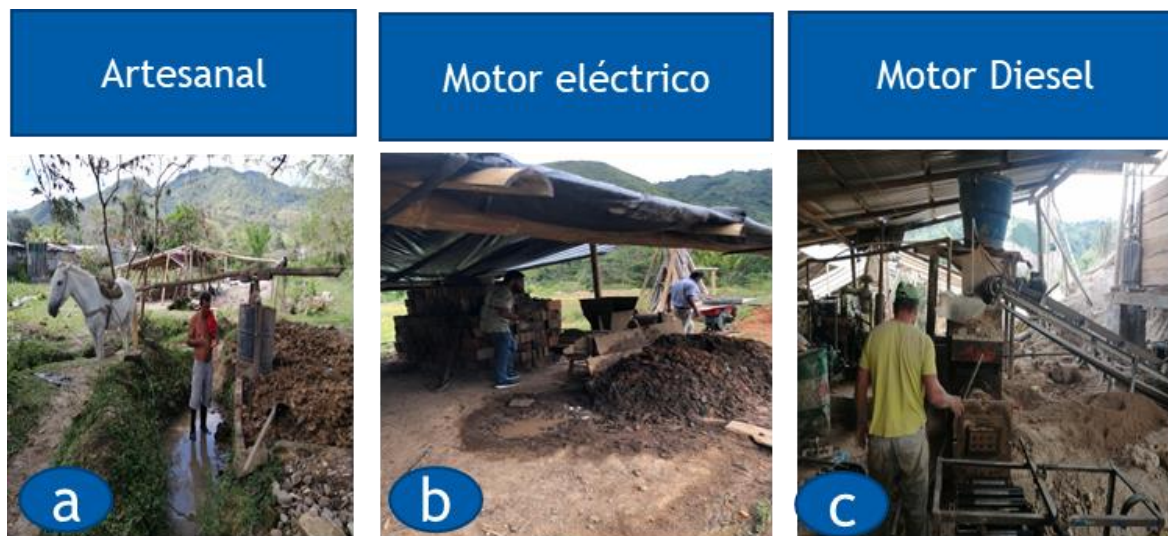
Otro estudio diseñó una máquina mezcladora y extrusora de arcilla para la producción de ladrillo cerámico. Para su desarrollo, en el cual implementaron un modelo de diseño conceptual, el cual priorizó los requerimientos específicos del cliente; así como los materiales de diseño los cuales se basaron en acero AISI 1040. El sistema de mezclado emplea hélices helicoidales para lograr una mezcla homogénea, lo que garantiza una baja tasa de desperdicio en el proceso de producción. Dentro de las ventajas de este tipo de máquinas se encuentran su estructura rígida, que reduce las vibraciones por acción de las hélices (González, 2017).

Del análisis de antecedentes se puede concluir que el diseño conceptual integra en la mayoría de las soluciones para construcción de máquinas, diferentes métodos para generar soluciones; ya sea en la identificación de requerimientos, en el desarrollo morfológico o en la construcción del prototipo. Estos avances siguen los patrones de la ingeniería concurrente, la cual es una garantía metodológica en cualquier campo de aplicación de las ingenierías en cuanto al diseño.

1.2 Tecnologías actuales disponibles

Para poder entender el estado de avance de las tecnologías disponibles hoy día, es importante identificar y comparar frente a los sistemas actuales de producción de la zona de influencia del proyecto; según lo anterior estas tecnologías comprenden:

Figura 1-1. Estado actual tecnologías de mezclado en la zona de estudio.



Nota. La figura 1-1 muestra los sistemas de mezclado empleados en las fábricas de ladrillo.

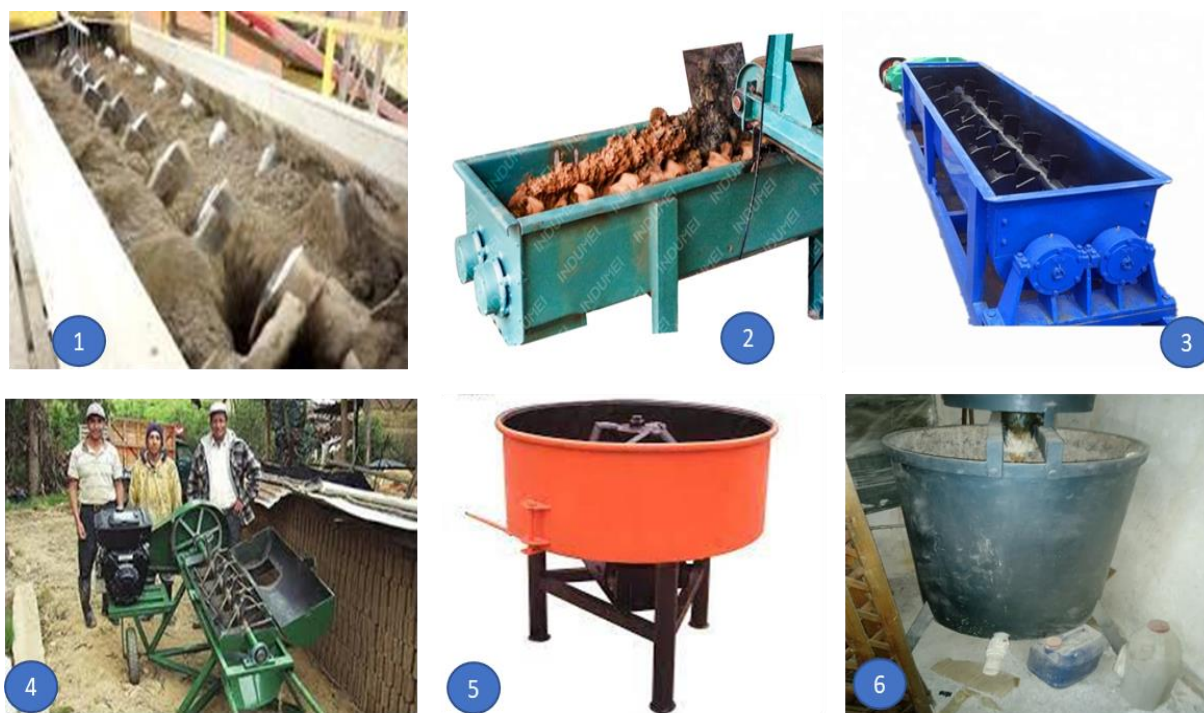
En el caso del sistema de mezclado artesanal empleado en el municipio de La Plata (Huila) (a), este sistema emplea la tracción animal, el cual consiste en colocar sobre el caballo un aparejo amarrado a la palanca de madera, que a su vez está acoplado a una barra que emplea unas paletas metálicas que mezclan la arcilla en función del movimiento circular. Previo al mezclado, la arcilla se hidrata y mezcla manualmente por el operador para facilitar la mezcla homogénea. Mecánicamente el principio empleado parte del uso de una palanca de segundo género, en donde la resistencia se encuentra entre la potencia y el punto de apoyo. El uso de este sistema se aplica en la empresa Tito del municipio de La Plata (Huila).

Con respecto al segundo sistema de mezclado evidenciado en Gallego (Huila) **(b)**, emplea un motor eléctrico de 1 Hp que transmite la potencia a través de una correa acoplada a una polea, la cual induce el giro de un rodillo horizontal que se encarga de triturar la arcilla. El sistema de hidratación se realiza manualmente con un tanque plástico de 5 l y corresponde a la empresa Mano del corregimiento de Gallego (Huila). Este tipo de sistema presenta problemas de adherencia de la arcilla al rodillo, lo que ocasiona normalmente paradas del proceso, calentamiento del motor y daño de este. En cuanto a su mantenimiento, requiere de un tiempo superior a 4 h, ya que se debe desacoplar todos los mecanismos que componen el sistema.

La tercera tecnología empleada en el área de estudio comprende una producción de ladrillos a gran escala en la Cooperativa de Productores de la Argentina (Huila). A nivel tecnológico para el proceso de mezcla esta parte de una tolva en madera, sobre la cual depositan la arcilla que se extrae. Este material es hidratado con sistema de riego, y antes de iniciar el proceso, cuatro operadores ablandan los bloques de arcilla para que sean mezclados mediante un molino de cuatro chorros que llevan la arcilla por banda transportadora hasta el bloque de compactación para su posterior moldeado. El sistema de mezclado emplea un motor Diésel de un camión Ford 600, el cual a través de la correa genera el movimiento de los rodillos horizontales para el mezclado.

Con respecto a otras tecnologías actuales empleadas por productores medianos, es decir, que disponen de una tecnología para su fabricación según la bibliografía consultada, se tienen los siguientes equipos:

Figura 1-2. Tecnologías de mayor uso por parte de medianos productores en otras áreas del país.



Nota. La figura 1-2 muestra las tecnologías de producción de mayor uso hoy día en este proceso.

De la figura 1-2 se puede indicar equipos empleados actualmente a nivel nacional y de Sur América. La figura (1) corresponde a un equipo mezclador por sistema de martillo, aquí la arcilla es vertida sobre el plano horizontal de la máquina, la cual es accionada mediante un sistema on/off para que realice la operación. Este tipo de equipos puede procesar 150 kg/min, pesa en promedio 750 kg. Su principal desventaja corresponde a que al hidratarse en exceso la arcilla, esta se adhiere a los martillos ocasionando la parada del equipo. Se utiliza en Boyacá y Santander por medianos fabricantes, tiene un valor superior a los \$ 28 millones de COP.

La figura (2) corresponde a una mezcladora tipo tornillo sin fin horizontal, opera con un motor eléctrico de 1 hp. Tiene una capacidad limitada de 45 kg/min, pesa en promedio 350 Kg y opera con un sistema de transmisión de potencia polea-correa. Su mantenimiento

requiere de un máximo de dos horas y al no hidratarse mucho la arcilla esta se pone más densa haciendo que el tornillo deje de girar. La arcilla mezclada sale del equipo por acción de empuje del mismo tornillo, es usada con frecuencia en Antioquia y Cundinamarca y Perú, tiene un costo superior a los \$14 millones de COP.

La figura (3) corresponde a un equipo mezclador horizontal multifuncional con un sistema de doble martillo. Aquí la arcilla se suministra por un costado a partir de un émbolo. La mezcla se realiza al actuar los martillos de forma paralela, se acciona mediante un sistema on/off para su encendido. Este tipo de equipos pueden procesar 200 kg/h, pesa en promedio 500 kg, y tiene un costo superior a los \$ 25 millones de COP.

La figura (4) corresponde a un equipo mezclador horizontal tipo martillo con soporte móvil. Aquí la arcilla se suministra por un costado a partir de un émbolo. La mezcla se realiza al actuar los martillos contra la masa, se acciona mediante un motor de dos hp. Este tipo de equipos pueden procesar 40 kg/h, pesa en promedio 290 kg, y tiene un costo superior a los \$ 10 millones de COP.

Las figuras (5 y 6) corresponden a un equipo mezclador vertical de tornillo sin fin con tanque fijo. Aquí la arcilla se suministra por el plano horizontal. Tiene un sistema on/off y la mezcla se realiza al actuar el tornillo. Se acciona mediante motor de un hp. Este tipo de equipos puede procesar 50 kg/H, pesa en promedio 230 kg, y tiene un costo superior a los \$ 11 millones de COP.

1.3 Tecnologías actuales de producción y/o aplicación

Figura 1-3. Tecnologías de producción actuales para fabricación de ladrillos de arcilla.



Nota. La figura 1-3 muestra las tecnologías de producción de mayor uso hoy día en este proceso.

Con respecto a las tecnologías presentadas, se puede indicar que las tendencias en el sector, están marcadas por el uso de procesos integrados mediante líneas automatizadas e inteligentes, las cuales controlan el proceso desde la alimentación de la arcilla, la hidratación del material y parámetros como densidad, color aparente, con el fin de producir conforme la normatividad técnica existente con respecto a los ladrillos de arcilla macizos y los bloques de arcilla. Estas tecnologías emplean no solo sistemas de transmisión sino que se apoyan en fundamentos hidráulicos o neumáticos, servosistemas, métodos de control y mando para generar el máximo de confiabilidad en el tiempo y por ende, eficiencia del proceso.

Este tipo de tecnologías son empleadas en procesos de producción en línea con volúmenes mayores a los 3 millones de unidades/mes, lo cual claramente es una ventaja ya que pueden controlar de forma más eficaz aspectos relacionados con la calidad del producto, los tiempos y la optimización de la mano de obra, lo que hace mucho más efectivo su fabricación.

1.4 Principios mecánicos empleados en máquinas mezcladoras y moldeadoras de ladrillos macizos de arcilla

Dentro de los principios mecánicos empleados, la tabla 1-1 indica los aspectos más relevantes empleados a nivel tecnológico.

Tabla 1-1. Principios mecánicos empleados.

Principio	Descripción
Alimentación Arcilla	Entrada material a proceso
Manual	Entrada por operario
Tolva	Dispositivo almacenamiento temporal que lleva por gravedad la arcilla
Transmisión de potencia	Generar potencia de una fuente a un mecanismo, incrementando, manteniendo o decreciendo la velocidad y el torque
Palancas	Segundo genero Palanca-Resistencia-Punto de apoyo (P-R-PA)
Polea-eje-motor eléctrico	Motorreductor trasmite movimiento al eje el cual lo integra mediante correa circular al rodillo macizo
Polea-eje -motor Diesel	Motor Diésel trasmite movimiento al eje, el cual lo integra mediante correa trapezoidal a la polea y este a los rodillos
Hidráulica	Bomba hidráulica que trasmite la potencia mediante un fluido al eje y este a su vez al rodillo horizontal
Mezclado	Homogenización del material de arcilla
Paletas metálicas - Movimiento circular	Barras verticales que giran para realizar la mezcla
Rodillo horizontal macizo	Elemento macizo y giratorio cuya función es ablandar u homogenizar el material
Rodillos paralelos	Conjunto de rodillos macizos y colocados de forma paralela a un eje mediante rodamientos para lograr una mezcla homogénea
Tornillo sin fin	Los tornillos sin fin engrana en una corona de tal forma que, por cada vuelta completa del tornillo, el engranaje gira un diente

Nota. En la tabla 1-1 se muestra los principios mecánicos empleados. Fuente: Tomado de (Santos, 2017).

De la tabla 1-1 se puede indicar que el proceso de alimentación de máquinas mezcladoras puede ser de tipo manual o por tolva alimentadora. Este último acoplado de

forma horizontal o vertical según sea la máquina. Algunas de estas emplean para transmitir la potencia del motor- par al tornillo sin fin, eje de martillo sencillo o doble una relación de palancas, polea-eje motor o en su defecto una bomba hidráulica. Los métodos empleados para el mezclado usan según el equipo, paletas metálicas verticales, rodillos paralelos, agitadores en acero al carbón o el más frecuente que es el tornillo sin fin.

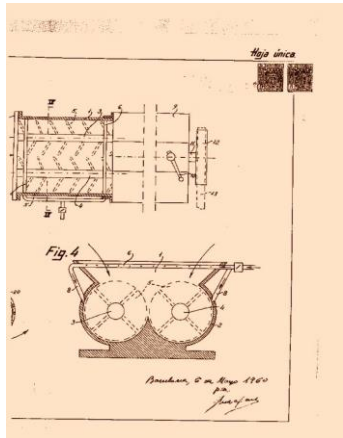
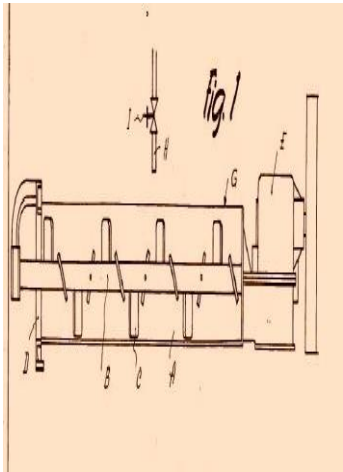
Los principios mecánicos empleados se aplican en función del grado de complejidad de la máquina o prototipo. Sin embargo, un factor de diseño clave corresponde a que el sistema no se detenga por efecto del movimiento que realiza para la mezcla.

1.5 Equipos de mezcladoras patentadas

Realizado el proceso de búsqueda de máquinas mezcladoras patentadas en patente.com, se identificaron diferentes principios de uso y máquinas que para procesos de mezclado. Según lo anterior, estas primeras patentes se enfocaron en lograr un proceso de mezclado que integraban el suministro de arcilla mediante una tolva y el proceso de mezclado. Esto es un proceso integrado de producción, el cual cambio el paradigma de ese entonces, en donde, las etapas eran descentralizadas. Este factor fue el punto de partida para la optimización de este proceso, que en la actualidad como se ha descrito, sigue teniendo una alta participación de procesos artesanales a nivel nacional.

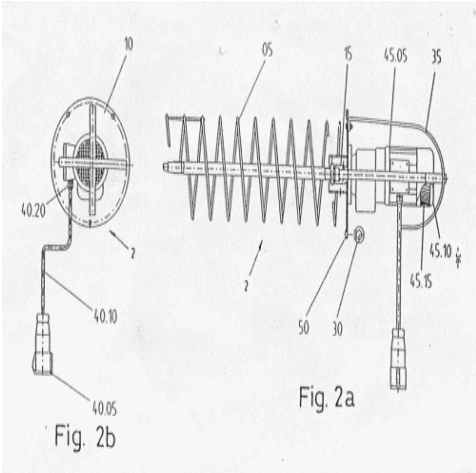
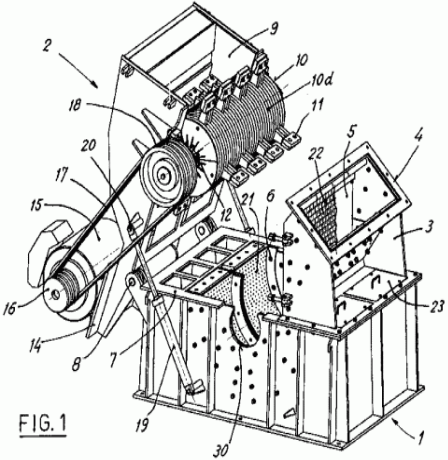
Otro aspecto relevante de las patentes estudiadas se centra en el hecho de que estas máquinas demandan el uso de sistemas de engranaje para duplicar la potencia entregada al sistema de mezclado así como de sistemas de alimentación como tolvas, las cuales son esenciales para asegurar un proceso de suministro continuo de materiales. A continuación se presentan algunas de estas patentes registradas sobre mezclado de arcilla.

Tabla 1-2. Patentes mezcladoras grupo 1.

Patente	Origen	Nombre	Descripción	Vista
P0258039.	España	Máquina mezcladora para arcilla y sustancias similares	Comprende una tolva receptora de la arcilla y en la que se produce la mezcla de esta al ser amasada por uno o más ejes en disposición sustancialmente horizontal y equipados con aletas o palas helicoidales, suministrándose al interior de esta tolva el agua necesaria por una instalación tubular que al reparte homogéneamente, estando vinculado dicha tolva por uno de sus frentes a un mecanismo accionador del eje o ejes mezcladores	 <p>The drawing shows a horizontal mixing machine. It consists of a cylindrical mixing chamber with internal blades or paddles. A drive mechanism is attached to one end of the chamber. The drawing is labeled 'Fig. 4' and includes various numbered parts. The text 'Máquina única' is written at the top right of the drawing area.</p>
P0260449.	Alemania	Amasadora de arcilla	Comprende una tolva vertical que deposita la arcilla. la cual es mezclada mediante un tornillo sin fin que lleva la mezcla en forma horizontal hasta una boquilla de salida	 <p>The drawing shows a vertical mixing machine. It features a vertical mixing chamber with a horizontal mixing screw inside. The screw is used to mix the material and transport it horizontally to a discharge nozzle. The drawing is labeled 'Fig. 1' and includes various numbered parts.</p>

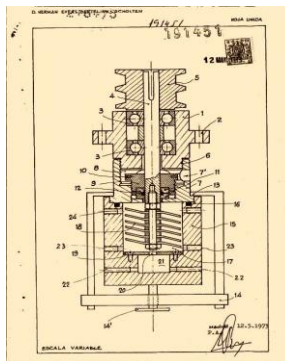
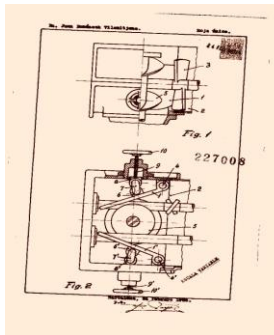
Nota. En la tabla 1-2 se presenta la relación de patentes existentes sobre mezcladoras de arcilla: tomadas de <https://patentados.com/2005/maquina-de-moler-arcilla-u-otros>.

Tabla 1-3. Patentes mezcladoras grupo 2.

Patente	Origen	Nombre	Descripción	Vista
B28C5/08	España	Máquina mezcladora/homogeneizadora perfeccionada	<p>Caracterizada porque, en un armazón/bastidor consta de al menos: a) un grupo eléctrico/electrónico, con una pluralidad de conexiones que alimenta a b) un sinfín de transporte, c) una cámara de mezcla, d) un medidor de flujo, e) una bomba de agua, f) un presostato o conmutador de presión, g) un compresor, y h) una bomba impulsora; de modo que, partiendo de morteros secos premezclados (transportados por el sinfín) y agua (impulsada por la bomba de agua), se obtiene mortero húmedo en la cámara de mezcla; mortero húmedo que es proyectado por la bomba impulsora a la pared que se quiere revocar, empleando aire comprimido generado por el compresor</p>	
B02C13/284	Francia	Máquina de moler arcilla u otros materiales	<p>Máquina de moler arcilla u otros materiales. La carcasa general de la máquina está dividida en una bancada (1) fija y una tapa (2) móvil, en la cual se encuentra un rotor (10) fijado de manera giratoria en dicha tapa (2), junto con unos órganos motores (15) y de transmisión (16, 17, 18) del giro del mismo también montados en la tapa (2), de modo que, con la tapa (2) en una posición abierta, el rotor (10) queda retirado de una cavidad de la bancada (1) donde gira el rotor durante el funcionamiento, franqueando un libre acceso a una criba (21) dispuesta en el fondo de dicha cavidad y al propio rotor (10) fijado a la tapa (2), mientras que en una posición cerrada de la tapa (2), dicho rotor (10) queda dentro de dicha cavidad por debajo de una salida (5) de una boca de carga (4) y por encima dicha criba (21).</p>	

Nota. En la tabla 1-3 se presenta la relación de patentes existentes sobre mezcladoras de arcilla: tomadas de <https://patentados.com/2005/maquina-de-moler-arcilla-u-otros>.

Tabla 1-4. Patentes mezcladoras grupo 3

Patente	Origen	Nombre	Descripción	Vista
P01945 43.	EE. UU.	Máquina mezcladora para arcilla y sustancias similares	Comprende un sistema de mezclado vertical tipo émbolo, el cual realiza el proceso de mezclado mediante agitadores en hierro	
P0227008.	España	Equipamiento Para Mezcla de arcilla	Comprende un sistema de mezclado vertical tipo émbolo, el cual realiza el proceso de mezclado mediante agitadores en hierro	

Nota. La tabla 1-4 muestra los equipos mezcladores patentados en EE. UU. y España; tomada de <https://patentados.com/2005/maquina-de-moler-arcilla-u-otros>.

De las anteriores patentes se pueden establecer que los principios empleados para el proceso de mezclado de arcilla integran sistemas de tornillo sin fin, martillos, palas helicoidales entre otras combinadas con motores eléctricos superiores a 1 hp, lo cual permite dar confiabilidad en el proceso de mezcla sin que se detenga el proceso. Otra característica es la de tener sistemas verticales para el mezclado, lo que indica que la alimentación de la arcilla se realiza de forma lateral. De lo anterior es importante relacionar que el sistema de alimentación lateral puede ser una limitante en áreas de producción como en la fábrica Quintero, esto debido a que su infraestructura es artesanal y la materia prima es trasladada en vehículos que obligan al movimiento de material vertical.

Estas máquinas son de gran peso (250 a 600 Kg), lo que implica que su ubicación sea básicamente fija para poder operar, esto debido a que en el caso de productores artesanales estos no cuentan con equipos especializados para transporte.

En el caso de la tabla 1-4 se relacionan dos equipos de mezcladoras con sistema verticales con tope de salida y capacidades de 20 y 35 kg/min. Estos equipos emplean sistemas de agitadores en hierro, material para la época empleado para generar mayor resistencia a la vibración, así como dureza y resistencia de este al realizar el mezclado de la arcilla. Estos equipos tienen un peso aproximado que va de 250 a 700 Kg, e integran el proceso de mezclado. Sin embargo, sus componentes en su gran mayoría son de difícil adquisición a nivel comercial y por su gran peso se hacen complejas las tareas de mantenimiento.

Los sistemas de mezclado son verticales, lo cual conlleva a un suministro de material regulado. A su vez, implica un proceso de hidratación continua de la arcilla haciendo que esta se adhiera a las paredes del equipo y del agitador, lo que genera una mayor potencia de trabajo para el sistema y una menor vida útil de la misma.

Desde una perspectiva tecnológica, estos equipos son netamente mecánicos, lo cual sugiere procesos lineales y un control de variables de eficiencia que demandan acciones de calibración de los equipos. A esto se suma que para los cambios de formatos, estos equipos requieren de actividades de mantenimiento largas, ya que sus componentes por su peso requieren de otros sistemas para su reparación. En ese orden, la evolución tecnológica de hoy día sugiere una mayor productividad, procesos basados en justo a tiempo, calidad, análisis de fallas entre otros, que garantizan un mejor desempeño y costo de operación para los fabricantes, si se comparan con los procesos artesanales.

1.6 Fundamentos teóricos del proyecto

Para entender la metodología aplicada es importante dar claridad sobre algunos métodos aplicados para el desarrollo de la investigación, ya que estos constituyen la base teórica de la investigación, según (Riba, 2018).

Tabla 1-5. Bases teóricas para el diseño conceptual.

Método aplicado	Descripción del método
Método QFD	Método de despliegue de la función de calidad, se utiliza para el despliegue paso a paso, con el mayor detalle posible de los requerimientos que conforman el producto. método se presentan los tres objetivos que persigue el método QFD: (a) Dar prioridad las necesidades expresadas y latentes de los clientes con respecto a un producto, (b) Traducir esas necesidades en términos de características y especificaciones técnicas y (c) Diseñar producir y entregar un producto o servicio de calidad, centrándose en la satisfacción de los clientes.
Matriz morfológica	Relaciona el conjunto de subfunciones con los requerimientos funcionales, que tiene como finalidad mostrar las variantes de solución más factibles para el diseño del producto
Modelación CAD	Facilita al diseñador la obtención de un modelo geométrico de cada una de las partes o piezas que conforman el ensamble del concepto de solución seleccionado en el paso anterior. Este modelo contiene toda la información necesaria para su posterior utilización en el análisis numérico y la fabricación del producto
Método FEM	(modelado de elementos finitos) facilita, a partir del modelo CAD obtenido en el paso anterior, la determinación del tipo de cargas a la que estará sometido el modelo CAD, y seleccionar de acuerdo con los resultados de las simulaciones que se realicen.

Nota. En la tabla 1-5 se describen los conceptos de los fundamentos teóricos empelados en la presente investigación; tomado de (Falcó, 2016).

La tabla 1-5 muestra los diferentes conceptos o métodos empleados para el desarrollo conceptual de la solución a la problemática del proceso de mezclado de arcilla para la producción de ladrillos artesanales en la planta Tito del municipio de la Plata (Huila). El proceso inicia con la identificación de necesidades y su traducción al lenguaje técnico. El uso de la matriz morfológica en donde se categorizan dichos requerimientos y se plantean y seleccionan alternativas de diseño. Seguidamente se realiza la modelación CAD de cada uno de los componentes para su respectivo Análisis por Elementos Finitos mediante el método de Von Mises.

De acuerdo con lo planteado en el capítulo 1, al analizar el problema de investigación se estableció que este obedece a que el sistema de mezclado empleado en la fabricación de ladrillos es manual y se emplea la transferencia de potencia. Esta es necesaria para realizar la mezcla por tracción animal, lo cual está prohibido por parte de la CAM. Otro aspecto es que la capacidad del tanque artesanal metálico sobre el cual se acopla un tornillo sin fin es limitada, obligando al fabricante a realizar varias actividades de mezcla, lo que aumenta el tiempo de fabricación.

Según lo anterior al revisar el uso de tecnologías de mezcladoras en la zona, a nivel nacional e internacional, se concluyó que en el ámbito local los equipos usados van desde tracción animal hasta equipos adaptados con plantas de gasolina y Diésel en pequeñas y medianas escalas de producción. En cuanto al método empleado, se identificó una alta frecuencia de uso de mezclado manual y de tornillo sin fin.

Las patentes registradas emplean en sus diseños conceptuales sistemas de tornillos sin fin verticales y horizontales con un sistema de realimentación por tolva.

En cuanto a las tecnologías actuales los principios son los mismos, diferenciándose en costos, capacidad de producción, y peso según las necesidades de los clientes. Sin embargo, el factor diferenciador que limita la adquisición de un equipo para aumentar su producción radica en el costo y la necesidad de adecuar el proceso de producción, lo cual aumentaría notablemente los costos de producción en la fábrica Tito.

De aquí que surja a necesidad de plantear un modelo de diseño conceptual con miras a desarrollar equipos mezcladores que se ajusten a los requerimientos particulares de cada cliente.

Según lo anterior, para lograr dicho diseño conceptual es necesario identificar las necesidades reales del cliente. Lo anterior se presenta en el capítulo 2 desarrollado a continuación.

2. Capítulo 2: Método para la generación conceptual de soluciones en el diseño de productos con herramientas CAD/CAE

Para el desarrollo del capítulo, se realizó una visita a la fábrica Tito con el fin de comprender el proceso e identificar las necesidades y requerimientos del cliente. El método aplicado comprende la observación, en la cual se recolectaron datos y aspectos cualitativos relacionados con las tecnologías de mezclado empleadas.

2.1. Identificación y observación

Al realizar la identificación del proceso en la fábrica Tito ubicada en La Plata -Huila como se indica en la figura 2-1, se realiza la correspondiente caracterización, la cual se describe a continuación.

Figura 2-1. Evaluación de tecnologías de producción.



Nota. La figura 2-1 muestra el proceso de observación y de encuesta aplicada a los fabricantes sobre requerimientos de diseño.

Caracterización del proceso mediante observación:

- Operación Manual en todas las etapas del proceso.
- Genera cansancio en el operario.
- Ladrillos se pegan a los moldes por falta de hidratación de la arcilla.

- Unidades de ladrillos defectuosas considerables que deben ser reprocesadas.
- El Mezclado genera lesiones osteomusculares.
- La arcilla debe ser hidratada de forma manual.

2.2.Requerimientos del cliente

Para identificar los requerimientos del cliente se procedió aplicar el instrumento de encuesta a nueve fabricantes locales localizados en los municipios de La Plata, La Argentina y Gallego. La información obtenida se consolida en la tabla 2-1. Según lo anterior, los hallazgos plantean los aspectos a considerar en el diseño del prototipo (tabla 2-1).

Tabla 2-1.Consolidado de la voz del cliente.

Encuesta	P1- ¿Característica más importante de la máquina?	P2- ¿cómo debe ser el sistema de alimentación de la arcilla?	P3-¿cómo debe ser su fuente de alimentación para su operación?	P4-A nivel de manipulación prefiere accionar algunos controles por	P5-¿cómo debe ser el cambio de formatos de ladrillo?
1	Integre el mezclado en un solo paso	Tambor	energía alternativa	palanca	Automático
2	Produzca el triple de lo que hace el productor	Tolva	eléctrica	botón color	manual y rápido
3	Sea económica, productiva	Tolva	combustible	palanca	manual y rápido
4	Fácil de operarla, segura y rápida	Tolva	eléctrica	palanca	Automático
5	Que se pueda mover a varios sitios, que no use combustible, no sea tan pesada	Tolva	eléctrica	botón color	Automático
6	Que sea segura	Tolva	mecánica	botón color	Automático
7	No use combustible, mezcla ligera	Tambor	eléctrica	botón color	Automático
8	El mantenimiento se pueda hacer con herramientas sencillas, que integre todo el proceso	Tambor	eléctrica	botón color	Automático
9	Fácil de instalar, segura, económica	Tambor	mecánica	botón color	Automático

Nota. La tabla 2-1 muestra los elementos claves de diseño requeridos por el cliente a partir de una encuesta de cinco preguntas relacionadas con el proceso de mezclado de la arcilla. Fuente: autores.

Al preguntar sobre las características más importantes a considerar en la máquina se estableció que la integración del mezclado, es decir, la hidratación y mezcla deben darse en un solo paso. Otro aspecto implica que la capacidad de producción triplique la actual (productividad), de bajo costo de adquisición, tenga alto margen de confiabilidad en su operación y que el mantenimiento sea simple y de bajo costo.

Cuando se indagó sobre el sistema de alimentación de la arcilla a la mezcladora se identificaron dos métodos: por tolva y por tambor. Con respecto a la fuente de alimentación, se tiene una gran frecuencia de que opere con energía eléctrica o en su defecto que emplee energías alternativas.

En cuanto a la facilidad del sistema de operación, los encuestados prefieren para su manipulación que la máquina cuente con palancas, botonera on/off. A su vez, el cambio de formatos de ladrillos considera que sea automático.

Según lo anterior, se debe realizar una descripción precisa de los requerimientos con el fin de poder desarrollar la planificación del producto, así como la identificación de competidores con la voz del cliente para poder realizar mediante ponderación de factores el despliegue de calidad. Estos aspectos se desarrollan a continuación en la descripción del método QFD.

2.3.Método QFD

De acuerdo con la tabla 2-1 de consolidación de requerimientos del cliente se tiene el despliegue de la matriz QFD como se indica a continuación.

2.3.1. Descripción de requerimientos

Con respecto a la descripción de requerimientos se tiene:

Funcional: Estos requerimientos indican la razón de ser del proceso, es decir, alcanzar la mejor performance en aspectos variables como productividad, desarrollo del proceso y efectividad de este, los cuales son necesarios para el productor.

Fabricación: En cuanto a estas variables contempladas se debe indicar que para los productores es importante considerar una máquina de fácil montaje, ya que, en caso de ser necesario de debe desplazar el equipo. Garantizar un ensamble con piezas simples de acoplar optimiza los tiempos, así como su fácil operación y el bajo peso ayudan a poder realizar una manipulación sin contratiempos. Es decir, que no requiera de un entrenamiento especial para su manejo.

Costo: En lo que respecta al costo, es necesario indicar que este se refleje en procesos de mantenimiento que puedan ejecutarse por los mismos productores, para lo cual es necesario que también se usen herramientas convencionales para ajustes, y acople sin generar sobrecostos.

Seguridad: La seguridad pese a no tener una trascendencia para el productor, si se considera un factor de suma importancia para la prevención de lesiones que puedan afectar la integridad del operador. Según lo anterior, debe orientarse tanto para las actividades de mantenimiento o de funcionamiento.

Ambientales: Aspecto que ha tomado una gran relevancia en el desarrollo de equipos, ya que el uso de combustibles para la generación de potencia tiene un efecto irreversible en el medio ambiente a partir de los procesos de combustión que de estos se dependen. Por lo anterior, es fundamental desarrollar propuestas que mitiguen este efecto.

2.3.2. Matriz de planificación del producto

Identificados los requerimientos del cliente, los cuales se consolidaron a partir de las encuestas aplicadas y registradas en la tabla 2-1, se procede a clasificar y agrupar estos, dando como resultado la tabla 2-2. Luego se pondera cada requerimiento empleando para ello una escala de 1 a 5, siendo 1 la de menor grado de importancia dentro de los requerimientos y 5 la de mayor importancia:

Tabla 2-2. Categorización de las prioridades para el diseño.

Tipo de requerimiento	Aspectos contemplados	Prioridad
Proceso	Mezclado en un solo paso	5
	Proceso homogéneo	5
Fabricación	Capacidad de producción.	4
	Bajo peso	3
	Fácil montaje	2
	Mantenimiento simple	3
	Fácil manejo	2
	Fácil rediseño	2
Requerimiento de costo	Bajo costo para adquisición	4
	Bajo costo mantenimiento	3
Requerimientos de seguridad	Segura para operar	5
	Segura para mantenimiento	3
Requerimientos ambientales	No use combustibles fósiles	4

Fuente: Autores

La tabla 2-2 muestra los resultados del proceso de categorización de los requerimientos, así como la valoración asignada en función del grado de importancia que tiene dicho factor para el cliente, por ende, para el diseño de la solución. Los factores de mayor peso corresponden a los requerimientos del proceso, dentro de los cuales encontramos el mezclado a un solo paso, proceso homogéneo, capacidad de producción, entre otros factores ponderados con 5. El de menor ponderación se relaciona al bajo costo de mantenimiento que debe considerar el prototipo diseñado.

2.3.3. Identificación de competidores

Este ítem tiene como fin identificar y describir las principales características que tienen los competidores (tabla 2-3) fabricantes de equipos mezcladores de arcilla a nivel comercial, frente a los requerimientos del fabricante de ladrillos Tito para la fabricación de ladrillos cerámicos artesanales.

Tabla 2-3 . Caracterización de los competidores.

Características	Fábrica Tito	Competidor 1	Competidor 2
Proceso	Mezclado en un solo paso Proceso homogéneo Mezcla 300 kg / hr	Mezclado en dos pasos Proceso homogéneo Productividad mayor a 500 Kg/hr	Mezclado según fórmula de fabricación Proceso homogéneo Productividad mayor a 500 Kg/hr
Fabricación	Bajo peso Fácil montaje Mantenimiento simple Fácil manejo	> 600 Kg Requiere Mano de Obra Calificada Mantenimiento programado Requiere de un mayor conocimiento técnico	> 450 Kg Requiere Mano de Obra Calificada Mantenimiento programado Requiere de un mayor conocimiento técnico
Requerimiento de costo	Fácil rediseño Bajo costo para adquisición Bajo costo mantenimiento Bajo costo montaje	Complejo proceso de rediseño, variantes de adaptación > 20 Millones de pesos < 1 millón de pesos < a 600 mil pesos	Complejo proceso de rediseño, variantes de adaptación > 20 Millones de pesos < 1 millón de pesos Viene incluido
Requerimientos seguridad	Segura para operar Segura para mantenimiento No use	Dispositivos de paro de emergencia y automático	Dispositivos de paro de emergencia y automático
Requerimientos ambientales	combustibles fósiles	Motor eléctrico	motor eléctrico

Nota. En la tabla 2-3 se aprecian las principales características de los competidores en función del costo, de aspectos de seguridad, ambientales, de fabricación y funcionales. Fuente: autores.

Al comparar los resultados descritos a partir de los requerimientos del cliente y los competidores mediante las tendencias actuales, se puede encontrar grandes diferencias en cuanto a estas necesidades, entre las cuales se encuentran la capacidad de producción; ya que tanto el competidor 1 y el competidor 2 están diseñadas para altos volúmenes de producto terminado, los cuales responden a demandas del mercado en función de negocios de grandes superficies. Lo contrario se presenta cuando el productor es de tipo local, ya que aquí la demanda es menor casi que respondiendo a un comportamiento sobre pedido en donde se presentan tiempos muertos de producción. Esto hace onerosa la inversión, ya que se fabrican cantidades menores a 200 kg, lo que indica que tienen un porcentaje de uso menor a 20 % de su capacidad teórica, lo que la hace sobre dimensionada.

Otro aspecto es el mantenimiento, ya que estos equipos requieren de un gran soporte debido a una cantidad considerable de mecanismos, sistemas eléctricos y electrónicos que demandan mano de obra calificada, lo que lleva a que en las necesidades de diseño se contemple una máquina que use herramientas sencillas al alcance de la mano para el productor. Esto implica no contratar personal especializado o comprar equipos especializados para su reparación, siendo esto otra forma de incrementar los costos.

No obstante, el proceso de manejo de esta puede requerir un mayor esfuerzo para el productor en equipos ofrecidos por C1 y C2. Sin apartar uno de los aspectos de mayor visibilidad, como el costo de adquisición, el cual es elevado para un fabricante local de fabricación sobre pedido.

Según lo anterior con los elementos identificados, analizados y descritos se realiza el despliegue de la matriz de calidad a partir de la ponderación de los requerimientos mediante análisis de Pareto, como se indica a continuación.

2.3.4. Análisis de Pareto en función de requerimientos del cliente

Para definir el peso ponderado de los factores empleados en la matriz QFD para selección del prototipo se tuvieron en cuenta las siguientes valoraciones producto de las entrevistas a nueve fabricantes de ladrillos de arcilla (tabla 2-4).

Tabla 2-4. Determinación de pesos ponderados para matriz QFD.

Términos del focus group	Características de calidad	ENTREVISTADOS										TOTAL	PORCENTAJE (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Mezclado en un solo paso	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50	10%
Proceso homogéneo	2	5	4	4	3	4	4	4	3	4	4	39	8%
Capacidad producción	3	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	48	10%
Bajo peso	4	2	3	3	4	3	3	2	4	1	4	29	6%
Fácil montaje	5	4	4	4	3	2	4	4	4	5	3	37	7%
Mantenimiento simple	6	4	5	4	4	4	5	4	3	4	4	41	8%
Fácil manejo	7	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	44	9%
Fácil rediseño	8	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	32	6%
Bajo costo para adquisición	9	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40	8%
Bajo costo mantenimiento	10	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	38	8%
Segura para operar	11	3	4	4	5	4	3	4	5	5	4	41	8%
Segura para mantenimiento	12	2	2	3	3	3	2	3	3	3	3	27	5%
No use combustibles fósiles	13	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	39	8%

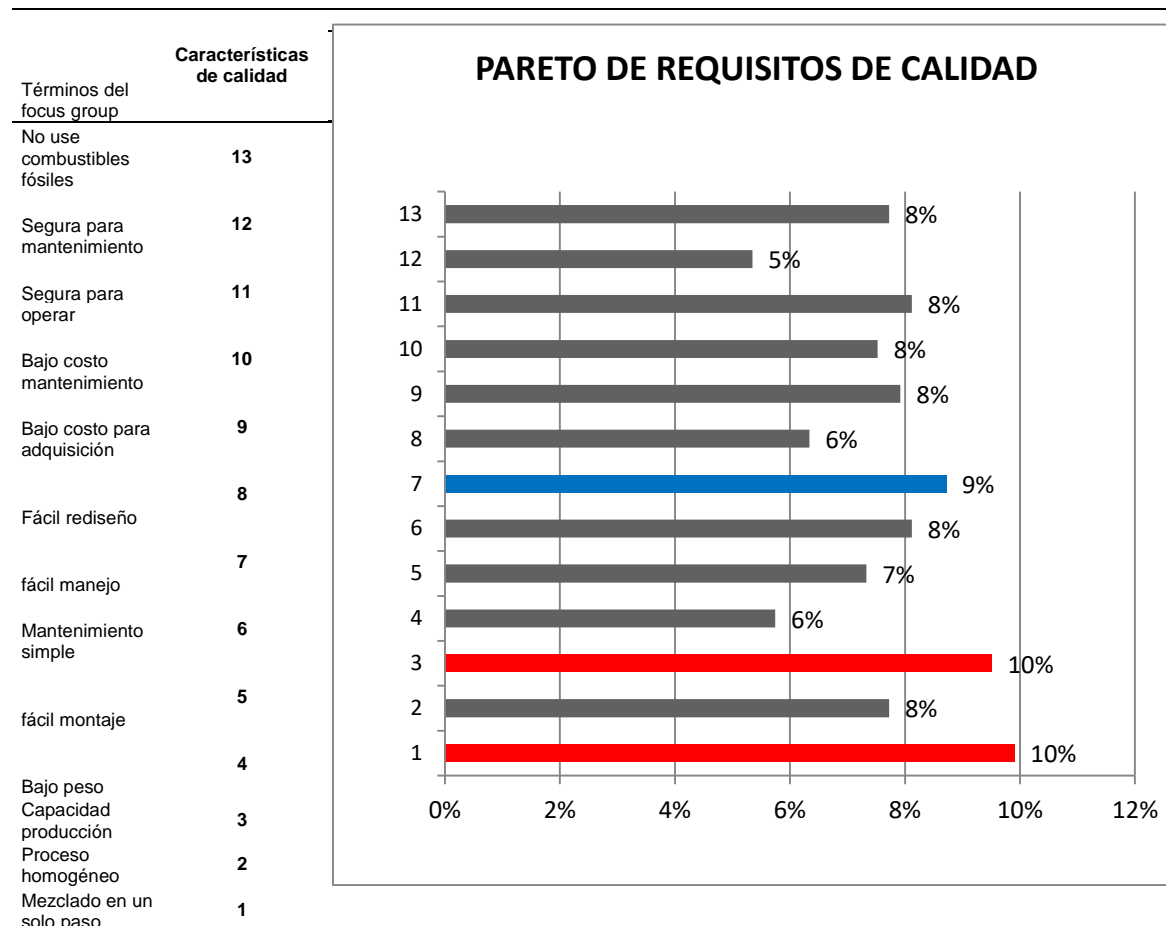
Nota. En la tabla 2-4 se presenta la estructura base para construcción de la matriz QFD, la cual parte de la identificación de términos claves para el diseño del focus group y la correspondiente frecuencia de distribución en función de los entrevistados. Fuente: autores.

De la tabla 2-4, se observa en la columna de porcentaje los valores de los pesos como resultado de cruzar cada factor sobre el total de la puntuación alcanzada. Estos valores van a la matriz de despliegue QFD presentada en el numeral 2.3.5 que corresponde al despliegue de calidad. De la matriz se puede indicar que las variables de mayor incidencia en la selección del concepto se asocian al método de mezclado (10 %), capacidad de producción, facilidad de operación (9 %), seguidos de homogeneidad del proceso, mantenimiento y costo de este y de adquisición, seguridad e impacto ambiental, todas estas con el 8 %.

Se identificaron un total de 13 factores, los cuales se grafican mediante el diagrama de Pareto, y los cuales se relacionan en la tabla 2-5.

La tabla 2-5 presentada a continuación muestra el Pareto de los factores ponderados para su mejor comprensión.

Tabla 2-5. Pareto requisitos de calidad.

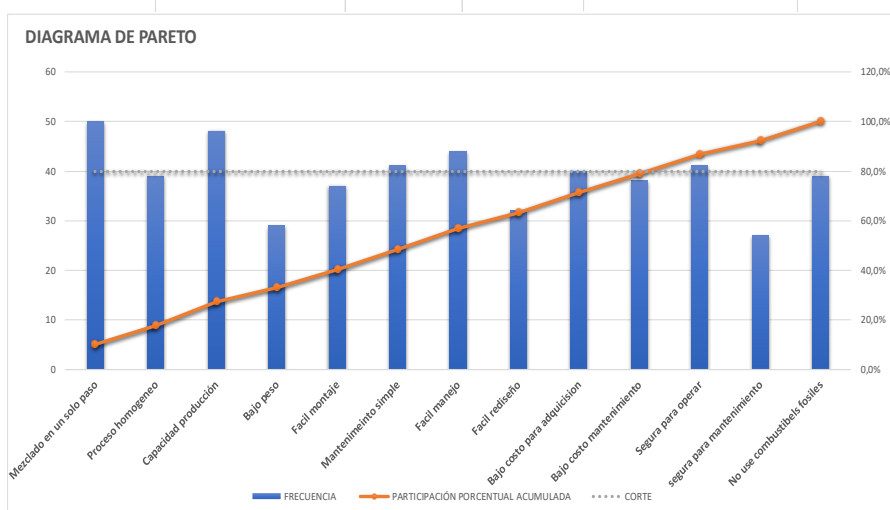


Nota. En la tabla 2-5 se muestra los pesos de los términos del focus group manifestados por el grupo de 10 fabricantes entrevistado. Fuente: autores.

Como se indicó, el factor relevante corresponde a las características de calidad, de las cuales se identifican a partir de la posición real 1, 3 y 7, cuyos porcentajes son 10 %, 10 % y 9 % respectivamente, como se indica a continuación.

Tabla 2-6. Ranking y análisis de Pareto.

INCIDENCIA	FRECUENCIA	RANKING	POSICIÓN REAL	INCIDENCIA ORDENADA	FRECUENCIA	PARTICIPACIÓN PORCENTUAL
Mezclado en un solo paso	50	1	1	Mezclado en un solo paso	50	10%
Proceso homogéneo	39	7	2	Proceso homogéneo	39	8%
Capacidad producción	48	2	3	Capacidad producción	48	10%
Bajo peso	29	12	4	Bajo peso	29	6%
Facil montaje	37	10	5	Facil montaje	37	7%
Mantenimiento simple	41	4	6	Mantenimiento simple	41	8%
Facil manejo	44	3	7	Facil manejo	44	9%
Facil rediseño	32	11	8	Facil rediseño	32	6%
Bajo costo para adquisición	40	6	9	Bajo costo para adquisición	40	8%
Bajo costo mantenimiento	38	9	10	Bajo costo mantenimiento	38	8%
Segura para operar	41	5	11	Segura para operar	41	8%
segura para mantenimiento	27	13	12	segura para mantenimiento	27	5%
No use combustibles fosiles	39	8	13	No use combustibles fosiles	39	8%



Nota. En la tabla 2-6 se observa la distribución del ranking de los factores de mayor incidencia y el Pareto.

2.3.5. Despliegue de la matriz QFD

La matriz de despliegue de la calidad tiene como fin relacionar los requerimientos del cliente para evaluar las opciones de prototipos propuestos. En la columna izquierda de la tabla 2-7, se colocan los requisitos y sus pesos (calidad nivel 1, calidad nivel 2, peso ponderado), en la columna del centro los parámetros técnicos contemplados con sus respectivos pesos (1, 2, 3, 4, 5 y 6) y en la columna a mano derecha (P1, C1, C2), las alternativas de solución conceptual.

1. Sección A: Comprende las columnas de requisitos de calidad nivel 1, los cuales son 5 grupos que comprenden requerimientos de tipo funcional, fabricación, costo, seguridad y ambiente; seguido de la columna (**No**) la cual corresponde a un ordenamiento establecido para indicar el número de requisito de calidad nivel 2 según el grupo del nivel 1. Seguidamente la columna de peso ponderado que corresponde a los pesos en valor absoluto de los porcentajes del diagrama de Pareto.
2. Sección B: A esta sección pertenecen las columnas numeradas de la 1 a la 7, las cuales representan un parámetro técnico de evaluación. Los porcentajes colocados debajo de cada numeral corresponden a la ponderación que resulta de multiplicar el peso ponderado por la valoración realizada, la cual emplea un criterio de relación de necesidades versus procesos. Esta relación comprende una escala que va de 9 (relación fuerte), 3 (relación media), 1 (relación ligera) y 0 (no hay relación). Aquí, al asignar cualquiera de las calificaciones, este valor se multiplica por el peso ponderado de la sección A.
3. Sección C: Se presentan los resultados de multiplicar los pesos ponderados obtenidos en la tabla 2-4 por las alternativas.

Tabla 2-7. Matriz QFD.

Sección A			Sección B: Parámetros de Técnicos											
			1	2	3	4	5	6						
			16,9%	22,8%	18,1%	6,9%	16,6%	18,7%						
Requisitos de Calidad Nivel 1	No	Requisitos del Calidad Nivel 2	Peso Ponderado	Costo	Mezclado	Mantenimiento	Alimentación	Seguridad	Ambiental	Peso Ponderado	P1	C1	C2	
Funcional	1	Mezclado en un solo paso	0,10	1	9		1			0,10	4,00	3,00	3,75	
	2	Proceso homogéneo	0,08	1	9		1	9	1	0,08	4,00	4,00	3,00	
	3	Capacidad producción	0,10	1	9					0,10	4,00	4,00	1,65	
Fabricación	4	Bajo peso	0,06	1						0,06	5,00	4,00	3,00	
	5	Fácil montaje	0,07	1	9	9	1	9	3	0,07	5,00	5,00	4,00	
	6	Mantenimiento simple	0,08		1	9			9	0,08	4,00	4,00	3,00	
	7	Fácil manejo	0,09		1	1				0,09	5,00	5,00	3,10	
	8	Fácil rediseño	0,06	9	1	9	9		9	0,06	4,00	4,00	4,00	
Costo	9	Bajo costo para adquisición	0,08	9						0,08	5,00	5,00	3,20	
	10	Bajo costo mantenimiento	0,08	9	1	9	3		9	0,08	4,86	4,94	3,50	
Seguridad	11	Segura para operar	0,08	1	1			9		0,08	4,94	5,08	3,56	
	12	Segura para mantenimiento	0,05	3	1	3	1	9		0,05	4,00	5,21	3,62	
Ambiental	13	No use combustibles fósiles	0,08	1	1			1	9	0,08	5,00	5,34	3,68	
				Costo	Mezclado	Mantenimiento	Alimentación	Seguridad	Ambiental					
				Importancia técnica absoluta y relativa	2,7	3,6	2,9	1,1	2,6	3,0	1,000	4,52	4,47	3,28
				Unidades	Nivel del 1 al 5	Nivel del 1 al 5	Nivel del 1 al 5	Nivel del 1 al 5	Nivel del 1 al 5	Nivel del 1 al 5				
				Dirección de Mejora	Menor es mejor	Mayor es mejor	Menor es mejor	Menor es mejor	Mayor es mejor	Mayor es mejor				
				Nuestro nivel	40	5	nd	nd	5	8				
				C1	nd	4	nd	nd	4	8				
				C2	nd	5	nd	nd	5	8				
				Objetivo de PTs	35	4	1	2	5	8				
				Dificultad	0%	70%	30%	40%	80%	0%				

Nota. En la tabla 2-7 se presenta la estructura base de una matriz de despliegue de calidad QFD.

Fuente: autores.

Se observa en la tabla 2-7 que ingresados los criterios de selección a nivel de calidad en torno a los requerimientos del cliente, los parámetros técnicos aplicados comprenden la siguiente escala de valoración: Fuerte:9, Media: 3, Ligera: 1, No hay:1.

Según lo anteriormente descrito, al ponderar se obtiene que la opción seleccionada comprende la propuesta de diseño **P1**, la cual obtuvo la mayor ponderación con base a los requisitos de calidad y cuyo valor fue de 4,52.

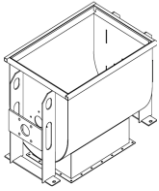

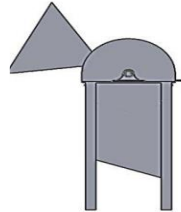
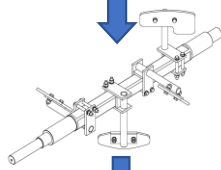


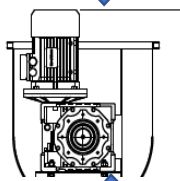



Seguidamente se procede a plantear el análisis morfológico, en la cual se seleccionan los principales componentes en función de los prototipos planteados y que son presentados mediante una matriz de elementos o partes claves necesarias para el desarrollo del proyecto. En este punto, es importante establecer relaciones de proceso a partir de secuencias de este, esto es la representación secuencial de la lógica del proceso con sus respectivos componentes desarrollados como se indica en la tabla 2-8.

2.4.Matriz morfológica

La matriz morfológica para el caso del diseño propuesto a partir de la matriz QFD presenta las variantes de solución más factibles, basadas en los conceptos de ingeniería asociados a los requerimientos del cliente. Estos se usarán en el proceso de diseño conceptual de la mezcladora de arcilla para la fábrica Tito. Se expresa por medio del análisis primario, el cual muestra con líneas entrecortadas la selección de la variante final para la propuesta de diseño adoptada en esta investigación.

En la tabla 2-8 presentada a continuación, se muestra una matriz morfológica, la cual se compone de cuatro columnas distribuidas en criterios ingeniería, es decir los procesos claves de la solución. La propuesta 1, 2 y 3, las cuales mediante un análisis vertical se relacionan con cada etapa del proceso.

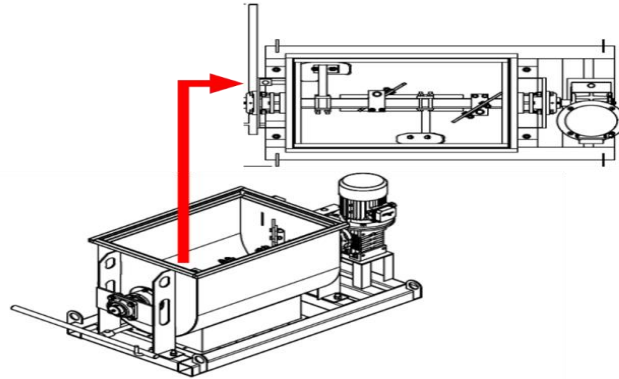
Tabla 2-8. Matriz morfológica.

Criterios ingeniería	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
Alimentación			
Mezclado			
Fuente de alimentación			
Operación			

Nota. En la tabla 2-8 se indica la estructura base de una matriz morfológica mediante proceso de comparación visual. Fuente: autores.

Según los prototipos establecidos y de acuerdo con el análisis de QFD, la propuesta 1 es el diseño conceptual de mayor proximidad operacional y de interpretación de requerimientos, siendo el más ajustado a los criterios establecidos, ya que este considera aspectos como capacidad, proceso a un solo paso, seguridad de operación, sistema de mezclado sencillo, según lo anterior se tiene a nivel de diseño la siguiente propuesta.

Figura 2-2. Prototipo seleccionado.



Fuente: Autores.

La figura 2-2 muestra la mezcladora resultante de la aplicación de la metodología de diseño conceptual empleada para la solución de la problemática existente y la cual se presenta en detalle en los anexos del 1 a 11.

Del capítulo 2 se puede indicar que, en el diseño conceptual, es fundamental comprender a nivel de detalle la problemática analizada, a su vez, de identificar las necesidades reales de las personas. Este proceso validado por el trabajo de campo permite dimensionar de forma correcta la comprensión del tema.

Una vez se tienen los requerimientos se deben ponderar estos y mediante un diagrama de Pareto identificar los factores de mayor ponderación con el fin de validar su aprobación y análisis. Seguidamente estos valores se cargan a la matriz de QFD, en donde se cruzan dichos requerimientos con las soluciones propuestas con miras a poder seleccionar la de mayor ponderación.

El diseño conceptual tiene como ventajas el desarrollo de soluciones de manera sistemática, lo cual disminuye el sesgo en la concepción de la solución.

Ahora bien, ya con el diseño establecido se procede a realizar los cálculos y ajuste en el diseño como se indica en el capítulo presentado a continuación.

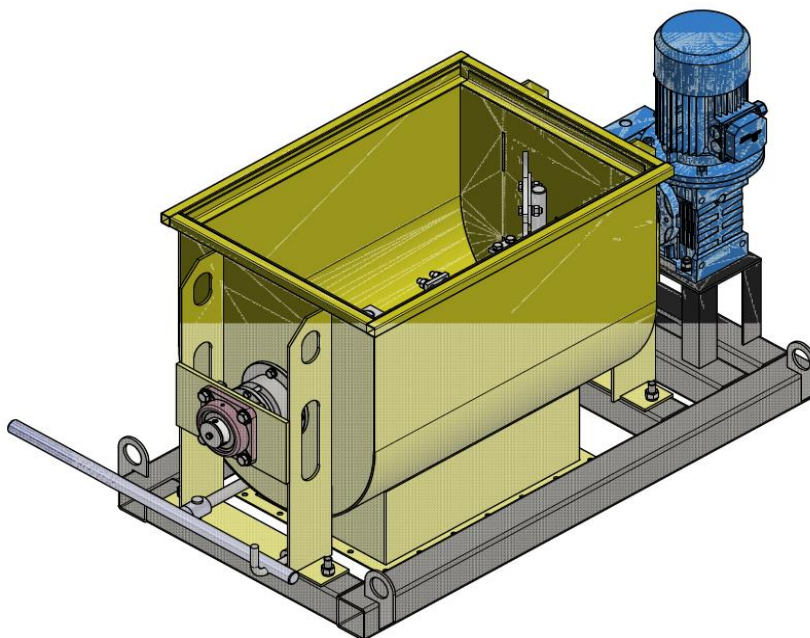
3. Capítulo 3: Diseño y cálculos de la máquina mezcladora de ladrillo de arcilla

En el capítulo 3 se presenta el diseño seleccionado y los cálculos correspondientes como lo es la potencia, ejes y sistemas de transmisión de potencia empleados en el prototipo de máquina mezcladora. El método empleado para el cálculo del eje en el numeral 3.2. incluye un análisis de cuerpo rígido, el cual busca identificar a partir de un diagrama de cuerpo libre, las fuerzas, incluidos los pares que actúan sobre él para mantener el estado de equilibrio.

3.1. Diseño del prototipo

De acuerdo con el proceso de selección del prototipo a partir de la encuesta, la matriz QFD, matriz morfológica, el diseño seleccionado se aprecia en la figura 3-1.

Figura 3-1. Prototipo de máquina mezcladora a un paso para la fábrica Tito del municipio de La Plata (Huila).



Nota. Se observa en la figura 3-1 un diseño rectangular con sistema de alimentación vertical.

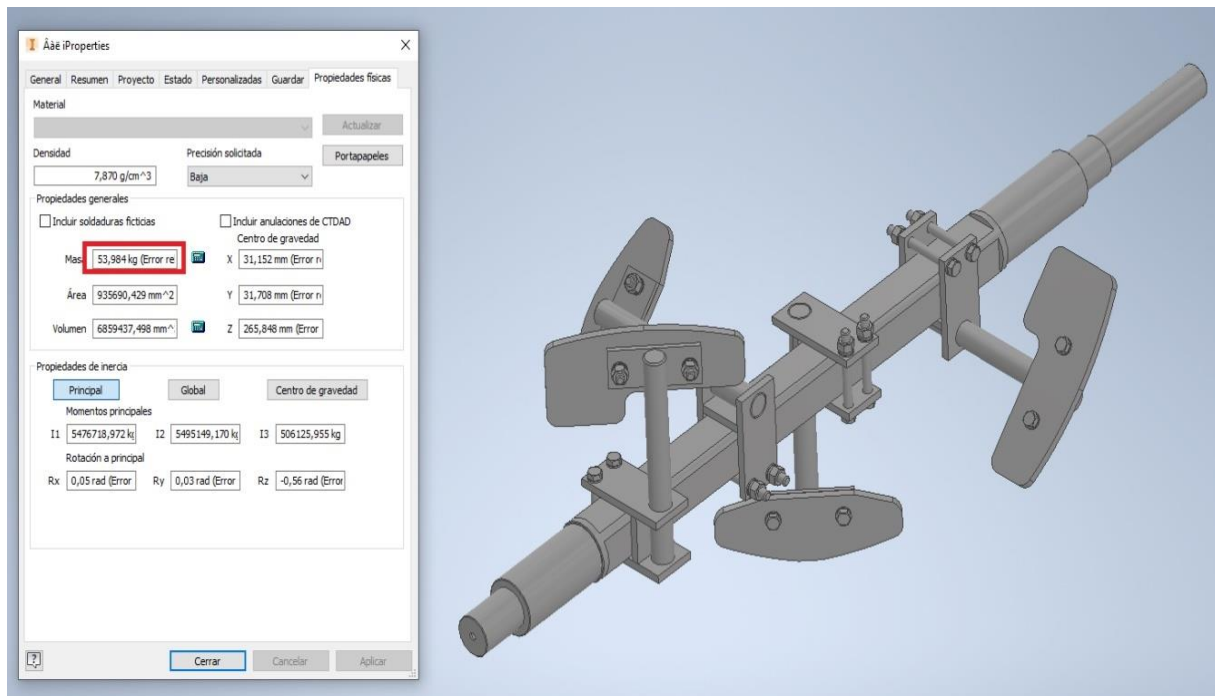
Fuente: Autores.

La figura 3-1 corresponde a un prototipo de máquina mezcladora compuesta por un sistema de alimentación vertical, el cual emplea un sistema de mezclador accionado por un eje-motor, un monochasis sobre el cual descansa el motor y la tolva de alimentación. El proceso de mezclado como se indicó, lo realiza un agitador tipo cuchara, el cual es accionado por un eje, el cual se encuentra acoplado a un rodamiento 6005R, que corresponde a un rodamiento de alta resistencia mecánica.

3.2. Inercia Del Sistema

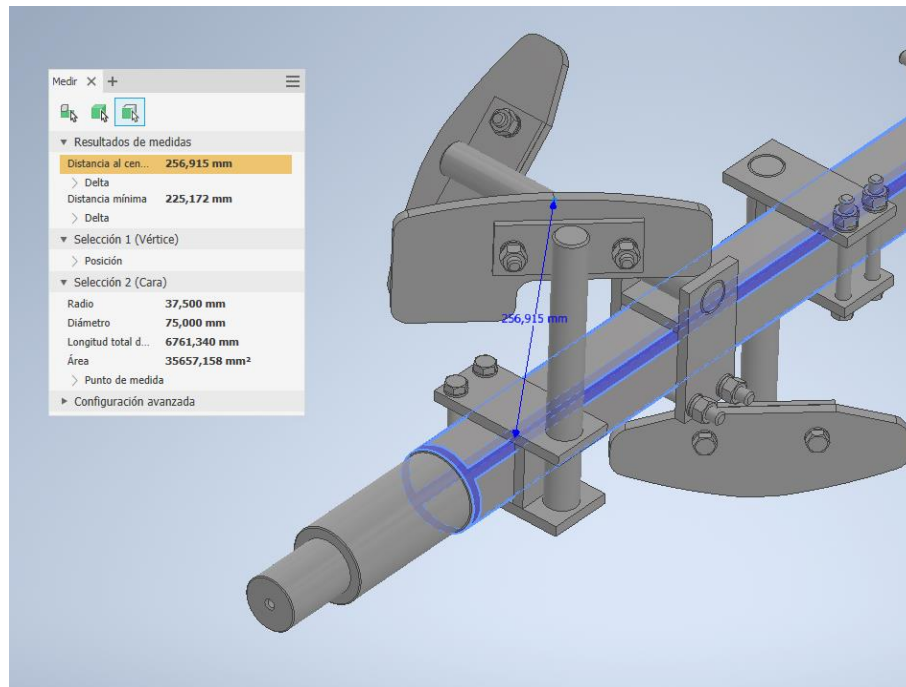
Para su cálculo, esta se obtiene a partir del valor del eje en función a su diámetro y longitud, y la masa de sus aspas del mezclador.; según lo anterior se tiene:

Figura 3-2. Cargue datos entrada para cálculo de inercia del sistema



Nota. se muestra en la figura 3-2 los datos de entrada para cálculo de inercia, tomando como referencia la masa del conjunto mezclador la cual es de 55.98 Kg.

Figura 3-3. Definición datos de distancia al centro del mezclador.



Nota. Se observa en la figura 3-2 los datos de entrada para cálculo de inercia del sistema

El radio del eje es de 256.9 mm, lo cual equivale a 0.256m; según lo anterior al emplear la ecuación (3.4) se tiene:

Entonces procedemos a remplazar valor en la ecuación (3.4), se tiene:

$$I = \frac{1}{2} m \cdot r^2 \quad (3.4)$$

$$I = \frac{1}{2} 55.98 \text{Kg} \cdot 0.256 \text{m}^2$$

$$I = 1.83 \text{Kg} \cdot \text{m}^2$$

Al despejar el torque, a partir de la expresión

$$t = I * \alpha$$

Donde α = velocidad angular en radianes

$$t = 1.87 \text{Kg} \cdot \text{m}^2 * 4,18879 \text{rad/s}^2$$

$$t = 7.83 \text{ Kg, m}$$

Se calcula la potencia en función a la inercia del elemento

$$W_{\text{inercia del conjunto}} = \frac{7.83 \text{ kg, m} * 45 \text{ rpm}}{716} = 0.49 \text{ hp}$$

Al realizar la suma de ambas potencias, para despejar la potencia de trabajo tentativa, se tiene:

$$W_{\text{tentativa}} = P + W_{\text{inercia del conjunto}}$$

$$W_{\text{tentativa}} = 1.1763 + 0.49 = 1.67 \text{ HP}$$

3.3.Cálculo del eje por esfuerzos máximos y torsión.

Elemento fundamental para el proceso de mezcla, su función es la de llevar la fuerza aplicada al mezclador para realizar el movimiento sobre la superficie de trabajo. De acuerdo con Molt, se debe calcular el par generado por el motor y la transmisión (Molt, 1992), para lo cual sugiere el uso de la ecuación (3.5).

$$T = \frac{HP * 716}{n} * i \quad (3.5)$$

De donde:

T= torque generado par motor.

HP= Potencia del motor

n= número de revoluciones por minuto del motor

i= relación de transmisión

De donde al reemplazar estos valores se tiene:

$$T = \frac{1.67 \text{ HP} * 716}{1800} * 40 = 26.57 \text{ Kg. m} \quad (3.5)$$

La capacidad esperada y definida para la mezcladora se estableció según los requerimientos del cliente de la tabla 2-3, la cual es de 300 kg, valor con el cual se estima que va a trabajar. Según lo anterior, este volumen va a generar un esfuerzo sobre las 4 paletas, es decir que va a trabajar con los 300 Kg netos.

La longitud de cada aspa es de 0,257 m, por lo que al calcular el torque se emplea la ecuación (3.6) sugerida por Molt.

$$T = F * D \quad (3.6)$$

De donde

T= torque del aspa (Kg.m)

F= fuerza o peso de la mezcla a procesar (Kg)

Distancia: longitud del aspa, lo cual al reemplazar se tiene:

$$T_p = 300 \text{ kg} * 0.257 \text{ m} = 77.1 \text{ Kg m}$$

Según lo anterior, el torque producido por el motor es inferior al que genera la carga de arcilla sobre las espas del mezclador. Por lo tanto, se debe obtener una potencia que genere un torque superior al calculado por número de Reynolds y superior al torque generado a plena carga estática. Para ello, Molt sugiere despejar de la ecuación (3.4) la variable $hp=W$, la cual al reemplazar se define:

$$W = \frac{77.1 \text{ kg, m} * 45 \text{ rpm}}{716 * 0.65} = 7.45 \text{ hp}$$

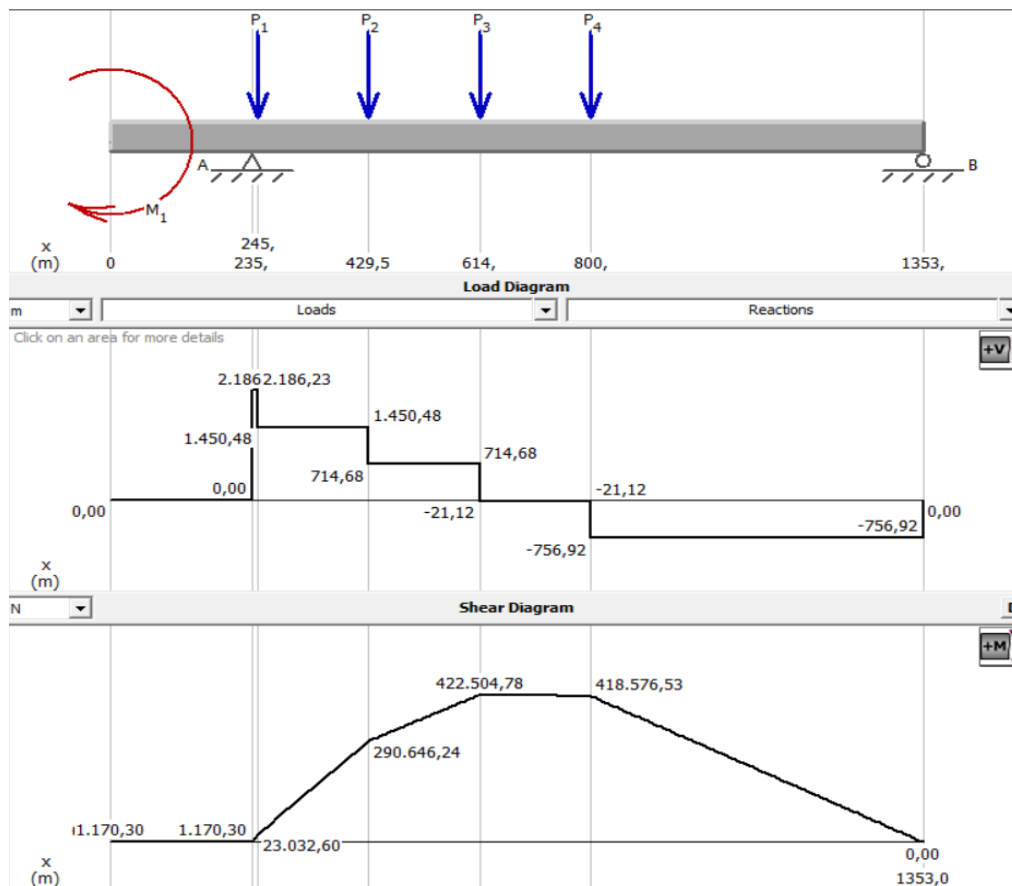
Debido a que a nivel comercial, es decir, que no se consiguen proveedores de este valor de potencia resultante, se opta por seleccionar un motor de 7.5 hp con una transmisión sinfín corona relación 40:1, ya que nos permite obtener la potencia necesaria para generar el torque para realizar la mezcla de 300 Kg. Según lo anterior, se recalcula el torque generado

con la nueva potencia a partir de la ecuación (3.6), a partir de los siguientes valores, dando como resultado lo expresado a continuación.

$$T = \frac{7.5 \text{ HP} * 716}{1800} * 40 = 119.3 \text{ Kg.m}$$

Identificado el torque, se debe indicar que las cargas se distribuyen a lo largo del eje de las 4 aspas, por lo tanto, se divide la carga de mezclado, la cual es de 300 Kg en 4, y se procede a representar gráficamente mediante un diagrama de cuerpo libre como se indica en la figura 3-4.

Figura 3-4. Diagrama de cuerpo libre del eje de la mezcladora de arcilla.



Nota. La figura 3-4 Diagrama de cuerpo libre del eje que describe la acción de los torques que inciden en el eje, así como la carga que actúa sobre el mismo.

Al despejar el momento equivalente de la ecuación (3.6) sugerida por Molt, se tiene:

$$M_e = \sqrt{Mt^2 + Mf^2} \quad (3.6)$$

De donde:

M_e = Momento equivalente

Mt = Momento en t

Mf = Momento en f

Al despejar el momento equivalente se obtiene

$$M_e = \sqrt{(1170.33 \text{ N}, mm)^2 + (422504.78 \text{ mm})^2}$$

$$M_e = 422506.4 \text{ N}, mm = 43068 \text{ Kg}. mm$$

Al despejar el diámetro del eje, el material es acero AISI SAE 1045 $\sigma = 28 \text{ Kg}/mm^2$

Donde:

n = *factor de seguridad*

S_y = *esfuerzo corregido del material*

$$S_y = \sigma * 0.35$$

$$S_y = 28 \text{ Kg}. mm^2 * 0.35 = 9.8 \text{ Kg}. mm^2$$

Para determinar el diámetro mínimo del eje, se procede a usar la ecuación sugerida por Molt para el cálculo del diámetro, el cual está dado por la ecuación (3.7)

$$d = \left[\frac{32 \cdot n}{\pi * S_y} * M_e \right]^{1/3} \quad (3.7)$$

De donde

d = Diámetro del eje

M_e = Momento equivalente

S_y = *Esfuerzo corregido del material*

π = constante Pi = 3,1416

$n = \text{factor de seguridad}$, los cuales al reemplazar dan como resultado

$$d = \left[\frac{32 * 2}{\pi * 9.8 \text{ Kg. mm}^2} * 43068.7 \text{ Kg. mm} \right]^{1/3}$$

$$d = 44.73 \text{ mm}$$

A nivel comercial no se tienen diámetros de 44,73 mm para configuraciones geométricas, por lo que se debe aproximar dicho valor con respecto a rodamientos de tipo comercial lo cual facilita su adquisición. De acuerdo con lo anterior, este valor ajustado es el valor más próximo que se puede adquirir; un valor más alto de diámetro implica un cambio de la configuración en el eje; para ajustar a medidas de rodamientos utilizamos un diámetro de 50 mm.

$$d \approx 50 \text{ mm}$$

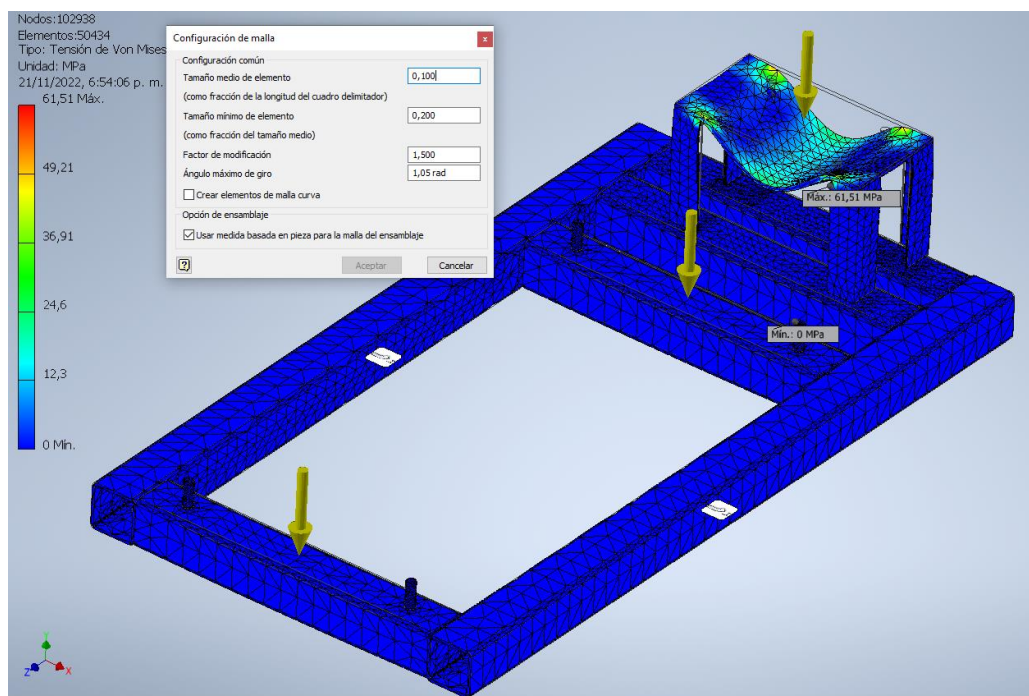
Como se indicó, este valor permite realizar el trabajo con la actual configuración del eje sin necesidad de hacer modificaciones. Otro aspecto corresponde a que su desempeño no se verá afectado por efectos de fatiga o esfuerzos máximos.

3.4. Análisis por Elementos finitos (FEM) del chasis

3.4.1. Sensibilidad de Malla

De acuerdo con los datos de entrada la malla presenta una sensibilidad de 0.1 mm

Figura 3-5. Análisis de sensibilidad de la malla



Nota. la figura 3-5 presentada indica los valores resultantes del análisis de sensibilidad

El esfuerzo máximo apreciado para calcular fatiga es de 61.51 MPa.

3.4.2. Análisis de tensión del chasis

Para realizar el análisis por elementos finitos, se parte de la estructura base como es el chasis. Esta se encuentra sometida a una carga de elementos de 270 Kg y una carga útil de producto máximade 300 Kg,

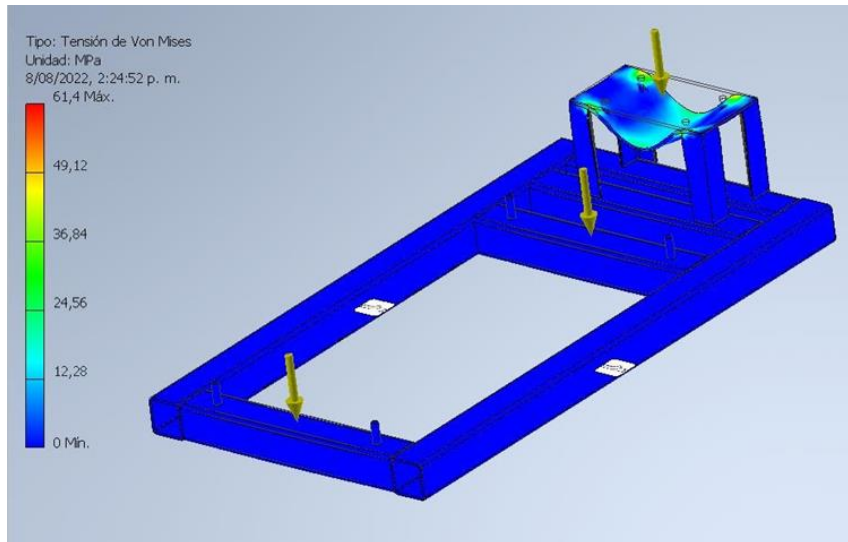
$$Ct = \text{Carga util} + \text{Carga elementos}$$

$$Ct = 300 \text{ kg} + 270 \text{ Kg} = 570 \text{ KG}$$

Estas cargas son sumadas y aplicadas en la estructura, mostradas en color amarillo y las restricciones están en la parte inferior del chasis. Las cargas de diseño están establecidas bajo nuestro criterio de diseño para cumplir los requerimientos del cliente. Al aplicar estas cargas sobre los perfiles, los cuales reciben el peso total generado, corresponden al soporte de la transmisión y el soporte de la mezcladora. Los resultados de análisis bajo esfuerzo

indican lo siguiente.

Figura 3-6. Análisis y valores máximos de tensión en chasis mezcladora.



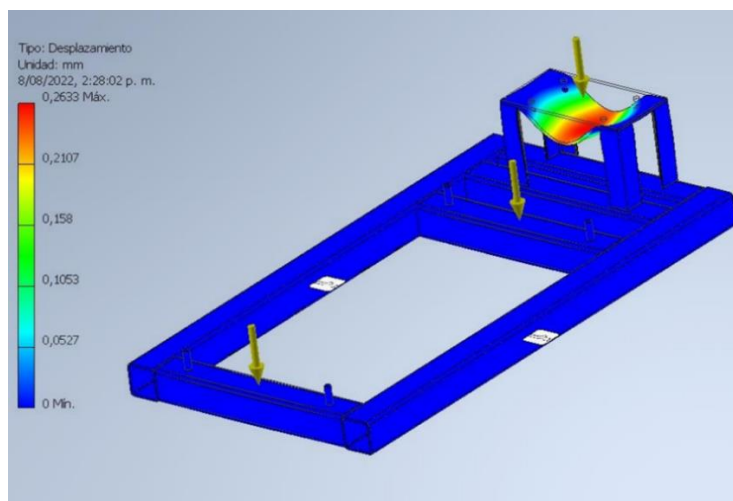
Elaboración Propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020.

Según los resultados de la figura 3-6, el esfuerzo máximo registrado en la estructura es de 61.4 MPa, el cual se identifica mediante tonalidad en rojo y se concentra en los agujeros de fijación de la transmisión. Se observa un buen comportamiento del material en cuanto a la tensión aplicada, evidenciado por el color azul lo largo de la propia estructura, por lo tanto, se concluye que el elemento no presentará fracturación para su uso operacional de acuerdo con las máximas cargas a las que se someterá.

3.4.3. Análisis de desplazamiento del chasis

El análisis de desplazamiento permite identificar que tanto se desplaza el material cuando es sometido a una carga máxima. Según lo anterior, los resultados obtenidos a partir de ello se indican en la figura 3-7.

Figura 3-7. Análisis y valores máximos de desplazamiento en chasis mezcladora.



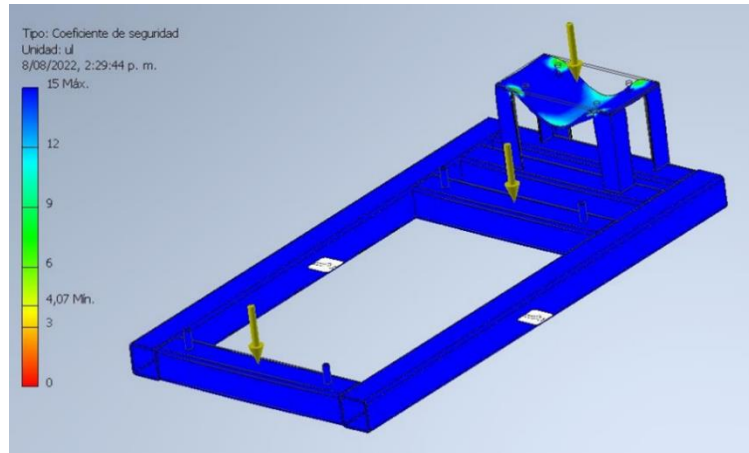
Elaboración Propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020.

En la figura 3-7 se observa que el desplazamiento máximo experimentado por la estructura es de 0,26 mm, y se concentra en el mismo punto donde se acopla la transmisión. Se puede inferir que el desplazamiento está en el orden de las 3 décimas de milímetro aproximadamente, las áreas azules indican zonas en donde no se presenta desplazamiento del material del cual está hecha la estructura. Solo a partir del cambio de color azul a verde se puede identificar una variación pequeña cuyo valor es de 0,1053 mm.

3.4.4. Análisis del coeficiente de seguridad

El factor de seguridad de la pieza se aprecia por encima de 4,07, lo cual quiere decir que soporta cuatro veces la carga a la que se está sometiendo. En conclusión, la estructura de la mezcladora cumple satisfactoriamente las condiciones de carga y puede desempeñar su trabajo de manera exitosa. Se garantiza la durabilidad de la estructura siempre y cuando tenga un buen esquema de uso y mantenimiento (limpieza y ajustes preventivos periódicos), alcanza una vida útil extendida.

Figura 3-8. Análisis y valores de factor de seguridad en chasis mezcladora.



Elaboración Propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020.

El factor de seguridad es de 4,07, valor por encima de 1, lo que nos indica que la estructura puede operarse satisfactoriamente para el trabajo para la que fue diseñada.

Se concluye de la figura 3-8 que el diseño presenta un buen margen de seguridad, ya que no se evidencia áreas rojas sobre el chasis del prototipo.

Del acuerdo con los cálculos realizados, se establece que al realizar los análisis de cargas estáticas mediante el método de Von Mises, se pudo determinar que al trabajar a máximo esfuerzo, este elemento no presenta ni deformaciones ni cizallamientos, ya que el factor de seguridad del dispositivo es de 4,07.

Para determinar el esfuerzo máximo por fatiga, multiplicamos el esfuerzo máximo de la estructura por el factor de seguridad.

$$\sigma_{fatiga} = 4.07 * 61.51 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{fatiga} = 246.27 \text{ MPa}$$

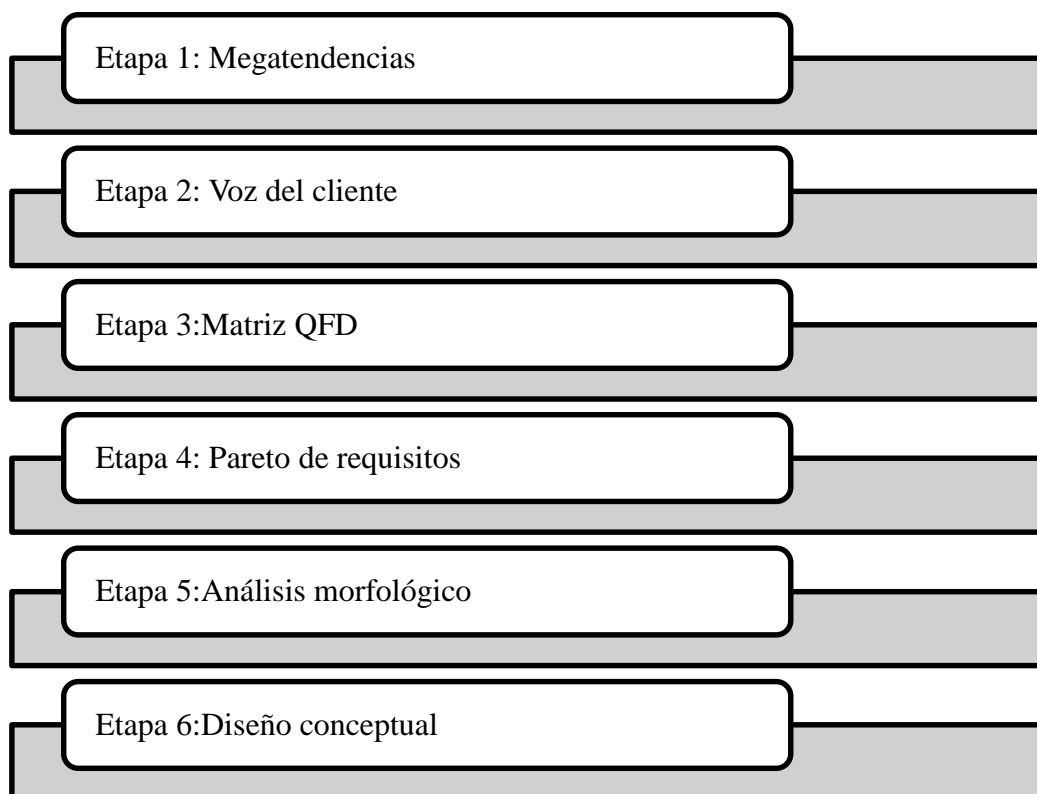
De igual forma los resultados obtenidos a nivel de tensión y desplazamiento están por debajo del máximo permisible, indicando que el prototipo cumple con gran holgura los límites máximos permisibles cuando actúa bajo estas cargas. Una vez evaluados los aspectos de desarrollo del concepto en función de los esfuerzos, los elementos como chasis, se procede a construir el método para el diseño de mezcladora de arcilla, como se indica a continuación en el capítulo 4.

4. Capítulo 4: Método para la fabricación de la máquina mezcladora

Según las herramientas teóricas empleadas para el diseño del prototipo, es importante indicar que a partir de estas, se propone el método para fabricación de la máquina mezcladora y la descripción de cada etapa en función de su composición.

El método usado para alcanzar este objetivo comprende seis etapas, las cuales se desarrollaron de forma secuencial, sistemática y basadas en los fundamentos teóricos de cada una de ellas, que conllevan a la arquitectura del modelo empleado en el diseño de una mezcladora de arcilla para la fabricación de Ladrillo Artesanal. Por lo que se tiene el siguiente esquema general (figura 4-1).

Figura 4-1. Método conceptual para fabricación de máquina mezcladora de arcilla

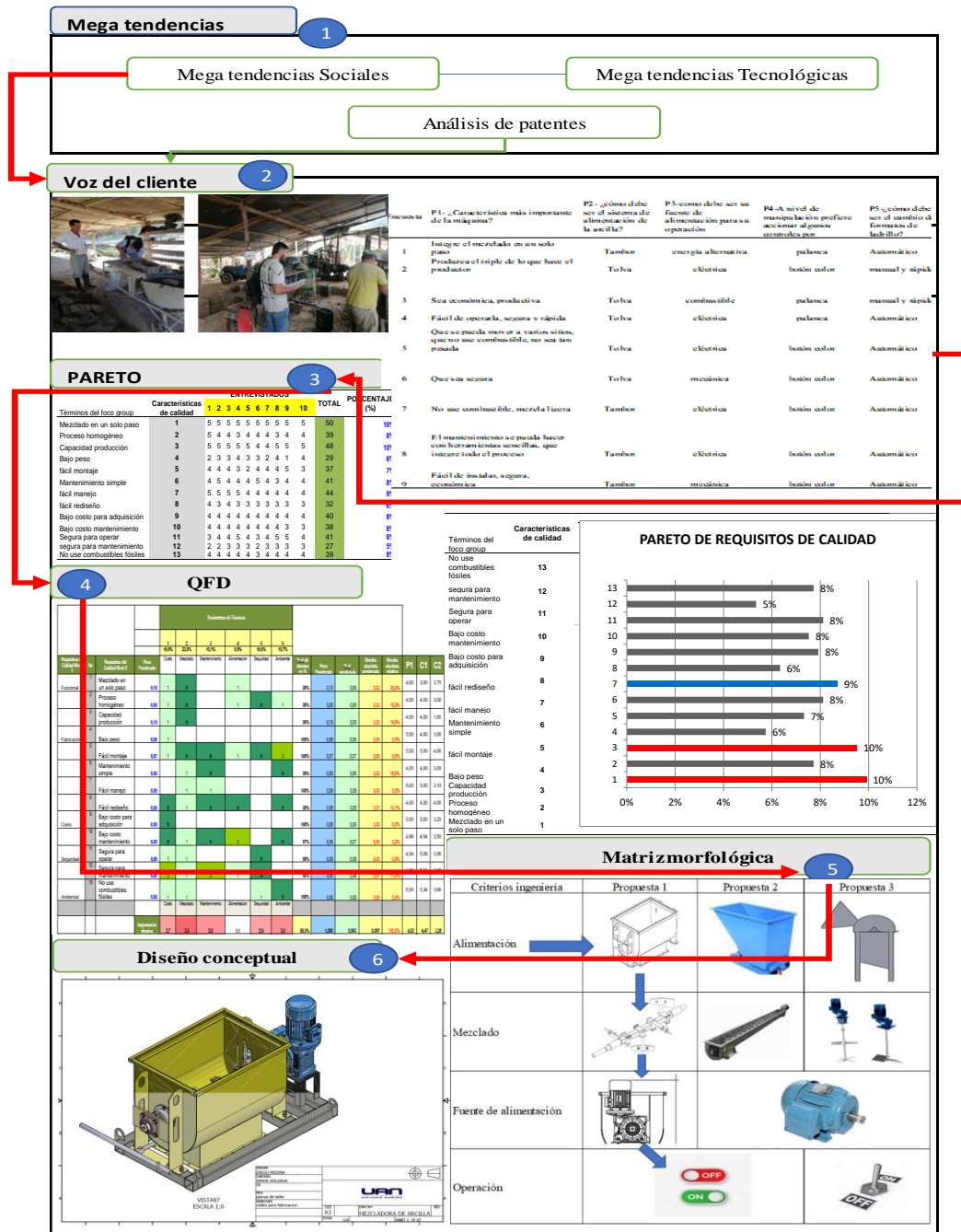


Nota. La figura 4-1 describe de forma secuencial el método para fabricación de una mezcladora de arcilla.

4.1. Estructura del método para fabricación de mezcladora de arcilla

Según lo anterior, la base del método empleado para el diseño de la máquina mezcladora se compone según lo expresado en la figura 4-2.

Figura 4-2. Estructura del método integrado para fabricación mezcladora de arcilla.



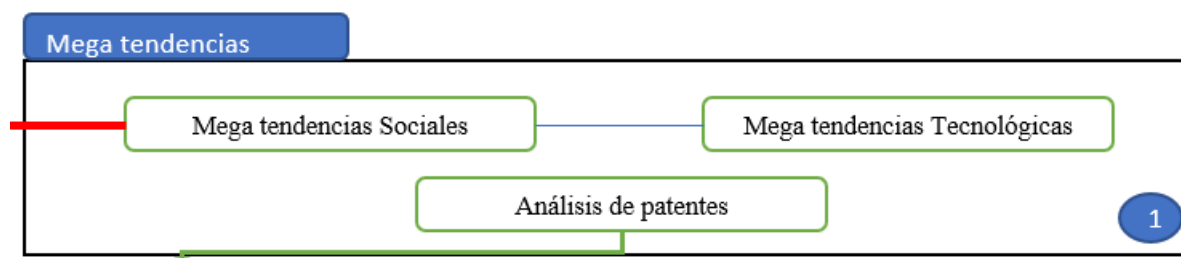
Nota. La figura 4-2 relaciona las 6 etapas claves en el diseño del método de fabricación de una mezcladora de arcilla.

4.1.1. *Etapa 1: Análisis de mega tendencias*

Constituye el paso inicial para la configuración del prototipo, tiene como alcance una investigación bibliográfica, descriptiva en la cual se analiza las tendencias actuales en función de la tecnología disponible, el estado del arte, patentes de prototipos similares o iguales al objetivo que se persigue. Esta fase es crucial para poder dimensionar el alcance del proyecto, así como los principales adelantos en materia de evolución tecnológica, lo que permite integrar o no buenas prácticas de diseño.

En esta etapa se identifican sistemas y componentes, así como características técnicas de los equipos patentados con el fin de poder establecer un alcance claro sobre la propuesta a desarrollar. A partir de las mega tendencias sociales se pueden identificar las características del consumidor, las oportunidades de generar valor agregado a partir de las condiciones actuales. En lo que respecta a las mega tendencias tecnológicas, es claro que estas deben considerar un análisis lo suficientemente completo con el fin de poder abstraer las mejores aplicaciones y usos de la tecnología en el diseño del prototipo, de aquí que esta fase sea una piedra angular en el diseño.

Figura 4-3. Etapa de mega tendencias.




Nota. En la figura 4-3 se muestra el alcance de la etapa de análisis de mega tendencias.

4.1.2. Etapa 2: Voz del cliente

Esta etapa constituye un factor clave en el diseño tanto de la máquina como del método, ya que es aquí en donde se recogen, analizan y definen los requerimientos expresados por el cliente en forma de necesidades, recomendaciones o quejas. Para esta etapa, se inició con la delimitación del estudio y la identificación de la muestra, una vez definida se realizó un trabajo de campo el cual se enfocó en la recolección de datos del proceso de preparación de la mezcla a partir de un proceso de observación, validación y la aplicación de una encuesta a los clientes como se indica seguidamente.

Figura 4-4. Proceso de identificación de requerimientos método observación y herramienta de encuesta.



Encuesta	P1- ¿Característica más importante de la máquina?	P2- ¿cómo debe ser el sistema de alimentación de la arcilla?	P3- como debe ser su fuente de alimentación para su operación	P4- A nivel de manipulación prefiere accionar algunos controles por	P5- ¿cómo debe ser el cambio de formatos de ladrillo?
1	Integre el mezclado en un solo paso Produzca el triple de lo que hace el productor	Tambor	energía alternativa	palanca	Automático
2		Tolva	eléctrica	botón color	manual y raíz
3	Sea económica, productiva	Tolva	combustible	palanca	manual y raíz
4	Fácil de operarla, segura y rápida	Tolva	eléctrica	palanca	Automático
5	Que se pueda mover a varios sitios, que no use combustible, no sea tan pesada	Tolva	eléctrica	botón color	Automático
6	Que sea segura	Tolva	mecánica	botón color	Automático
7	No use combustible, mezcla ligera	Tambor	eléctrica	botón color	Automático
8	El mantenimiento se pueda hacer con herramientas sencillas, que integre todo el proceso	Tambor	eléctrica	botón color	Automático
9	Fácil de instalar, segura, económica	Tambor	mecánica	botón color	Automático

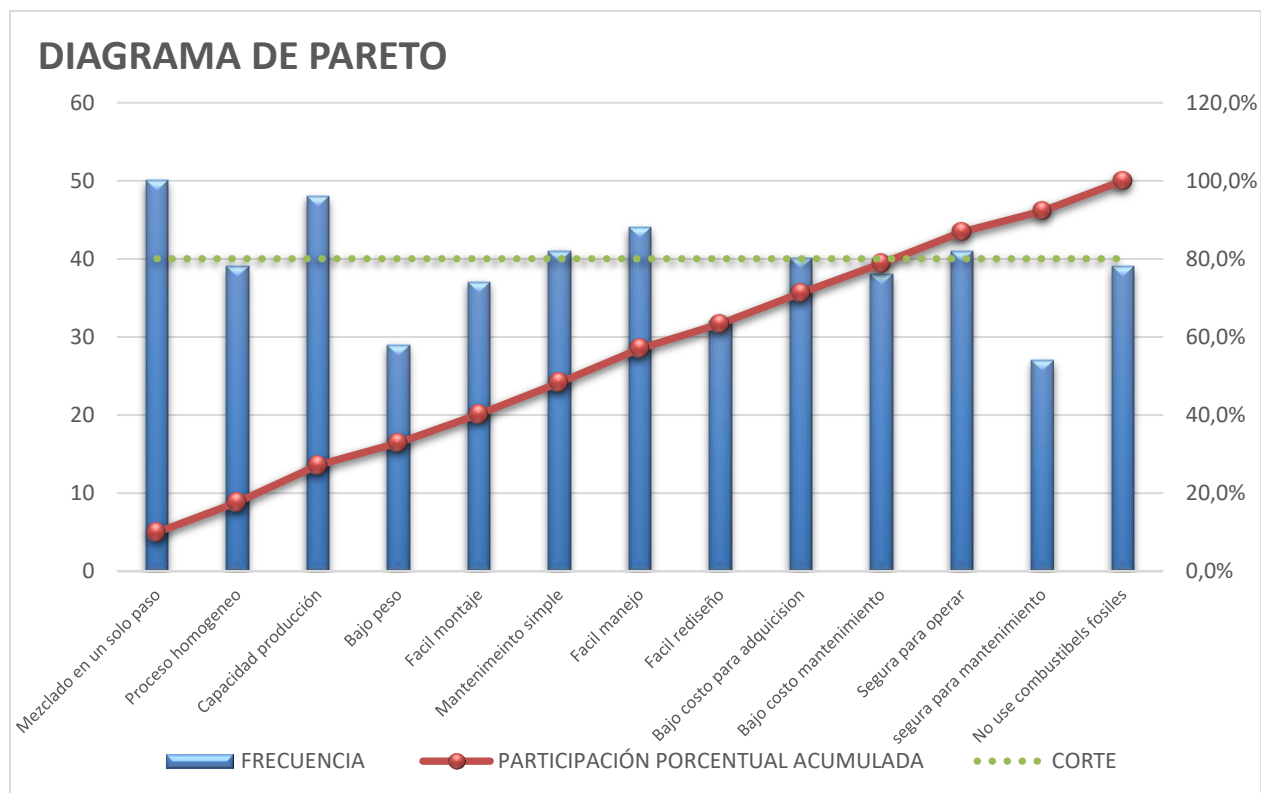
Nota. Se observa en la figura 4-4 el trabajo de campo realizado para recolección de información.

Según lo anterior, las necesidades traducidas en criterios de diseño permiten determinar el alcance de la problemática, de esta manera se estructura la solución a partir de factores de calidad para los cuales se hace indispensable determinar el grado de importancia a partir del análisis de Pareto.

4.1.3. Etapa 3: Análisis de Pareto

A partir de esta etapa se establecen de forma estandarizada los requerimientos expresados en forma de criterios de calidad, para ello se empleó una matriz de consolidación la cual tiene la siguiente estructura (tabla 4-1).

Tabla 4-1. Estructura Matriz para identificación de criterios QFD.



Nota. La tabla 4-1 muestra los componentes base para el desarrollo del despliegue de la matriz QFD.

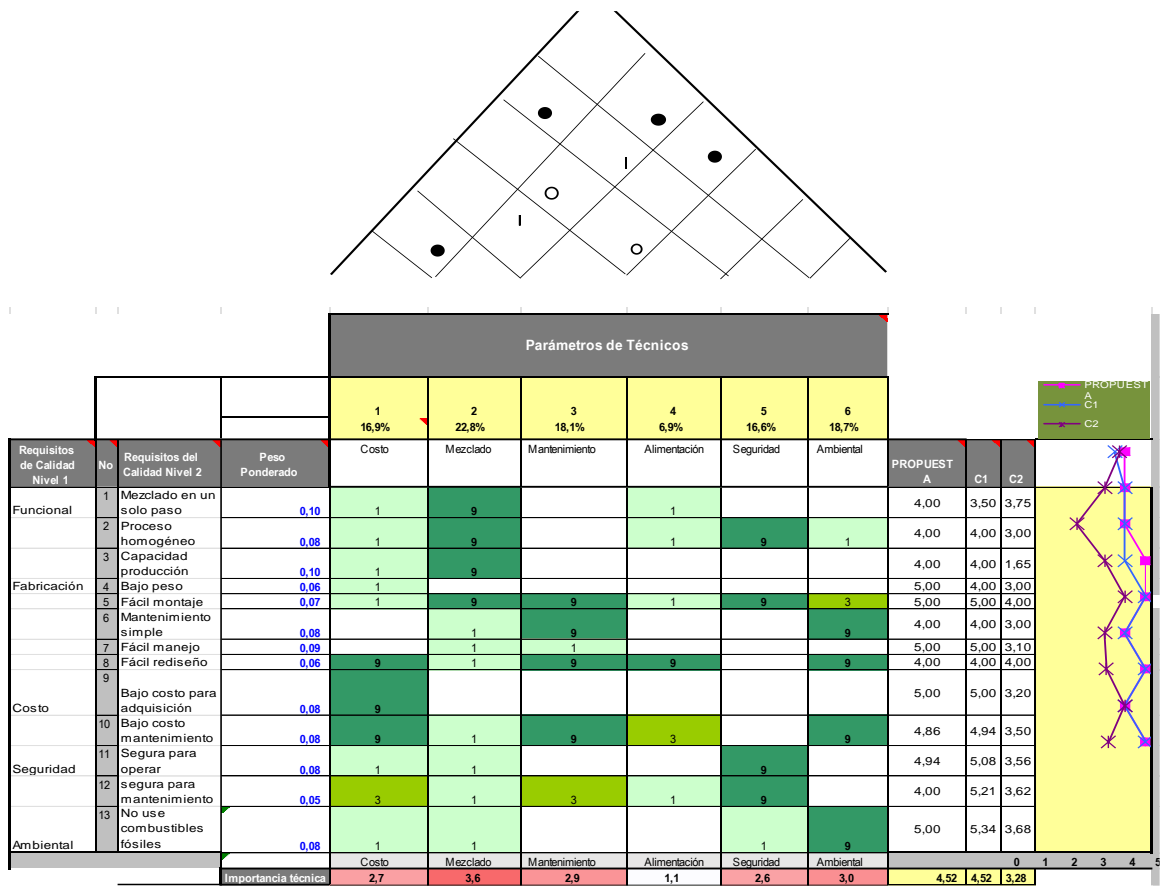
En este punto se seleccionan y estandarizan los términos de mayor uso y requerimientos dados por la muestra estudiada, en el caso particular corresponde a 13 características de calidad las cuales corresponden como se ha indicado a necesidades de diseño. Estas se enumeran de forma ascendente con el fin de poder realizar un análisis ordenado. Seguidamente estas se cruzan con la muestra, registrando las frecuencias de las

respuestas dadas por los entrevistados, lo que permite agrupar y consolidar las mismas para su posterior ponderación e identificación del peso del criterio para el despliegue QFD.

4.1.4. Etapa 4: Método QFD (Quality Function Deployment)

El presente análisis permite de forma clara y objetiva identificar cuáles son las principales características de calidad en función de la matriz de QFD, la cual se explicó en el inciso 2.3.5. del capítulo 2.

Tabla 4-2. Estructura matriz QFD y despliegue.



Nota. La tabla 4-2 describe los componentes base de la matriz QFD o despliegue de calidad.

Según lo anterior, esta matriz está relacionada de forma directa con el Pareto, debido a que del resultado de los pesos según las características de calidad, pasan a la a ordenarse a la matriz QFD en la columna de requisitos de calidad: Nivel 1.

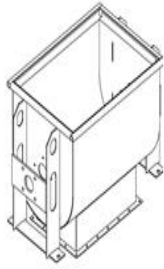


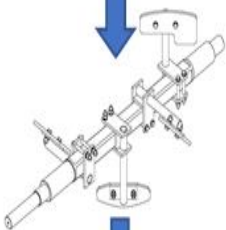


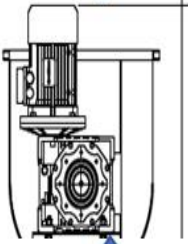



Posteriormente se realiza la evaluación, ponderación y selección de la propuesta más conveniente y que se ajusta a la realidad de estas necesidades recogidas en la etapa de la voz del cliente. Es importante aclarar que el número de propuestas que se pueden establecer no tiene un límite, ya que de igual forma se deben evaluar para establecer la conveniencia de esta.

Con respecto al resultado de la aplicación de la matriz de despliegue se concluye que definidos los requisitos de calidad de Nivel 1 y 2, así como el peso ponderado para cada uno de estos criterios, estos se multiplicaron por la evaluación de cada propuesta, dando como resultado una sumatoria ponderada para cada una de estas. La propuesta seleccionada corresponde a la mayor ponderación, la cual pasa a desarrollarse en función de la matriz morfológica.

4.1.5. Etapa 5: Análisis morfológico

En esta etapa se establecen de forma analítica y visual los componentes básicos en la producción de arcilla para fabricación de ladrillos macizos artesanales. Estos incluyen la etapa de alimentación o suministro de arcilla, el mezclado, la fuente de alimentación del proceso y su operación como se ilustra a continuación.

Tabla 4-3. Estructura matriz morfológica para el proceso de mezclado.

Criterios ingeniería	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
Alimentación			
Mezclado			
Fuente de alimentación			
Operación			

Nota. La tabla 4-3 presenta las diferentes propuestas a nivel de diseño como solución alterna para el mezclado de arcilla en la fabricación de ladrillos macizos artesanales.

En esta etapa el diseñador, así como los clientes pueden de forma visual analizar las alternativas de solución para cada subproceso de producción, este permite una mayor

sinergia y dinámica en la discusión y selección de la alternativa de diseño para su posterior desarrollo.

Aquí es importante definir las actividades principales del proceso, es decir cada etapa de este, ya que a partir de ello se plantean alternativas de validación visual de cada propuesta, lo que permite corroborar la evaluación obtenida de la matriz de despliegue de calidad. La morfología se refiere a la estructura, en este caso de la máquina, es decir, cada componente externo e interno de la misma la cual integra todo el proceso de mezclado.

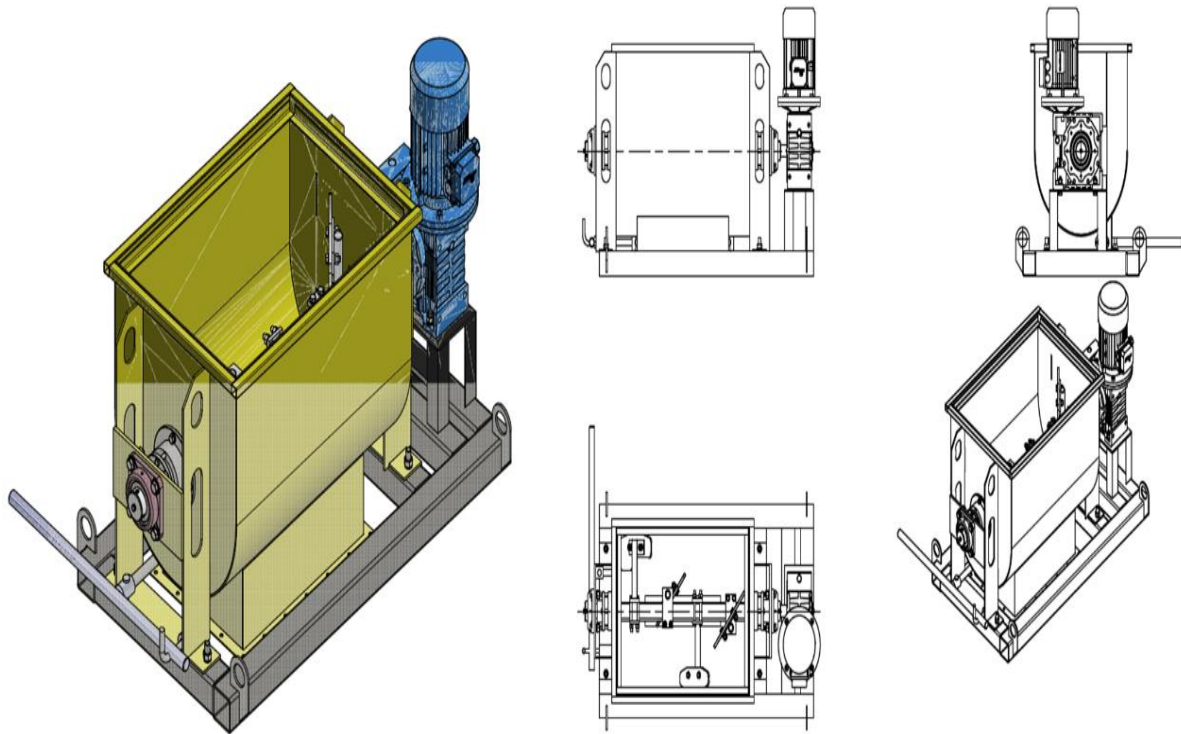
La morfología del proceso de mezclado comprende una definición de cada etapa clave de esta, estas obedecen a la etapa de alimentación, mezclado, la fuente de alimentación y operación.

4.1.6. Etapa 6: Desarrollo de concepto

El desarrollo del concepto es la parte final del método para el diseño y construcción de la máquina mezcladora de arcilla en la fábrica Tito del municipio de La Plata (Huila), aquí se realiza el desarrollo de la solución a partir del uso de herramientas como Autodesk inventor, SolidWorks versiones 2021. En esta etapa se incluyen cálculos de la potencia del mezclador, los cuales se desarrollaron en el ítem 3.2. así como los de la potencia de este en el numeral 3.2. y del eje en el 3.3., a su vez el análisis de elementos finitos (FEM) en el numeral 3.4 en el cual se considera las variables como tensión o esfuerzo máximo, desplazamiento máximo y factor de seguridad.

El resultado final es el diseño de la máquina como se indica a continuación en la figura 4-5.

Figura 4-5. Isométrico y vistas lateral, vertical y frontal del desarrollo del concepto.



Nota. La figura 4-5 describe el desarrollo del concepto de la máquina mezcladora de arcilla.

Conclusiones

Se concluye que el método conceptual empleado en el diseño de máquinas mezcladora de arcilla comprenden el análisis de las mega tendencias, voz del cliente a partir de la encuesta, el análisis de Pareto, la matriz QFD, el análisis morfológico y el desarrollo conceptual. Estas basan su análisis a partir de la identificación de las necesidades y requerimientos que expresan los dueños de las fábricas de ladrillos artesanales macizos de arcilla. El proceso parte con la definición de estos, alcance, el análisis de Pareto y la selección mediante el despliegue de criterios de calidad necesarios en el diseño de las propuestas de solución.

Con respecto a los requerimientos del cliente, de acuerdo con el método de identificación se concluye que estos requerimientos se concentran en aspectos como la necesidad de que el proceso de mezclado se realizara en un solo paso, para garantizar un insumo homogéneo, que tuviera una capacidad de mezcla de 300 kg / h, desde el punto de vista estructural que fuera de bajo peso con el fin de poder tener movilidad entre áreas de fabricación, lo que implica facilidades para su montaje, mantenimiento y manejo.

Otros cálculos se relacionan al análisis de elementos finitos los cuales comprenden el análisis de esfuerzo máximo, el cual registro un valor en la estructura de 61,4 MPa, muy por debajo del valor limite indicando que el chasis no sufrirá daños o cizallamiento debido el funcionamiento, esto se valida en el hecho de que la máxima deformación es de 0,26 mm, lo que no representa un riesgo para su construcción ya que adicionalmente el factor de seguridad en el diseño indico que el chasis resiste 4 veces la carga soportada.

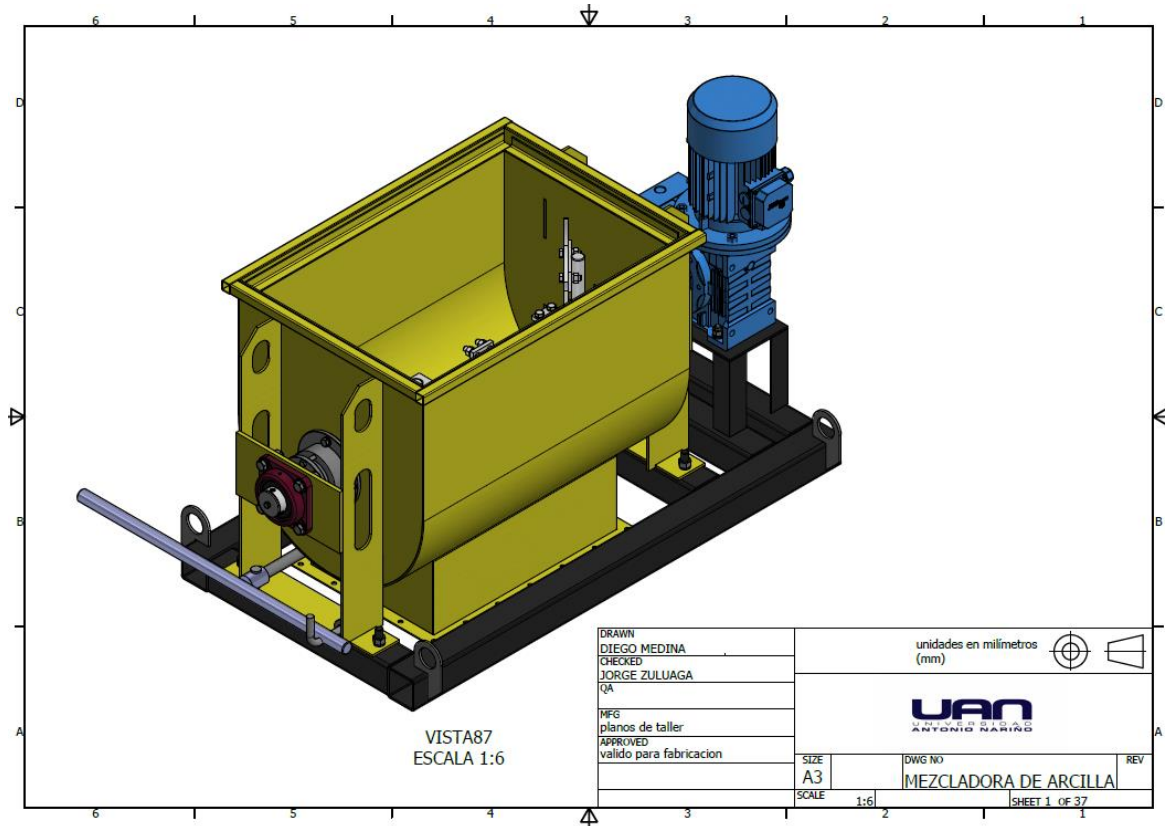
Con el respecto al método propuesto para la construcción de máquinas mezcladoras de arcilla, se plantea un modelo de 4 fases el cual parte de la identificación de la realidad

del contexto de la necesidad, el desarrollo de conceptos, la simulación de conceptos y su construcción.

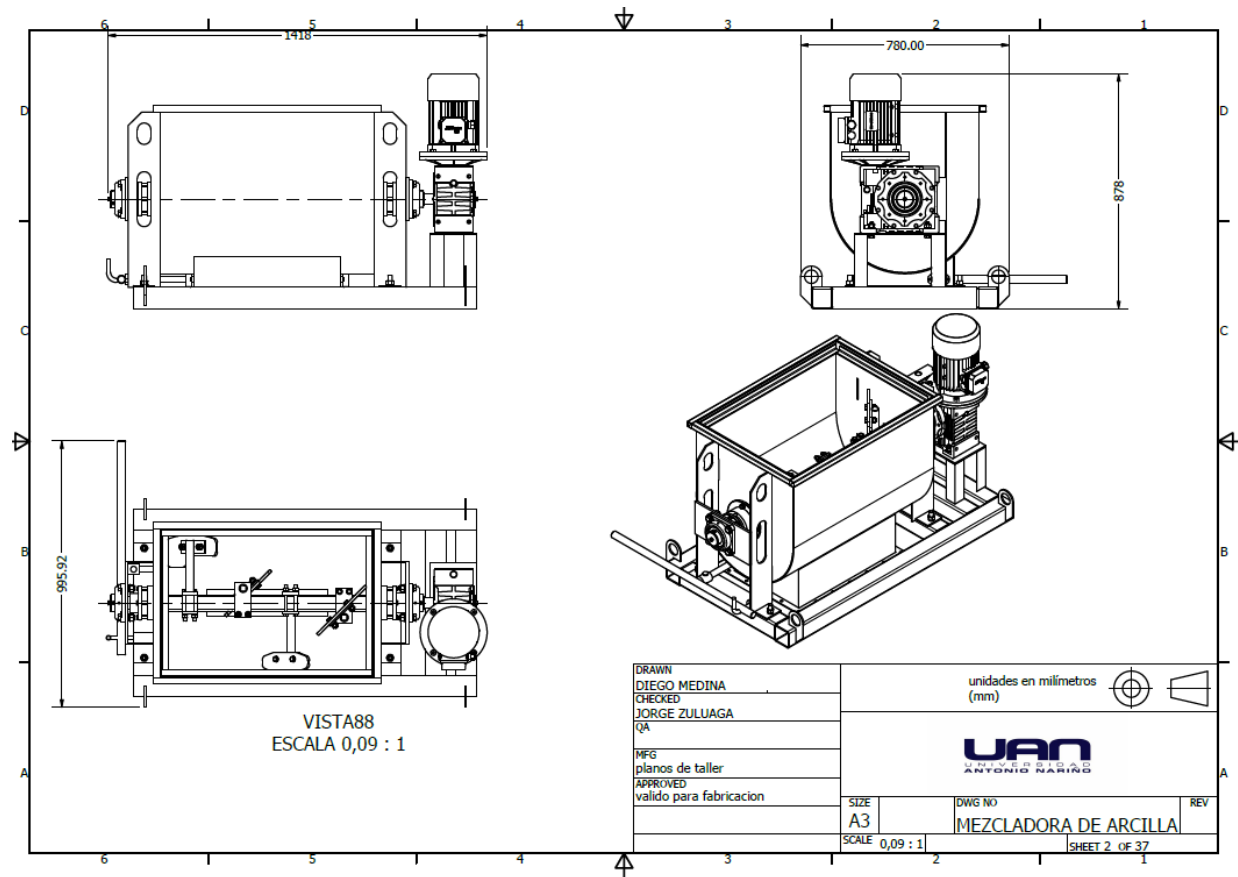
De acuerdo con la solución desarrollada, se concluye que la actual propuesta tiene una capacidad de procesar 300 Kg/h lo que equivale 2,400 kg en turno diario que equivalen a 900 unidades día, lo cual está por encima del estándar (800 unidades/día) y muy por encima de la actual capacidad de la fábrica Tito la cual es de 300 un/día, esto equivale una mejora de la productividad mayor al 80%.

Anexos

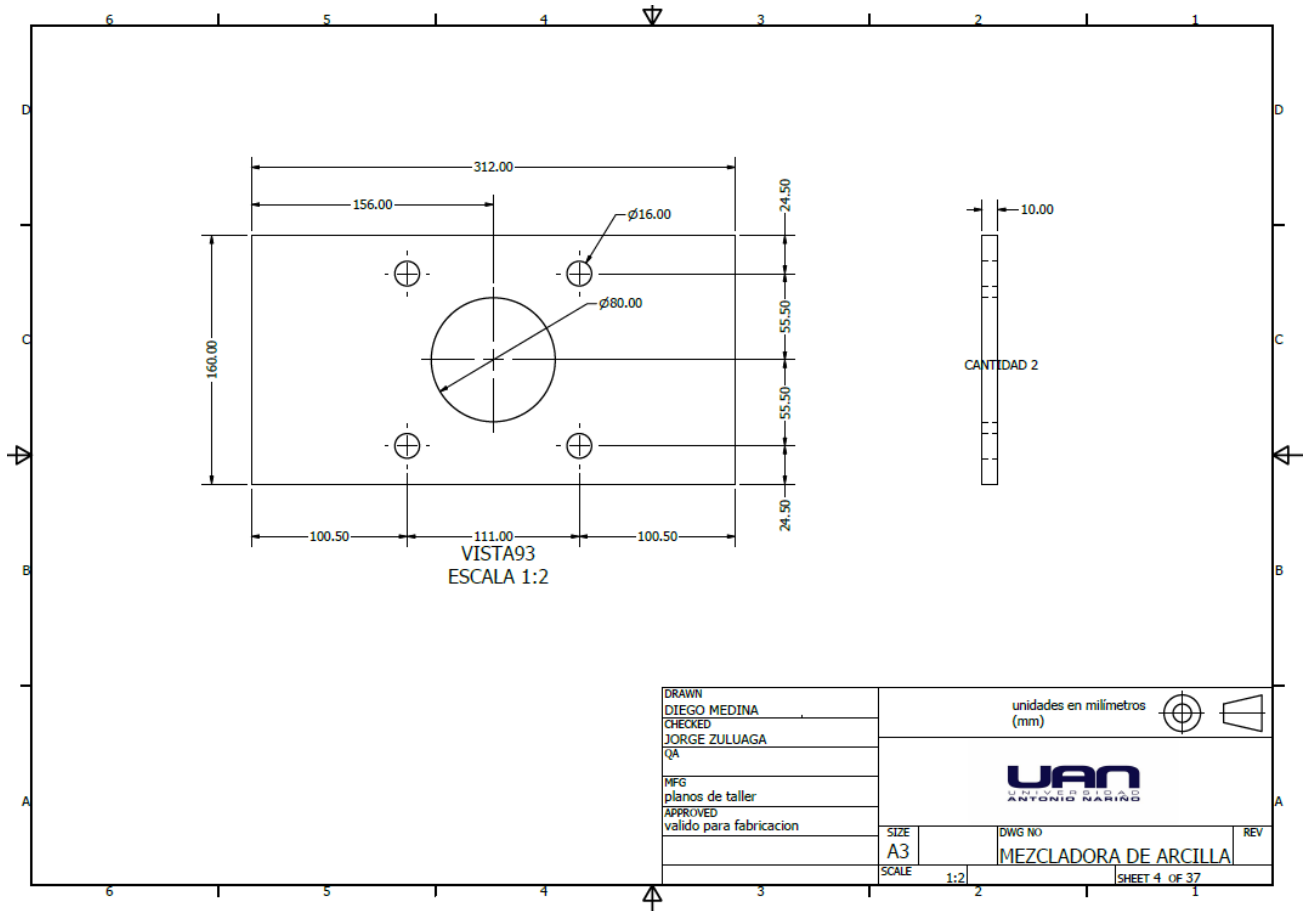
Anexo. 1 Vista general de máquina mezcladora.



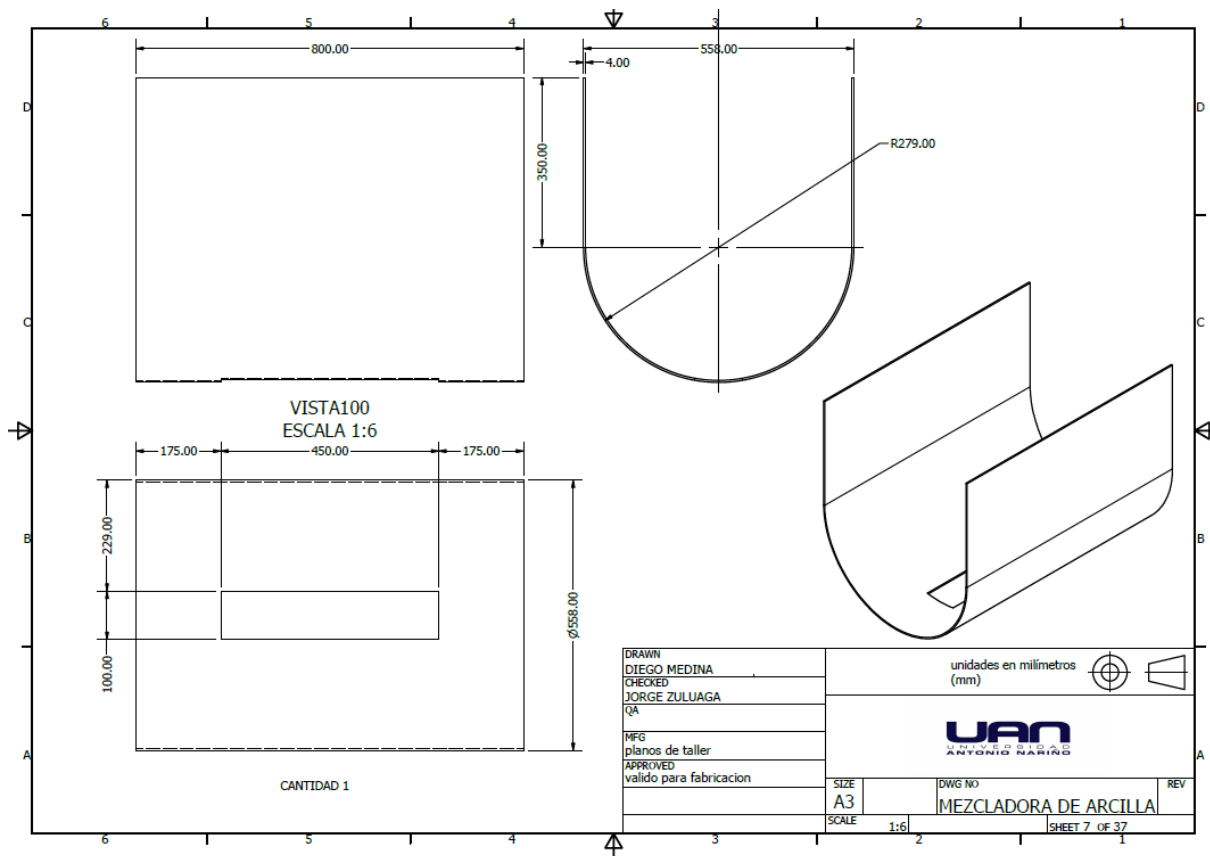
Anexo. 2. Vistas verticales, perfil, frontal y simétrica mezcladora.



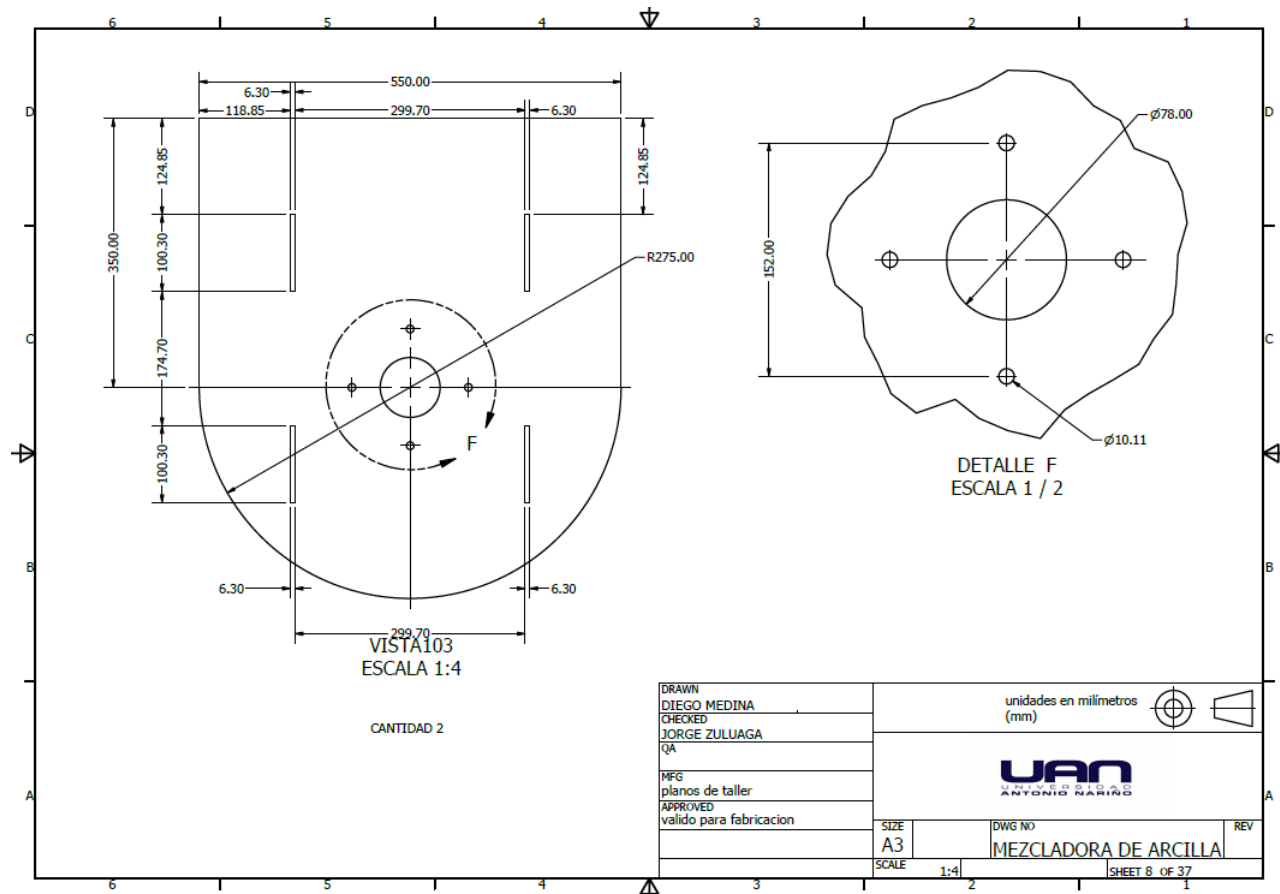
Anexo. 3 Vista frontal del chasis.



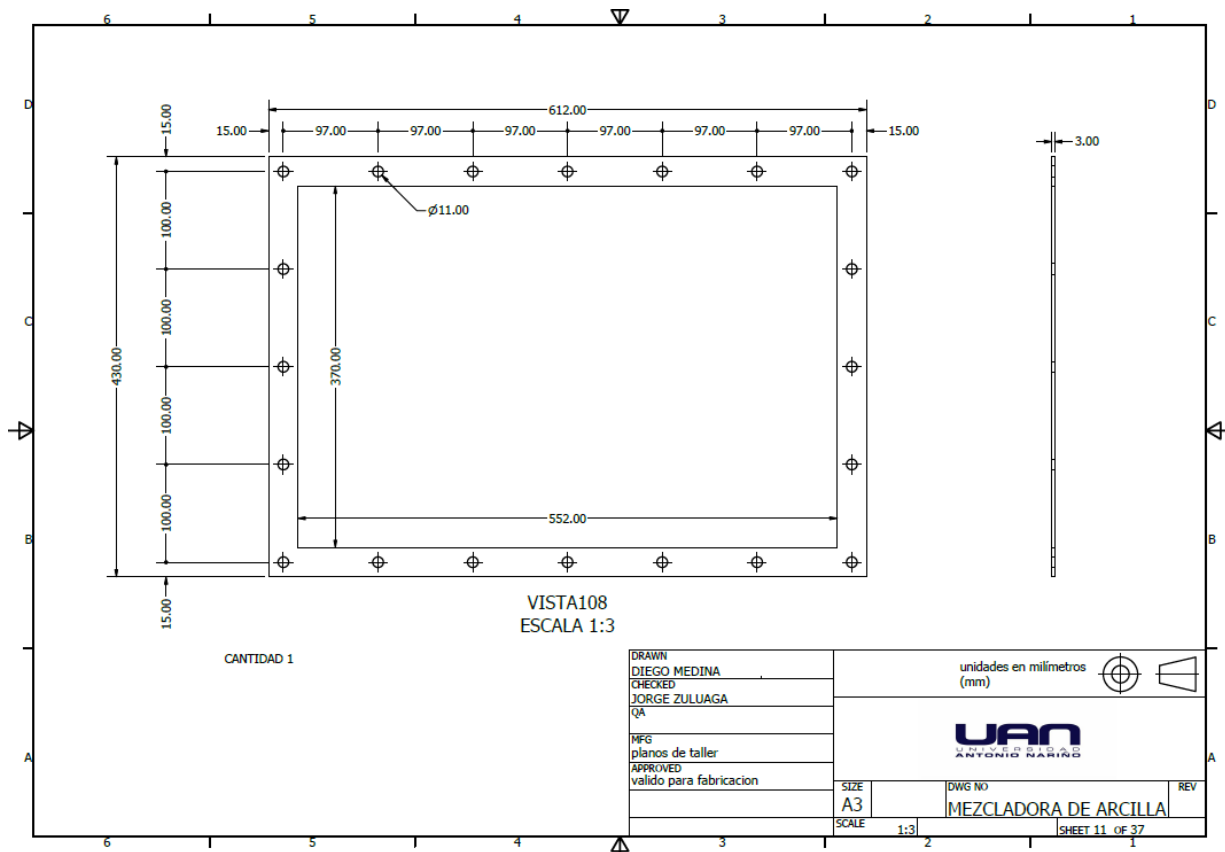
Anexo. 4 . Vista control y lateral de sistema almacenamiento.



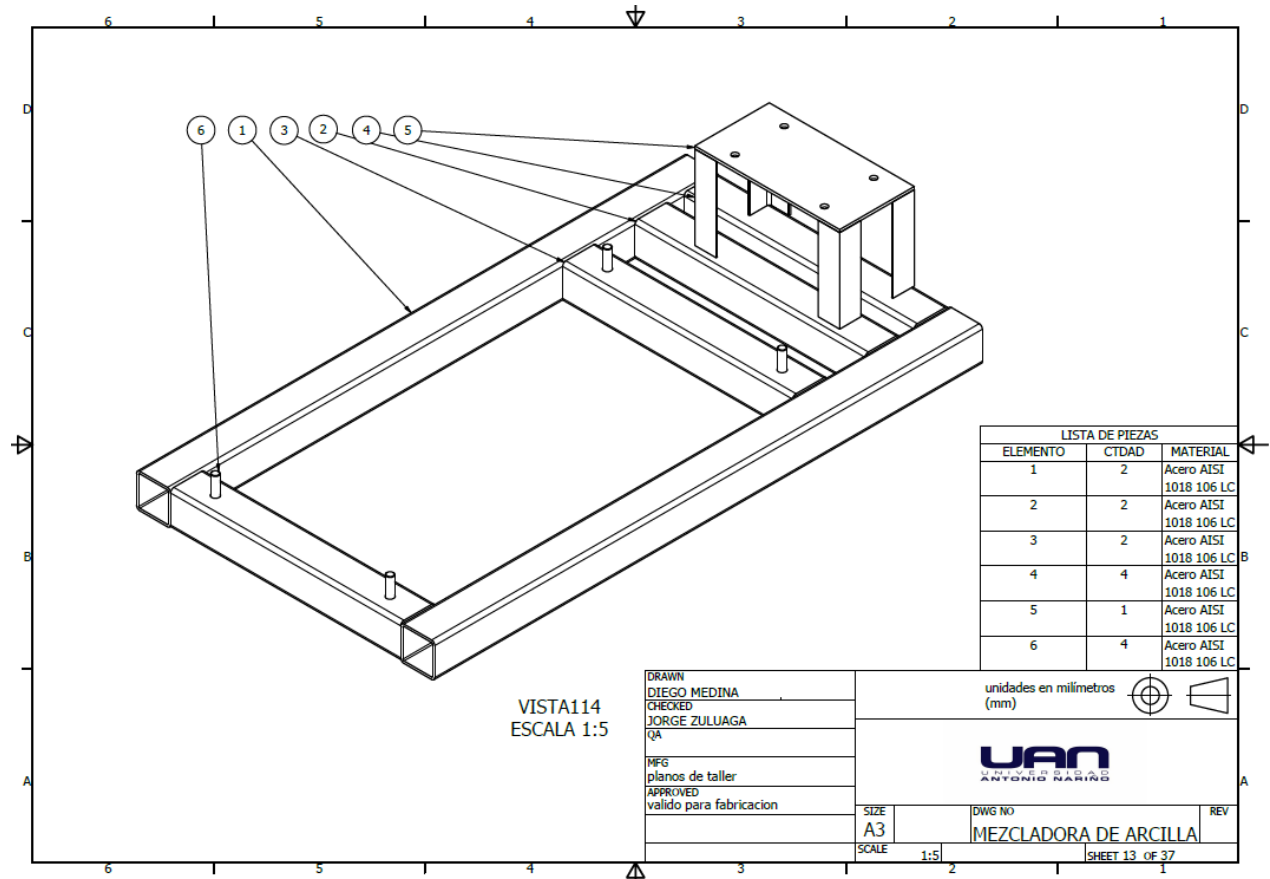
Anexo. 5. Vista sección area de acople eje.



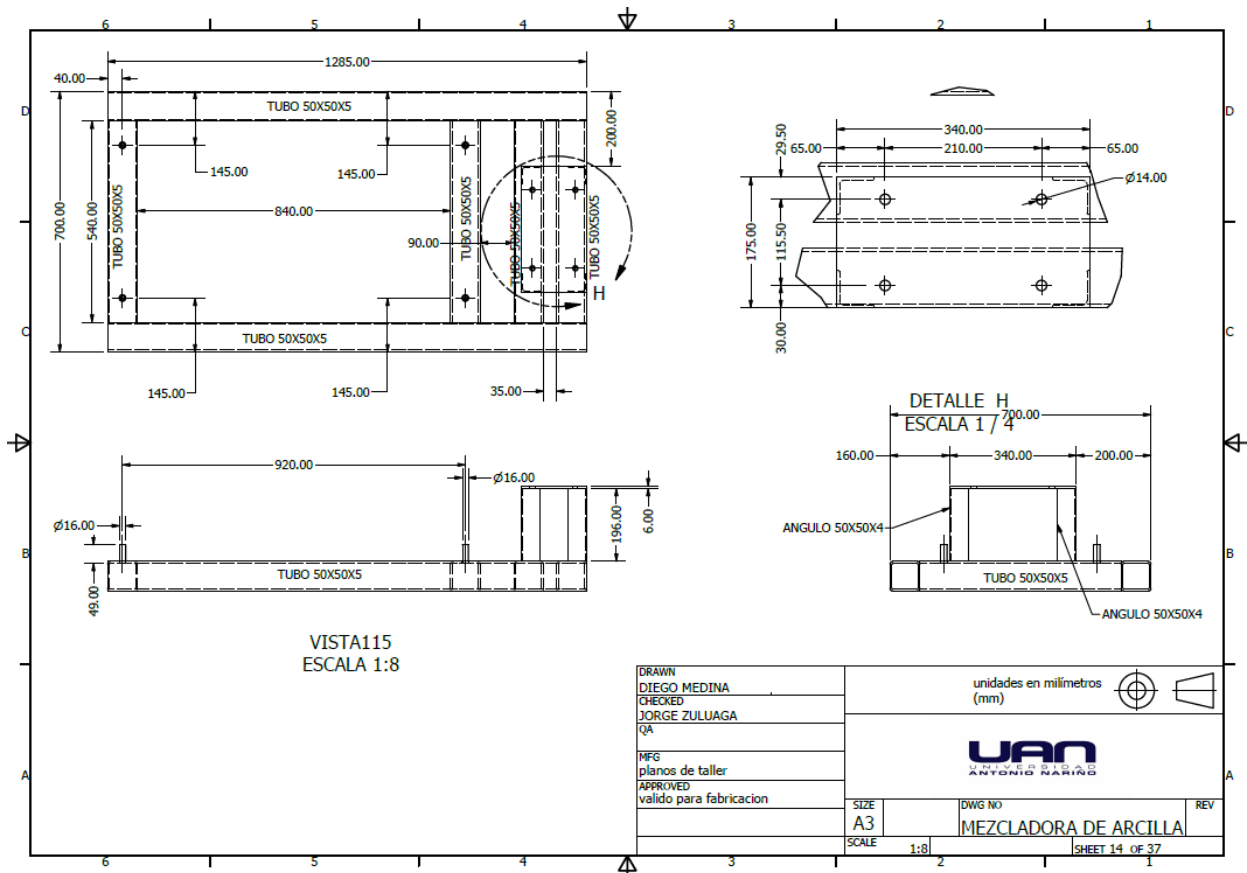
Anexo. 6. Vista horizontal base chasis.



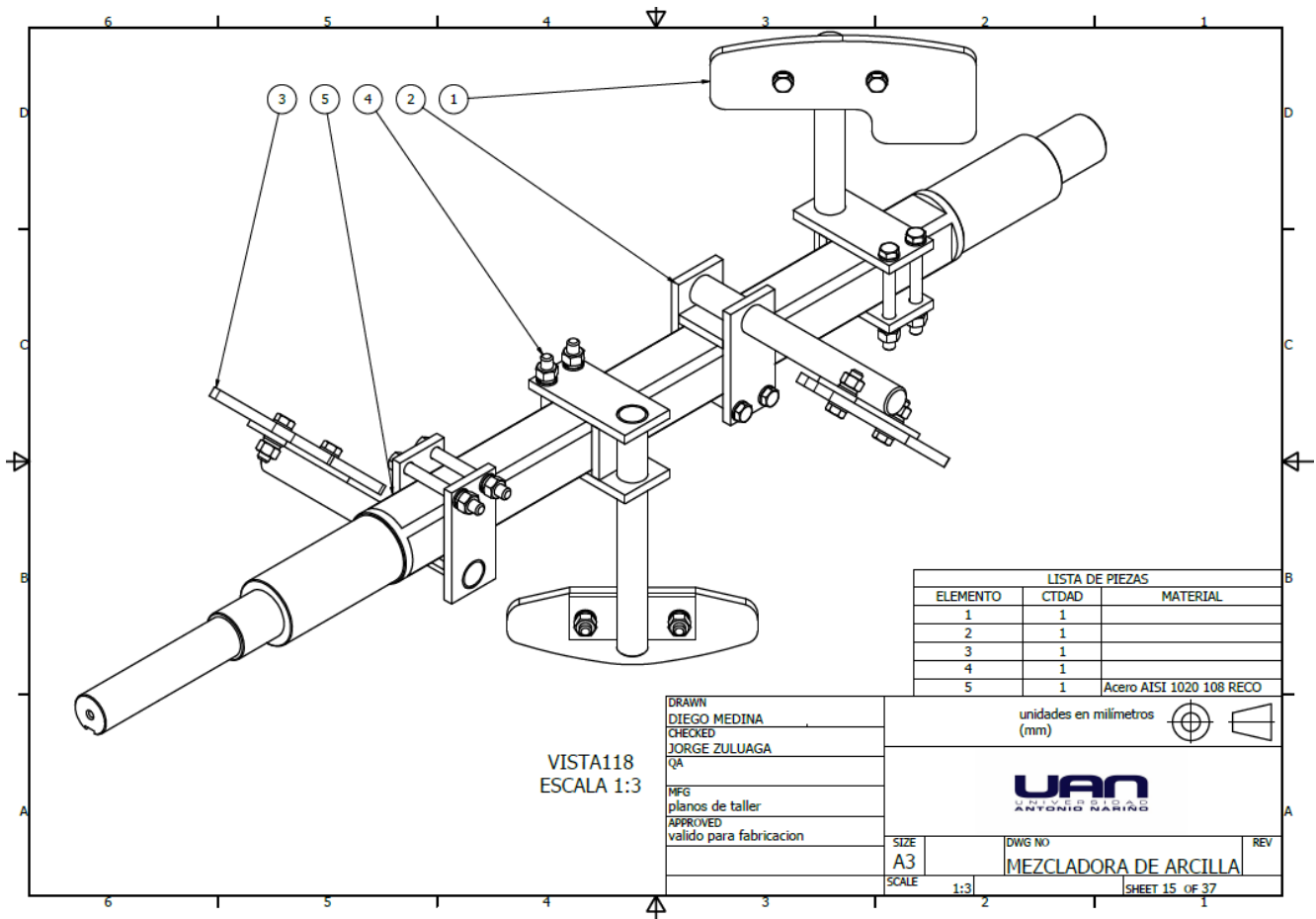
Anexo. 7. Marco base chasis.



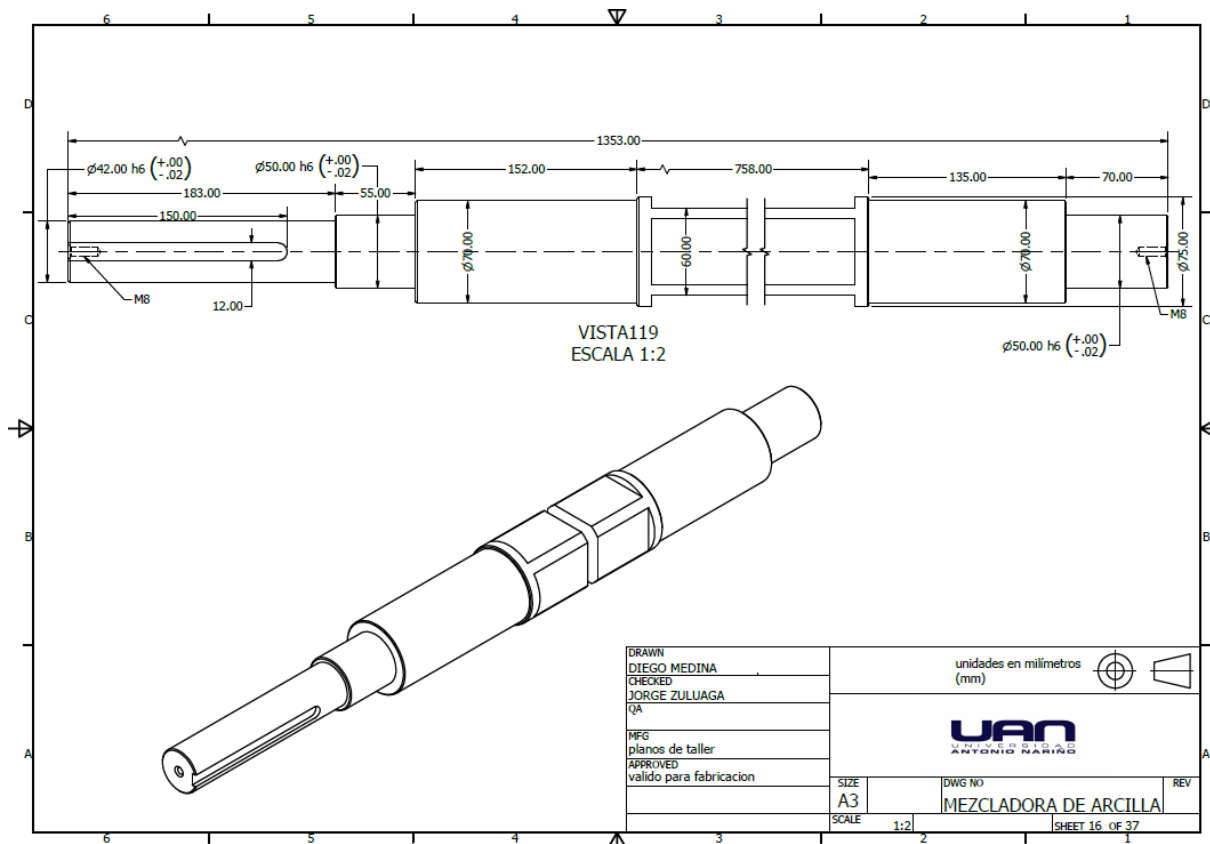
Anexo. 8 Chasis mezcladora.



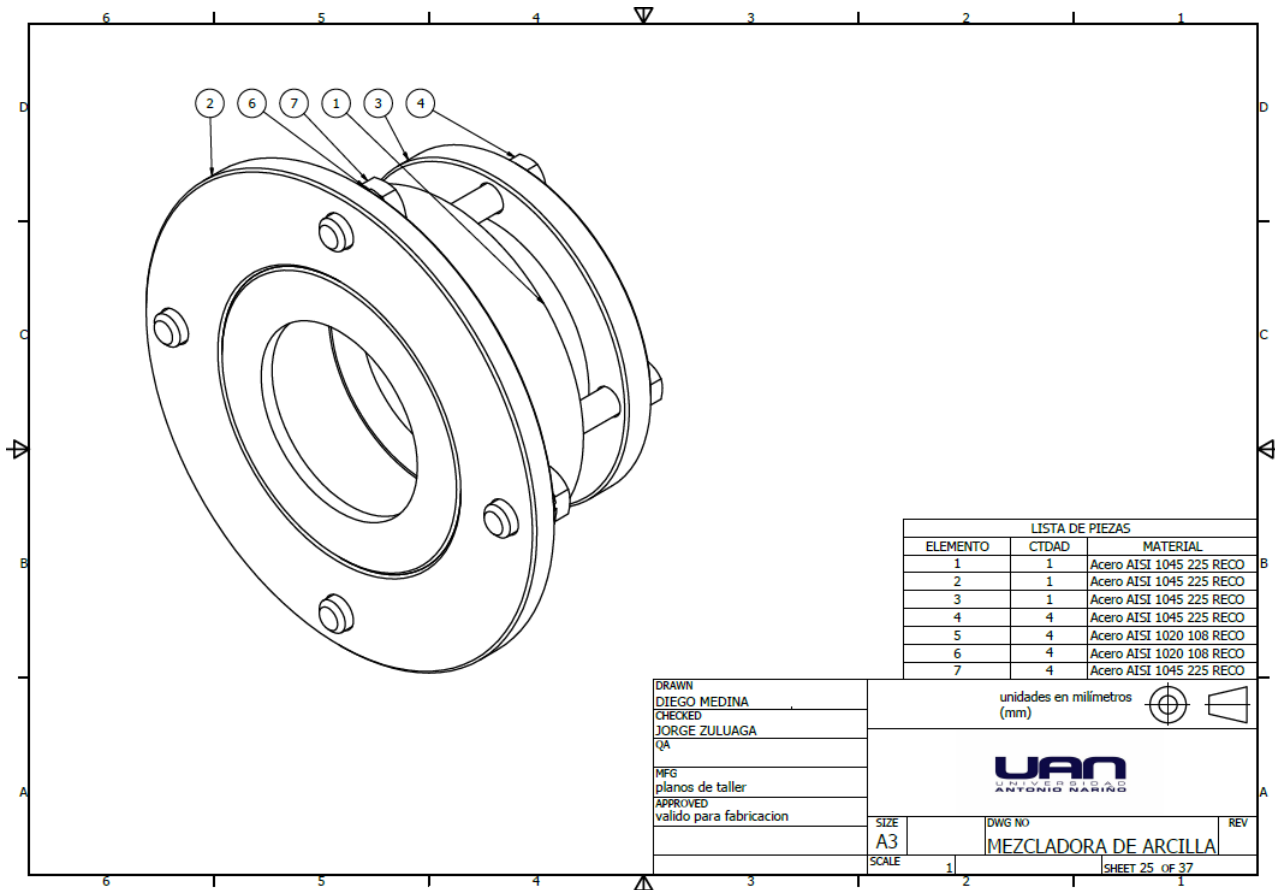
Anexo. 9 Eje y paletas sistema de mezcla.



Anexo. 10 Eje acotado.



Anexo. 11. Torreta de acople eje.



Referencias Bibliográficas

- ANDI. (2021). *Ladrilleras de Colombia, unidas en nuevo Comité de la ANDI*. Bogotá: ANDI.
- Arzate, J. (2019). *Diseño de una máquina moldeadora de arcilla húmeda*. Mexico DF: UNAM.
- Barranzuel L, J. (2014). *Proceso productivo de los ladrillos de arcilla*. Pyura (Perú): UPC.
- Benavides, M. (2020). *DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA FABRICAR LADRILLO PRENSADO PARA LA EMPRESA LADRILLOS PRENSADOS DE OCCIDENTE*. Bogotá: Universidad de las americas.
- CAEM. (2020). *Inventario Nacional del sector ladrillero en colombia*. Bogota: CAEM.
- Caicedo, L. (2020). *DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS Y ADOQUINES*. Santiago de Cali: Univsersidad del Valle.
- Chai, B. (2021). *Simulation-based optimisation for injection configuration design of liquid composite moulding processes: A review*. Victoria (Australia): Science Direct.
- Coba, F., & Vanegas, G. (2020). Application of concurrent engineering oriented to the manufacture of a tool for the extraction of a crown nut on an excavator. *Revista UIS Ingenierías*, 20(1), 197-212.
- Cuenca G, B. (2021). *Diagnóstico de procesos productivos para la producción de ldrillos de arcilla cocida*. Huancayo (Perú): UPC.
- Falcó, A. (2016). *DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN CALIDAD (QFD)*. Lima (Perú): Universidad Pontificia.
- GONZÁLEZ, F. (2017). *OPTIMIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE ARCILLA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LADRILLOS*. Cartajena de Indias: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR .
- Licon, S. (2016). *El departamento del Huila ocupa el primer lugar en la producción de ladrillos de arcilla, posee un inventario al 2020 de 105 ladrilleras de arcilla registradas, Evaluación tecnica de la calidad de ladrillo de arcilla*. Bogotá: UTB.
- MINAMBIENTE. (2021). *mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para el sector alfarero y de producción de ladrillo*. Bogotá: MINAMBIENTE.

- Molt, R. (1992). *Diseño de elementos de máquinas*. Mexico D.F.: Prentice hall.
- Musilek, P. (2021). *Conceptual design of controllers for automated modular construction machines*. Edmonton (Canada): Science Direct.
- Myszca, D. (2012). *Máquinas y mecanismos*. Mexico D.f.: Pearson, 4 ta edicion.
- Riba, C. (2018). *Ingenieria Concurrente*. Mexico D.F.: UPC.
- Rojas, G. (2019). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA MEZCLADORA DE ARCILLA CON CAPACIDAD DE 200 KILOGRAMOS/HORA*. Quito (Ecuador): Universidad politécnica Salesiana.
- Romero G, M. C., & Salguero Q, D. E. (2020). *Métodos para el manejo y la mitigación ambiental generada por residuos de la industria de la arcilla y su posible aplicación en materiales de construcción en Colombia*. Bogotá: UMNG.
- Romero, M. E. (2018). *Metodología de diseño de máquinas apropiadas para contextos de comunidades en desarrollo*. Cataluña (España): UPT.
- Sanabria, B. (2019). *Exploratory study of expanded clay and pumice stone as added in the production of light concrets*. Barranquilla: Scielo.
- Santos, J. (2017). *CHARACTERIZATION OF CLAYS AND PREPARATION OF CERAMIC PASTES FOR THE MANUFACTURE OF ROOFING TILES AND BRICKS IN THE REGION OF BARICHARA, SANTANDER*. Bucaramanga (Santander): Universidad Industrial de Santander.
- SIR-HUILA. (2020). *Inventario produccion ladrillera el departamento del Huila*. Neiva (Huila): Gobernación del Huila.