

**DESARROLLO DE PIEZAS DE GRAN FORMATO EN LA LADRILLERA SAN
CRISTÓBAL Y MEDICIÓN DE SUS IMPACTOS AMBIENTALES MEDIANTE
LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA**

INVESTIGADORES:

**LUCAS ABAD GIRALDO
ANA MARÍA VILLEGAS RAMÍREZ**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO DE PROCESOS**

ASESORES:

**ANA CATALINA ZAPATA JARAMILLO
INGENIERA CIVIL EIA
CARLOS ANDRÉS NARANJO MERINO
INGENIERO QUÍMICO
ESPECIALISTA EN INGENIERÍA AMBIENTAL UPB**

**UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS
MEDELLÍN, COLOMBIA**

2016

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Medellín, Enero de 2016

AGRADECIMIENTOS

Dedicamos este proyecto de grado a nuestras familias, por la formación, el apoyo incondicional y permanente.

A la gran familia de Ladrillera San Cristóbal que nos acogió y nos formó profesionalmente.

Y, finalmente, a cada una de las personas que nos aportó su tiempo y conocimiento:

Gabriel Jaime Cuartas Ruiz, Gerente General, Ladrillera San Cristóbal S.A.

Ana Cataliza Zapata Jaramillo, Gerente Planta San Cristóbal, Ladrillera San Cristóbal S.A.

Gonzalo Cardona Monsalve, Jefe de producción Planta Itagüí, Ladrillera San Cristóbal S.A.

Jairo Barrera, Jefe de producción Planta San Cristóbal, Ladrillera San Cristóbal S.A.

Carlos Naranjo, Director de sostenibilidad, Gaia Servicios Ambientales.

Catalina Areiza Cortes, Profesional de sostenibilidad, Gaia Servicios Ambientales.

Roberto Abad Estrada, Ingeniero Químico- experto consultor Cerámico, Quintal S.A.

TABLA DE CONTENIDO

1.	Resumen.....	12
2.	Introducción	13
3.	Objetivos	15
3.1.	Objetivo general.....	15
3.2.	Objetivos específicos.....	15
4.	Marco teórico	16
4.1.	Marco referencial y antecedentes	16
4.1.1.	Generalidades	16
4.2.	Descripción del proceso productivo	17
4.2.1.	Molienda.....	17
4.2.2.	Amasado.....	18
4.2.3.	Moldeado.....	18
4.2.4.	Secado	19
4.2.5.	Cocción	19
4.3.	Análisis de ciclo de vida.....	20
5.	Diseño metodológico.....	26
5.1.	Desarrollo del producto	26
5.1.1.	Materias primas disponibles.....	29
5.1.2.	Factores caracterizantes.....	31
5.1.3.	Triángulo de winkler.	33
5.1.4.	Índice de nosova.....	34
5.1.5.	Curva de bigot.	34
5.1.6.	Agua de rehidratación.	34
5.1.7.	Curva de cocción.....	35
5.1.8.	Características estéticas.....	35
5.2.	Análisis de laboratorio de las materias primas.....	36
5.2.1.	Triángulo de winkler.	37
5.2.2.	Índice de nosova.....	38
5.2.3.	Curva de bigot.	40
5.2.4.	Agua de rehidratación.	41
5.2.5.	Curva de cocción.....	42
5.3.	Diseño de mezclas.....	45

5.3.1.	Ubicación triángulo de winkler.....	45
5.3.2.	Índice de nosova.....	49
5.3.3.	Curvas de bigot.....	50
5.3.4.	Curvas de cocción.....	51
5.3.5.	Análisis químico.....	53
5.3.6.	Composición mineralógica.....	54
5.3.7.	Producción.....	57
5.3.8.	Consumo de mortero.....	69
5.4.	Modelo del ciclo de vida.....	72
5.4.1.	Definición de objetivos y alcances.....	73
5.4.2.	Alcance.....	75
5.5.	Análisis de inventario.....	90
5.6.	Análisis de resultados.....	90
6.	Resultados.....	91
6.1.	Análisis de 1 m ² de ladrillo en diferentes formatos, mediante cml 2001.....	91
6.2.	Análisis de 1 m ² de ladrillo en diferentes formatos, mediante eco-indicadores.....	95
6.3.	Análisis de 1 m ² de ladrillo en diferentes formatos, mediante recipe.....	103
7.	Conclusiones.....	107
8.	Recomendaciones.....	110
9.	Bibliografía.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fabricación de productos de arcilla cocida. Fuente: Archivo Susana Cuartas. Imágenes autorizadas por la Ladrillera San Cristóbal S.A.	17
Figura 4. Fases de un ACV. Fuente: lifecycleinitiavite.org, 2013.	25
Figura 5 Ladrillo tradicional de medidas nominales: 10 cm de ancho x 20 cm de alto x 40 cm de largo. Peso promedio cocido: 5,7 Kg. Fuente: Archivo Larillera San Cristobal S.A.	27
Figura 6. Ladrillo de gran formato a fabricar. Medidas nominales: 10 cm de ancho x 40 cm de alto x 40 cm de largo. Peso estimado cocido: 11Kg.	27
Figura 7. Participación por toneladas vendidas por referencia año 2014-2015. Fuente: Archivo Ladrillera San Cristóbal S.A.	28
Figura 8. Escala de la diversidad cerámica. Fuente: Archivo de la Ladrillera San Cristóbal S.A.	32
Figura 9. Medición de rodajas “probetas” fabricadas en el laboratorio para simular el comportamiento de las materias primas a escala de laboratorio.	37
Figura 10 . El triángulo de Winkler muestra dos materiales arcillosos LR-003 y ARC-001, uno limoso ARE-003 y uno arenoso ARE-004.	38
Figura 11. Plano inicial de uno de los moldes empleados para la fabricación de la pieza gran formato. Se fabricaron piezas con molde de salida múltiple y sencilla.	57
Figura 12. Despiece de los componentes del diseño del molde empleado para la fabricación de piezas gran formato.	58
Figura 13 . Montaje de uno de los moldes para la fabricación de piezas gran formato.	58
Figura 14. Ubicación del sistema de corte de las piezas húmedas.	59
Figura 15. Sistema de transporte en automatismo del producto moldeado a las cámaras de secado.	59

Figura 16. Ingreso del producto a las cámaras de secado, donde están por un periodo promedio de 24 horas, según las curvas de secado aplicadas.....	60
Figura 17. Propiedades físicas de las unidades de mampostería estructural. Fuente: NTC 4205.	63
Figura 18. Preparación de las piezas para el ensayo de resistencia a la compresión.....	63
Figura 19. Realización del ensayo en la prensa universal.	64
Figura 20. Gráficas de las cargas aplicadas a diferentes muestras.	64
Figura 21. Resultados de la resistencia a la compresión para las muestras tratadas térmicamente con la primera curva de cocción, el resultado es de 17.66 MPa, dando cumplimiento a la norma.	65
Figura 22. Resultados de la resistencia a la compresión para las muestras tratadas térmicamente con la segunda curva de cocción. El resultado es más alto que el anterior con valor promedio de 28.62MPa, dando cumplimiento a la norma.	67
Figura 23. Muro tradicional, donde se requieren 12.5 unidades por metro cuadrado del adobe tradicional, con juntas de pega recomendables de 1 cm.	68
Figura 24. Muro construido, con las piezas desarrolladas en el proyecto, donde se requieren 6.25 unidades por metro cuadrado, con juntas de pega de 1 cm.	69
Figura 25 Productos Ladrillera San Cristóbal S.A.	74
Figura 26. Modelo de ladrillo desde la cuna hasta la tumba.	106

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 . Curva de Bigot de los materiales con alto contenido de tamaño arcilla.	41
Gráfico 2. Curva de Bigot de los materiales con alto contenido de tamaño arena.	41
Gráfico 3. Valores de rehidratación para las materias primas analizadas.	42
Gráfico 4. Valores encontrados de absorción para cada materia prima, a diferentes temperaturas.....	43
Gráfico 5. Porcentaje de contracción de las piezas, con diferentes temperaturas de cocción.	44
Gráfico 6. Porcentaje de pérdida a la quema de las materias primas analizadas a diferentes temperaturas de cocción	44
Gráfico 7. Ubicación de los valores obtenidos en cada una de las zonas.....	48
Gráfico 8.Principales factores de secado para cada una de las mezclas desarrolladas.....	50
Gráfico 9. Curvas de Bigot para cada una de las mezclas desarrolladas.....	50
Gráfico 10. Valores de absorción obtenidos de probetas a diferentes temperaturas para las tres mezclas desarrolladas	51
Gráfico 11. Valores de contracción obtenidos de probetas a diferentes temperaturas para las tres muestras desarrolladas	52
Gráfico 12. Porcentajes de pérdida en secado a diferentes temperaturas para las mezclas desarrolladas.	53
Gráfico 13. Curva de secado 1.....	61
Gráfico 14. Curva de secado 2.....	61
Gráfico 15. Curvas de cocción aplicadas a un mismo lote de producción.	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción y ubicación de las materias primas empleadas en el proyecto	29
Tabla 2. Distribución granulométrica de las materias primas analizadas.. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 3. Valores del índice de Nosova y contracciones de las muestras analizadas.	40
Tabla 4. Principales características de cada una de las zonas del diagrama de Winkler.....	45
Tabla 5. Porcentajes de tamaño en cada una de las mezclas analizadas.	46
Tabla 6. Distribución granulométrica de cada una de las mezclas.	47
Tabla 7. Índice de Nosova de cada una de las mezclas desarrolladas.	49
Tabla 8. Porcentajes de los compuestos encontrados en el análisis químico.	53
Tabla 9. Composición mineralógica de la mezcla formulada y con la cual se desarrolló la pieza gran formato.	54
Tabla 10. Consumo de mortero por m ² de unidad tradicional.....	70
Tabla 11. Consumo de mortero por m ² de unidad gran formato	70
Tabla 12. Comparación de los consumos de materiales de pega por m ² para ambos tipos de ladrillos.	71
Tabla 13. Análisis de los valores de la producción, con las dos referencias estudiadas en el proyecto.	71
Tabla 14. Iconografía software Umberto NXT LCA	73
Tabla 15. Inventario de ciclo de vida	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 16. Distancia de escombreras a centro de la ciudad	88
Tabla 17. Resultado CML 2001 Ladrillo convencional - Nuevo diseño.....	93
Tabla 18. Eco-puntos y porcentaje de variación categoría afectación a la salud	99

Tabla 19. Método ReCiPe comparativo por etapas	104
--	-----

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: A001-Análisis químicos

Anexo 2: A002: Análisis mineralógico

Anexo 3: A003- Ensayo de resistencia Quema 1A

Anexo 4: A004-Ensayo de resistencia Quema AB

Anexo 5: A005-Ensayo de resistencia Quema 2A

Anexo 6: A006-Ensayo de resistencia Quema 2B

Anexo 7: A007-Comparación de consumo de mortero

Anexo 8: A008-Maquinaria

Anexo 9: A009-Inventario de Ciclo de vida

Anexo 10: A010-Comparativo

Anexo 11: A011-ACV Ladrillos (Modelo Umberto)

1. RESUMEN

En el presente trabajo se pretende evidenciar el proceso de desarrollo de una pieza de arcilla cocida de gran formato en las instalaciones de la planta de Itagüí de la Ladrillera San Cristóbal S.A. Y posteriormente analizar, a través de la metodología del Análisis de ciclo de vida, los resultados de la medición de los impactos ambientales al construir un metro cuadrado de muro no estructural empleando dicha pieza. Y compararlos, finalmente, con los efectos provocados por un ladrillo convencional de medidas nominales (10 cm x 20 cm x 40 cm), el cual se usa con mayor frecuencia en la mampostería no estructural en Antioquia.

El proceso de fabricación de una pieza de cerámica roja comprende las siguientes etapas: extracción minera, preparación de materias primas, moldeo, secado y cocción. Para el desarrollo de la pieza cerámica se tomaron materias primas de varios de los títulos mineros de la empresa, haciendo siempre énfasis en aquellos que estuvieran más próximos al centro de producción. Con ellas, se formuló una pasta cerámica que presentó el mejor comportamiento en cada una de las etapas críticas del proceso y condujo a lograr las mejores propiedades cerámicas y mecánicas de la pieza desarrollada. Inicialmente, la pasta cerámica se acondicionó en los molinos del laboratorio, consecutivamente fue llevada a producción industrial una cantidad de 30 toneladas que procedió con la realización de los lotes en diferentes oportunidades.

La conformación de la pieza se efectuó con un molde “boquilla” que fue planteado con el equipo de diseño de la empresa y el personal de mantenimiento que la fabricó. Posteriormente, se proyectaron ensayos de secado a diferentes piezas, para lograr simular los valores obtenidos de la pasta cerámica desarrollada a escala de laboratorio. De esta manera, se pudo secar la pieza en un periodo inferior a las 24 horas, el tiempo aproximado que

requiere la línea de producción sin ser afectada en el proceso continuo que funciona los siete días de la semana. En caso de tener que someter la pieza a secados más extensos, el proyecto se vería perjudicado en su viabilidad.

En el horno se emplearon dos curvas de cocción de las piezas secas, debido a que inicialmente la pasta cerámica desarrollada en el laboratorio fue sometida a temperaturas entre 900 y 1000 grados centígrados. En este rango se lograron valores de absorción de agua inferiores al 16% y una buena estabilidad del material a la quema, lo cual condujo a una aceptación de los obtenidos en cuanto a resistencia a la compresión de las piezas se refiere.

El Análisis de ciclo de vida realizado para comparar los impactos ambientales de un ladrillo tradicional versus una pieza de gran formato utilizando las metodologías de análisis de los inventarios de ciclo de vida Ecoindicador99, CML2001 Y ReciPe reforzó la hipótesis de que la principal reducción de los impactos de un tipo de ladrillo a otro se encuentra asociada a la etapa de manufactura y uso del producto. En esa medida, se evidenció que los consumos de materiales y energía de una pieza de gran formato son menores que los de un ladrillo tradicional a lo largo de todo el ciclo de vida.

2. INTRODUCCIÓN

Como lo propone Anfalit (Asociación Nacional de Fabricantes de Ladrillo y Derivados de la Arcilla (ANFALIT, 2006), a comienzos del siglo XXI la industria ladrillera en Colombia solo producía 376.947 toneladas mensuales de ladrillo, lo que equivalía a aproximadamente 4.500.000 toneladas de producto cocido al año en todas sus referencias. La ciudad de Bogotá participaba con el 49% del mercado, seguida por el Norte de Santander con el 14.3% y el departamento de Antioquia con el 9.5%. Hasta entonces, este sector estaba constituido por

1924 unidades productivas, entre pequeñas, medianas y grandes, generando entre todas alrededor de 12.204 empleos directos y otra gran cantidad de empleos indirectos.

Actualmente, la industria ladrillera puede producir hasta 835.280 toneladas mensuales de material cerámico, lo cual ha logrado en términos generales el crecimiento de sus fábricas y el aumento en la producción y en la generación de empleos. Este sector económico ha evolucionado al igual que muchos otros gracias al impulso que les ha dado el país en los años más recientes. Especialmente, el sector de la construcción con valores agregados ha logrado un incremento del 8,7% para el tercer trimestre del año 2015 y un valor promedio en Antioquia de 20.000 a 22.000 unidades habitacionales vendidas desde el año 2011 hasta la fecha. Esto ha hecho posible que sus empresarios inviertan en el país y en el departamento, y además mejoren las condiciones tecnológicas de sus procesos productivos y bienes ofertados.

El sector ladrillero es uno de los grandes proveedores de insumos para la construcción, debido a las bondades que ofrecen sus productos. Por su parte, la industria de la construcción y su entorno son los responsables del 40% del consumo de materias primas. Esto se comprende si se tiene en cuenta que para el año 2050 el 70% de la población mundial vivirá en zonas urbanas, muy posiblemente en edificios que hoy en día son responsables del 14% del consumo de agua potable, 30% de la producción de desechos, 49% de la producción de emisiones de CO₂, 50% del uso de la energía eléctrica y 72% del consumo de la electricidad. (EcoIngeniería SAS, 2012)

A pesar de ello, la variedad de elementos de cerámica roja ofrecida al mercado no ha cambiado mucho año tras año. La mayoría de empresas consultadas en la región dedican su capacidad productiva a las piezas cerámicas tradicionales, entre las que se encuentran adobes

rayados y lisos de 10 x 20 x 40, toletes rayados y lisos de 12 x 20 x 40, toletes rayados y lisos de 15 x 20 x 40 y ladrillo catalán de 15 x 10 x 30. Existen solo algunos casos excepcionales de fabricantes que invierten en innovación, como la Ladrillera San Cristóbal S.A, una empresa con una trayectoria de más de 65 años en el sector.

Por esta razón, para este tipo de industria cobra gran valor el trabajo con herramientas como los Análisis de Ciclo De Vida que facilitan la toma de decisiones en pro de la eficiencia de los recursos.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar piezas de gran formato en la industria de la cerámica roja, para ser empleadas como elementos constructivos.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar la composición de la pasta cerámica más adecuada para la fabricación de una pieza cerámica de gran formato.

Determinar los ciclos de secado adecuados para la unidad conformada.

Identificar el impacto ambiental que tiene un ladrillo de gran formato y compararlo con el de una pieza tradicional.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. MARCO REFERENCIAL Y ANTECEDENTES

4.1.1. GENERALIDADES

La fabricación de productos cerámicos está ligada a la historia de la humanidad. Desde la antigüedad, las diferentes culturas tomaban elementos de la tierra para construir desde recipientes para almacenar alimentos hasta pequeños ladrillos para edificar sus hogares. La cerámica es un elemento que ha resaltado las manifestaciones culturales de los pueblos, evolucionando a través de los tiempos de acuerdo a las necesidades de los mismos.

Por esta razón, ha sido empleada de múltiples maneras y para distintas tareas: desde los primeros ladrillos empleados en Mesopotamia fabricados con materias primas obtenidas entre los ríos Tigris y Éufrates (Facincani, 1993), hasta elementos de alta tecnología que se fabrican para proteger de las altas temperaturas a las naves de las misiones espaciales.

El ladrillo es un elemento que se emplea en la construcción para la fabricación de muros portantes o no, cubiertas, superficies y demás implementaciones que se le quieran dar en el sector constructivo. Los ladrillos cara vista o fachada son aquellas piezas que exaltan las características de la cerámica y protegen el interior de las edificaciones, quedando en evidencia al ser pegados o instalados debido a la ausencia de recubrimiento de los mismos.

4.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO



Figura 1. Fabricación de productos de arcilla cocida. Fuente: Archivo Susana Cuartas.

Imágenes autorizadas por la Ladrillera San Cristóbal S.A.

4.2.1. MOLIENDA

La extracción y selección de las materias primas en la mina se realiza por medio de retroexcavadora, buldócer, cargador y volquetas. Una vez se transportan a los patios de almacenamiento, se conforma la mezcla de arcillolita, limo y arena establecida en el

laboratorio. Posteriormente se ejecuta un proceso de trituración primaria y secundaria de esta a través de molinos laminadores y trituradores que dejan el grano del tamaño adecuado.

Para la selección de las materias primas adecuadas, se eligen arcillas, limos y arenillas procedentes de títulos mineros propios de Ladrillera San Cristóbal S.A., a partir de las cuales se realizan ensayos de laboratorio según los protocolos de la empresa, para establecer las combinaciones o mezclas más idóneas en el proceso productivo. Además, se evalúan sus aptitudes cerámicas mediante un ensayo de Winkler (Ladrillera San Cristobal, 2015), el cual consiste en clasificar las materias primas acorde al tamaño de sus partículas y su representación en un diagrama ternario demarcado por zonas (Duitama, Espitia, Mojica, & Quintero, 2004).

4.2.2. AMASADO.

Esta etapa se realiza en un mezclador de paletas que homogeniza y transporta el material a lo largo de unos dos metros, espacio en el cual se le adiciona la primera cantidad de agua para ir preparando la pasta cerámica con una mayor uniformidad en sus componentes (Fernández, 2000).

4.2.3. MOLDEADO

En esta operación es donde nace prácticamente el ladrillo o la pieza de cerámica deseada, haciendo pasar la pasta a través de moldes que han sido diseñados y fabricados previamente, siguiendo una geometría específica que busca mantener las condiciones de equilibrio en los flujos de la arcilla al ser moldeada. También es importante tener en cuenta el esquema del molde o “boquilla” para mantener un balance correcto entre las diferentes partes de la pieza

y una correcta adición de agua de acuerdo al material, manteniendo una humedad que varía entre 12% y 18%. De esta manera el ladrillo sale con la forma planeada y una resistencia mecánica que le permite ser transportado o apilado para la siguiente operación.

4.2.4. SECADO

El secado se puede realizar de forma natural al dejar simplemente el material expuesto al ambiente, de manera que las piezas pierdan humedad gradualmente hasta secarse. Otro método más eficiente consiste en una operación artificial, en la cual el ladrillo recién conformado es transportado a unas cámaras de secado, en donde es expuesto a corrientes de aire caliente y seco, con temperaturas que van desde los 35 a 90 grados centígrados, durante un período de 16 a 24 horas. Unos ventiladores especiales se encargan de esparcir el aire y extraer el agua libre y ligada contenida en la pieza.

Las curvas adecuadas de secado se determinan mediante el ensayo de la curva de Bigot (Industrias Belarmar, 2005), que consiste en una representación gráfica de la relación existente entre la humedad y la contracción de las piezas en un periodo de tiempo determinado. El material seco sale de las cámaras de secado con una humedad que no debe superar el 4%, lo cual le confiere mayor resistencia mecánica para poder ser apilado en los vagones que se introducen en el horno.

4.2.5. COCCIÓN

Esta etapa es también reconocida como la operación reina de la cerámica, en la cual ocurren las reacciones propias que requieren estos materiales para alcanzar su propiedad básica: la

alta resistencia mecánica, que se debe al alcance de la fase estable irreversible de sus componentes (Eloy, 1965).

La pieza es sometida a temperaturas superiores a los 1000 grados centígrados durante un periodo de 24 horas, en el cual se pasa por tres etapas básicas: calentamiento de 100 a 700 grados centígrados, quema propiamente dicha de 700 a 1100 grados y enfriamiento de 1100 a 40 grados centígrados. De esta manera se logran las reacciones necesarias que le confieren a la cerámica las mejores propiedades y la exaltación de las características de las materias primas, para lo cual es necesario tener curvas de cocción estandarizadas en el reactor (horno). Posteriormente, el ladrillo es llevado a la zona de empaque y almacenamiento para su despacho a las obras.

4.3. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

El Análisis de ciclo de vida (ACV) alude a una perspectiva del pensamiento que incita a la trascendencia de los enfoques tradicionales de producción y manufactura, a través del análisis de los impactos económicos, sociales y ambientales que genera un producto o servicio a lo largo de todo su periodo de existencia. La primera definición usada por la Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) es:

Proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno, para determinar el impacto que ese uso de recursos y esos vertidos producen en el medio ambiente, y para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. El estudio incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de: extracción y procesamiento de materias primas;

producción, transporte y distribución; uso, reutilización y mantenimiento y reciclado y disposición del residuo.

Esta iniciativa nació de la mano del concepto de “desarrollo sostenible” a partir del Informe de Bruntland escrito en 1987 por la World Commission on Environment and Development (WCED). El primer trabajo de ACV del que se tiene referencia fue realizado en 1969 por The Coca Cola Company®, en el cual se compararon diferentes tipos de envases para determinar cuál de ellos suponía un menor consumo de recursos y una menor cantidad de emisiones. Posteriormente se desarrollaron una serie de trabajos relacionados, pero solo hasta los años 90 se encontró su metodología, gracias a la creación de las normas ISO.

En las últimas dos décadas el concepto de ciclo de vida ha proporcionado una base conceptual fundamental para el desarrollo de la iniciativa, logrando así un despliegue metodológico de la misma a través de la implementación de diversas herramientas, programas y actividades que han colaborado con la migración del mercado público y privado hacia una economía sostenible.

Esta metodología permite poner las herramientas del ACV en práctica a través de la gestión del ciclo de vida. Su principal objetivo es reducir las emisiones y el consumo de recursos mejorando el desempeño socio-económico de un producto o servicio a lo largo de toda su existencia, a través de la medición de los impactos ambientales de un producto, proceso o sistema y de la minimización de los mismos. Esto puede facilitar la coordinación entre las dimensiones sociales y ambientales dentro de una organización en toda su cadena de valor. La integración de esta se asemeja mucho a la implementación de sistemas de gestión ISO 9000 y 14000. Según la norma ISO 14040:1997

El ACV es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto, lo cual se efectúa recopilando un inventario en las entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos de estudio.

Ese Inventario de Ciclo de Vida (ICV) está conformado por la información recopilada acerca de las entradas y salidas del sistema a estudiar. Se considera como entradas a los recursos, materias primas, productos, transporte, partes, electricidad, energía, y todo aquello que se tiene en cuenta en cada proceso; y como salidas a las emisiones al agua, al aire y al suelo, residuos y subproductos que se tienen en cuenta en cada proceso.

Las herramientas ACV ofrecen la posibilidad de evaluar rangos claves de categorías de impacto e indicadores que midan los efectos sociales y ambientales. Algunas de estas comprenden los ACV ambientales y sociales, la medición de huella de carbono, huella hídrica, entre otras. Además, existen algunas que calculan los resultados de los tres pilares de la sostenibilidad (ambiental, social y económico), como el ACV de sostenibilidad. En la Figura se observan los tipos que conforman un Análisis de Ciclo de Vida de Sostenibilidad: el ACV-A (ambiental), el ACV-C (costos de producto o servicio) y el ACV-S (social).

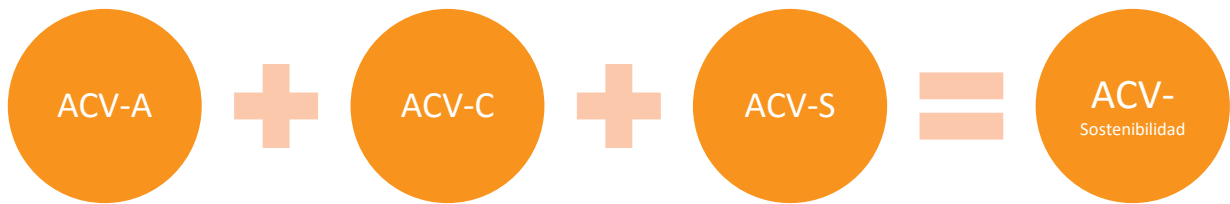


Figura 2. Análisis de ciclo de vida de sostenibilidad. Fuente: lifecyclicheinitiative.org, 2013.

De esta manera, se puede entender que un ACV facilita la toma de decisiones consciente y coherente, pues este implica que cada persona involucrada en la cadena de valor de un producto, desde la cuna hasta la tumba, tiene una responsabilidad o un rol que ocupar, teniendo en cuenta los impactos más relevantes en el medio ambiente y la sociedad. Así pues, los efectos de cada etapa del ciclo de vida deben ser comprendidos por los ciudadanos, las compañías y los gobiernos a la hora de evaluar y decidir acerca del consumo, los patrones de producción, la formulación de políticas y estrategias.

Así pues, la principal característica de esta metodología es su enfoque holístico, el cual consiste en considerar la importancia de integrar todas las propiedades de un sistema y establecer que estas no pueden ser determinadas o explicadas de manera individual por las partes que lo componen, sino por la integración del conjunto, que es la que hace considerar el análisis de todo el ciclo de vida del sistema. Por esa razón, el ACV es empleado en todos los niveles productivos, desde el desarrollo y la fabricación hasta la disposición final.

En el sector industrial, asumir el ACV como una aproximación para la toma de decisiones significa transformar los enfoques tradicionales en los procesos productivos, debido a que el ciclo de vida de un producto puede comenzar con la extracción de las materias primas desde

sus fuentes naturales y la generación de energía para extraerlas, continuar por la producción, el empaque, la distribución, el uso, el mantenimiento y, finalmente, terminar con el reciclaje, el reuso, la recuperación o disposición final. En la figura 2 se muestra esquemáticamente el ciclo de vida de un producto.

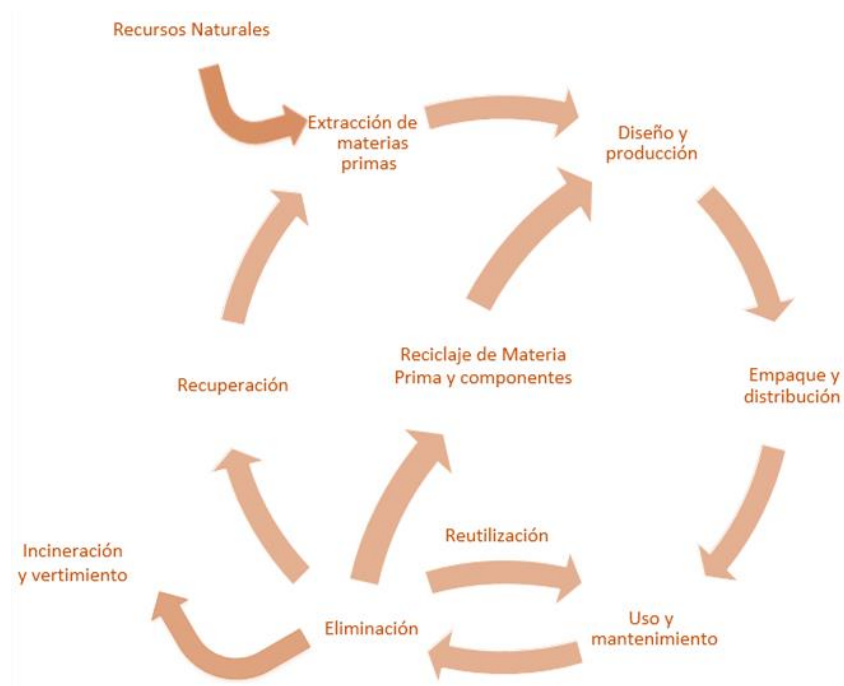


Figura 3. Ciclo de vida de un producto o servicio. Fuente: Lifecycleinitiative.org

La metodología de Análisis de ciclo de vida comprende cuatro fases: 1) Definición de objetivos y alcances, fase en la cual se pretende conceptualizar el tema a tratar, el alcance y la profundidad del mismo para determinar cómo serán empleados los resultados obtenidos; 2) El análisis del inventario, en la cual se realizan los balances de materia y energía necesarios para modelar el sistema; 3) La evaluación del impacto, en la que los balances de materia y energía son llevados a una única unidad de comparación, los eco-puntos o puntos de impacto

ambiental y 4) La interpretación de los resultados, en la cual se presentan los resultados y los análisis según el objetivo fijado. En la Figura 2 se muestran esquemáticamente estas fases.

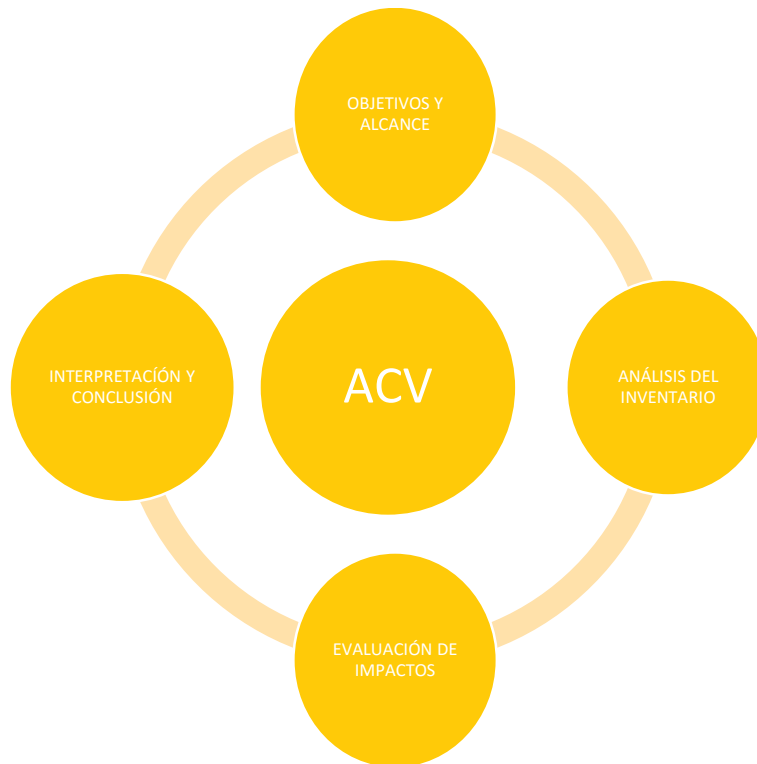


Figura 2. Fases de un ACV. Fuente: lifecycleinitiative.org, 2013.

Esta figura se explica de la siguiente manera: en la definición de los objetivos y alcances se determinan las funciones del sistema, se describen las características de operación del mismo y se selecciona la unidad funcional, a la cual se asocian tanto las entradas como las salidas. En la definición de los alcances se establecen los límites del sistema y se describe el proceso productivo con todas las etapas a estudiar. Posteriormente se deben determinar las categorías de impacto ambiental y sus métodos de evaluación (algunas como cambio climático, destrucción de la capa de ozono, acidificación, eutrofización, eco-toxicidad, entre otras). Y, finalmente, en el análisis del inventario es crucial la revisión de la información, que cumpla con los requisitos de calidad de la misma, los cuales son: alcance geográfico, alcance

temporal, alcance tecnológico, precisión y representatividad, y consistencia y reproducibilidad.

Finalmente, un ACV se acompaña de un reporte detallado de cada una de las etapas del ciclo de vida del producto o servicio y las posibles opciones de mitigación de impactos ambientales o sociales de cada una de ellas.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

El presente trabajo se realizará bajo un enfoque experimental. Para el desarrollo del proyecto se proponen las etapas que se exponen a continuación.

5.1. DESARROLLO DEL PRODUCTO

Como en cualquier industria, cada planta es diseñada para un determinado tipo de producto y bajo unas condiciones de operación particulares. La planta en la que se desarrolló la pieza de gran formato fue diseñada en la década de los noventa con tecnología italiana, pensando en producir ladrillos no estructurales divisorios de medidas de 10 cm de ancho x 20 cm de alto x 40 cm (Adobe), ladrillos de 12 cm de ancho x 20 cm de alto x 40 cm de largo (tolete de 12) y ladrillos tolete de 15 cm de ancho x 20 cm de alto x 40 cm de largo (tolete de 15). A mediados del año 2009, esta planta cambió de administración a la actual y logró ampliar el abanico de referencias, llegando a una capacidad aproximada de 1.200.000 unidades mensuales, lo que equivale aproximadamente a 7200 toneladas de material cocido por mes.

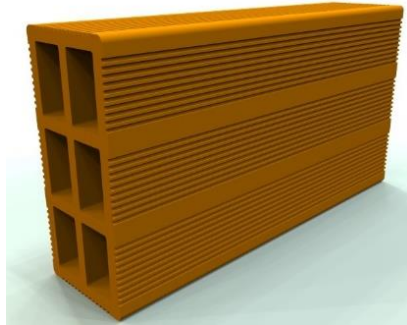


Figura 3 Ladrillo tradicional de medidas nominales: 10 cm de ancho x 20 cm de alto x 40 cm de largo. Peso promedio cocido: 5,7 Kg. Fuente: Archivo Larillera San Cristóbal S.A.

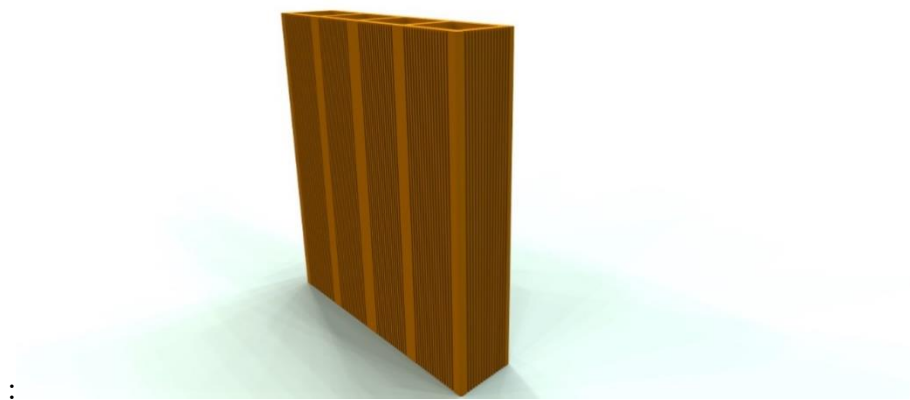


Figura 4. Ladrillo de gran formato a fabricar. Medidas nominales: 10 cm de ancho x 40 cm de alto x 40 cm de largo. Peso estimado cocido: 11Kg. Fuente: Archivo Larillera San Cristóbal S.A.

La planta no se ha dedicado a fabricar piezas de gran formato de módulos de 40 cm dentro de sus instalaciones, debido a que su producción se ha basado en ofertar al mercado las siguientes referencias que son las más empleadas por el sector constructor en la mampostería no estructural. Además, la inclusión y el desarrollo de un nuevo producto dentro de una planta

suponen nuevos retos que conducen al vencimiento de paradigmas en todos los sectores de la compañía.

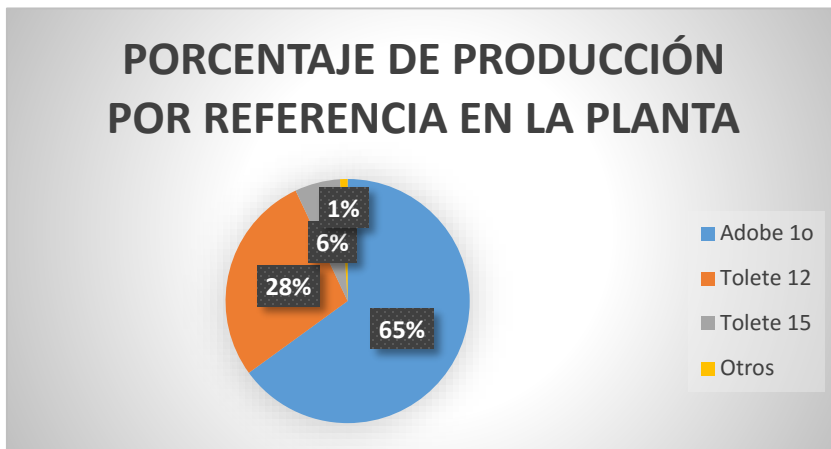


Figura 5. Participación por toneladas vendidas por referencia año 2014-2015. Fuente: Archivo Ladrillera San Cristóbal S.A.

Las plantas productoras de cerámica se deben diseñar a partir de las materias primas con que disponen a los alrededores y de los productos que desean fabricar, ya que desde el comportamiento de las mismas se desarrolla todo el sistema productivo. Por esa razón, antes de diseñar y fabricar esta pieza a gran escala, se realizó una caracterización de las materias primas disponibles más próximas, para evaluar su comportamiento dentro de un sistema productivo. Para ello se tomaron arenillas y limos procedentes de una cantera *in situ*. Y, con la idea de aportar mejores propiedades, se optó por incluir una clase de arcilla originaria de un título minero a una distancia de 39 km de la planta, por recomendación del departamento técnico de la empresa.

Los investigadores y fabricantes deben tener control sobre las variables del proceso productivo en cada una de las etapas, a partir de una comprensión total de los sucesos,

afectaciones e implicaciones de las alteraciones de los niveles de fabricación. Así pues, se debe tener en cuenta la cantidad de materia prima que se requiere para la fabricación de los ladrillos. El éxito de la industria ladrillera comienza en la comprensión del proceso de explotación minera, en el cual se realiza una selección de los minerales que se requieren para conformar las unidades adecuadas para las características deseadas. De esta manera se hace posible la formulación de una pasta que permita obtener las mejores propiedades cerámicas y mecánicas en nuestro caso, al tener el control y la menor cantidad de variaciones en las etapas de extracción, molturación, extrusión, secado y cocción.

Para la selección de las materias primas se solicitaron diferentes muestras de los títulos mineros pertenecientes a la empresa y se decidió trabajar con aquellos que estuviesen en un radio no mayor de 40 km de la planta productiva. Esta decisión estuvo fundada en la certeza de que aunque se tienen una diversidad de materias primas en los títulos mineros, esta situación podría ser un factor contraproducente en la medición de los impactos asociados y en la factibilidad del producto en cuanto al aumento de los costos en el transporte.

Por esta razón, durante el proyecto se trabajó con las materias primas que se exponen a continuación, las cuales fueron codificadas de la siguiente manera.

5.1.1. MATERIAS PRIMAS DISPONIBLES.

Tabla 1. Descripción y ubicación de las materias primas empleadas en el proyecto.

CODIGO	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN
LR-003	Material de características medias, tipo Limo. Es utilizado en la producción actual.	Mina contigua a la planta, extracción mecánica con buldócer y cargador.
ARC-001	Material arcilloso, molido en planta. Es utilizado en la producción actual para productos especiales.	Material traído de Amagá a 39 Km y molido en la planta de producción.
ARE-003	Arena de grano fino, aparentemente con alto contenido de cuarzo, lo cual puede ayudar a reducir las tensiones del moldeo y ayuda al control de las contracciones. Su uso en exceso puede aumentar la porosidad, si se tienen tamaños de grano altos que derivan en bajas resistencias en las piezas. Utilizado en la producción actual.	Arena explotada en la mina de la planta, ubicada en el perímetro de la misma.
ARE-004	Arena de grano grueso, mayor que el de la arena ARE-003. Se recomienda realizar una mezcla entre las dos clases, la cual se realizó en el proyecto, mediante una molturación en seco, logrando así un solo tamaño. Utilizado en la producción actual.	Arena explotada en la mina de la planta, ubicada en el perímetro de la misma.

Los desperdicios en la industria ladrillera vienen dados por las pérdidas en la extrusión, secaderos, hornos, y en el transporte interno y externo. El planteamiento del producto comienza por la selección de las materias primas y el diseño de la mezcla, el cual debe cumplir con unos parámetros básicos de caracterización establecidos por la industria ladrillera. A continuación se explican estos momentos y su influencia en el producto mismo.

5.1.2. FACTORES CARACTERIZANTES.

Los factores caracterizantes brindan la información necesaria y suficiente para elegir correctamente las materias primas y el diseño de la mezcla, permitiendo así minimizar al máximo las pérdidas de material en el proceso y las condiciones de producto final según la norma que se le aplique. En el caso de la pieza en gran formato, la regulación se realiza bajo la norma NTC 4205. El siguiente grafico ilustra la razón por la que se toman los factores caracterizantes básicos.



Figura 6. Escala de la diversidad cerámica. Fuente: Archivo de la Ladrillera San Cristóbal S.A.

La cerámica está presente en una amplia variedad de sectores, y la Figura 6 ilustra en forma ascendente los más representativos: 1) la alfarería, 2) la cerámica roja en la cual se encuentra el sector ladrillero, 3) la blanca que hace referencia a vajillería, pisos, paredes y sanitarios, 4) la técnica, y 5) la utilizada por el sector espacial.

Como se ve en las coordenadas, para cada sector existe una exigencia en el control de producción y en los factores caracterizantes, los cuales se hacen más rigurosos a medida que se asciende en el gráfico. Los controles técnicos son más estrictos en la industria ladrillera que en la alfarera, y a su vez son más exigentes en la cerámica blanca que en la roja. Para la cerámica técnica es importante conocer muy precisa e íntimamente todas las variables de las

arcillas a utilizar y del producto a desarrollar, tales como: rayos X, análisis térmico diferencial (DTA) y termo gravimétrico (TG), entre otros. Los equipos de alto costo y el personal especializado que los últimos requieren, si bien pueden aplicarse a la cerámica roja, no resultan absolutamente necesarios y, además encarecerían el costo de la investigación y el desarrollo del producto.

Así las cosas, para este proyecto se resuelve trabajar con los factores caracterizantes ampliamente utilizados en la cerámica roja o industria ladrillera que se exponen a continuación.

5.1.3. TRIÁNGULO DE WINKLER.

La distribución del tamaño de las partículas es en la cerámica una de las variables más importantes. A principios del siglo pasado la ingeniería cerámica alemana realizó estudios sobre las industrias existentes y catalogó las materias primas y sus mezclas de acuerdo al tamaño de sus partículas. Esto dio como resultado un gráfico llamado tradicionalmente “Triángulo de Winkler”, el cual sirve para saber cuál es la aptitud de la materia prima y clasificarla como arcilla, limo o arena. Y, posteriormente, se puede inferir sobre la calidad y la cantidad o porcentaje a usar en la mezcla o en el desarrollo de una pasta cerámica. Esta “aptitud de la materia prima” se utiliza para saber la utilidad de una mezcla determinada, ya sean ladrillos de baja calidad o de alta calidad. En el caso del presente proyecto se requieren materias primas que estén en las zonas de alta calidad.

5.1.4. ÍNDICE DE NOSOVA.

En el proceso cerámico una de las etapas más importantes y delicadas es el secado y por eso se han invertido grandes cantidades de tiempo y dinero en conocerlo y saberlo usar. En particular, el trabajo en una planta que es continua en su estructura requiere más atención, debido a que los secaderos de cámaras que trabajan en baches hacen más compleja la regulación de la etapa de secado. En la ingeniería cerámica se necesita mucho tiempo en el estudio de este proceso, por eso el factor caracterizante más usado en la industria ladrillera es el “Índice de Nosova”, el cual evalúa si determinado material es fácil o difícil de secar. Del uso adecuado de este índice en producción dependen las roturas o cantidad de material fisurado no conforme en el proceso de secado.

5.1.5. CURVA DE BIGOT.

La “Curva de Bigot” es una representación gráfica que relaciona la humedad del material y su contracción. Es un indicativo muy útil para caracterizar materiales cerámicos, en la medida en la que informa la velocidad en la que puede secarse. De esta manera, sirve para definir la etapa de secado, el ciclo y la cantidad de calor a utilizar. En este caso lo empleamos con la intención de desarrollar una pasta cerámica de fácil quema que asegure una disminución de la energía y del tiempo consumido, debido a que la pieza debe estar seca en un periodo inferior a las 24 horas.

5.1.6. AGUA DE REHIDRATACIÓN.

Una vez la pieza cerámica sale del secadero, tiene la tendencia a absorber agua del medio ambiente, es decir, a humectarse. Esta propiedad se puede determinar antes del diseño de la

mezcla, desde la planeación de la pasta cerámica y la selección de las materias primas, para no tener problemas una vez se esté en la etapa de producción, pues es muy frecuente que se encuentren arcillas o componentes de la pasta cerámica que se rehidratan hasta un 15% de su peso después de salir del secadero. Por esta razón, es importante definir si se ingresa directamente en el horno o sirve como almacenamiento de material en el proceso, antes de ingresar a la cocción.

5.1.7. CURVA DE COCCIÓN.

Las piezas de laboratorio, rodajas o “probetas” en este caso, son sometidas a diferentes temperaturas de cocción: 700-800-900-1000 y 1100 grados centígrados, por un tiempo entre 4 horas y 30 minutos. Después de este proceso se determinan las variables de absorción, contracción en quema y pérdidas por ignición. Estas propiedades son importantes para definir la curva de cocción en el horno industrial y, a su vez, para lograr el objetivo propuesto de absorción y contracción en la pieza desarrollada. En la fabricación de la pasta cerámica, se espera cocer las unidades a una temperatura en la cual los valores de absorción estén entre el 15% y 16% respectivamente. Esto asegura que la materia prima empleada haya alcanzado una fase estable en la sinterización.

5.1.8. CARACTERÍSTICAS ESTÉTICAS.

El ladrillo debe cumplir con sus características técnicas, y con otras estéticas como el color y la forma. En este caso, las materias primas fueron seleccionadas de acuerdo al color que alcanzan después de cocidas, ya que se pensó en lograr el terracota característico de los ladrillos.

5.2. ANÁLISIS DE LABORATORIO DE LAS MATERIAS PRIMAS.

A continuación se relacionan los análisis efectuados sobre las materias primas y se hace una descripción básica de la rodaja “probeta” empleada para dar forma a estas y efectuar sus mediciones.

La pieza básica usada en la investigación de laboratorio la denominamos rodaja “probeta”, la cual fue formada manualmente por un anillo de acero de medidas específicas. Las rodajas fueron extraídas cuidadosamente con el fin de efectuar las medidas de peso y tamaño. En la figura 9 se evidencia la rodaja cruda al interior del anillo y una rodaja quemada. El calibrador utilizado es digital, tiene dos cifras decimales con la intención de lograr una medida más confiable.



Figura 7. Medición de rodajas “probetas” fabricadas en el laboratorio para simular el comportamiento de las materias primas a escala de laboratorio.

5.2.1. TRIÁNGULO DE WINKLER.

Los materiales fueron triturados manualmente y tamizados por la malla 40, dispersados en agua mediante licuadora por espacio de 10 minutos, y luego tamizados por malla 200 ASTM. Al material menor de 200 se le realizó distribución de tamaño de partículas por el método del hidrómetro. Los resultados obtenidos se relacionan en la tabla inferior y se grafican posteriormente en el triángulo de Winkler para mirar las aptitudes de las arcillas. El triángulo de Winkler es una herramienta de clasificación muy útil, utilizada desde años atrás por la industria ladrillera para ver la utilidad de las arcillas y su clasificación.

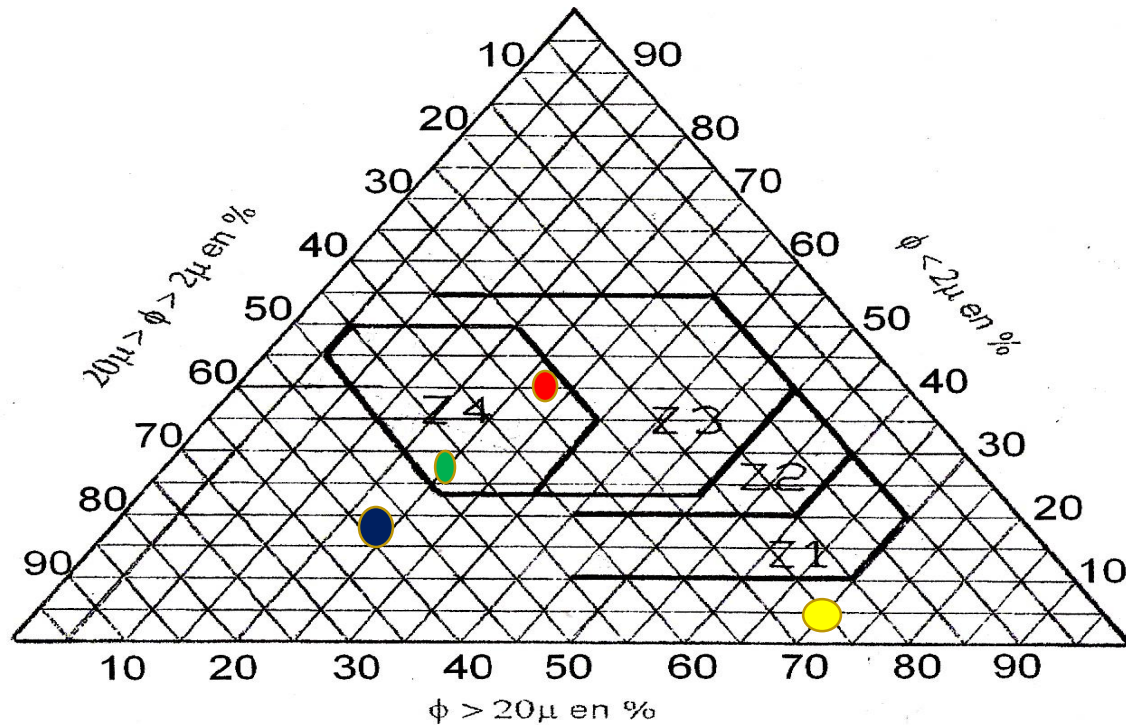


Figura 8 . El triángulo de Winkler muestra dos materiales arcillosos LR-003 y ARC-001, uno limoso ARE-003 y uno arenoso ARE-004.

Tabla 2 . Distribución granulométrica de las materias primas analizadas.

MATERIAL	$\phi > 20\mu$	$20\mu > \phi < 2\mu$	$\phi < 2\mu$	TOTAL
LR-003	29	30	41	100
ARC-001	26	46	28	100
ARE-003	25	57	18	100
ARE-004	71	26	3	100

5.2.2. ÍNDICE DE NOSOVA

Como ya se expresó, el índice de Nosova es un indicativo de la plasticidad y de la sensibilidad de los materiales cerámicos al secado. Muestra cualitativamente la resistencia mecánica del

elemento en crudo. Un índice de 1.0 indica un término medio del secado de la arcilla, superior a 1.5 evidencia dificultades en los secados rápidos y menor a 1.0 revela facilidad para el secado rápido y, a la vez, una resistencia mecánica baja. El nivel de contracción de 6% se considera aceptable, sin embargo, si es mayor de 6% se convierte en un producto de tiempos prolongados y grandes riesgos en el secado, provocando baja productividad, debido a su mayor cantidad de agua libre y ligada en las piezas conformadas. La tabla presentada a continuación ilustra los resultados obtenidos.

CODIGO	NOSOVA	CONTRACCIÓN	DESCRIPCIÓN Y COMPORTAMIENTO
LR-003	1.13	8.8	Material con Índice de Nosova aceptable, no debe presentar problemas de secado con ciclos extensos, contiene alto porcentaje de tamaño de arcilla. Alta contracción para ser un limo.
ARC-001	1.39	6.2	Material con Índice de Nosova aceptable, se debe emplear en bajas concentraciones para no tener problemas de secado. Contracción media normal.
ARE-003	0.09	1.1	Material con Índice de Nosova inferior a 1.0, muy bajo. Contracción baja.

ARE-004	0.06	0.9	Material con índice bajo, no debe presentar problemas de secado. Contracción baja.
---------	------	-----	---

Tabla 3 .Valores del índice de Nosova y contracciones de las muestras analizadas.

5.2.3. CURVA DE BIGOT.

La curva de Bigot relaciona la humedad del material con su contracción, es una información importante para la curva de operación del secadero y el diseño mecánico del mismo. A continuación se muestran las curvas obtenidas de las materias primas, se ilustran primero las que tiene alto contenido de tamaño arcilloso y posteriormente las arenas, debido a la divergencia de sus comportamientos.

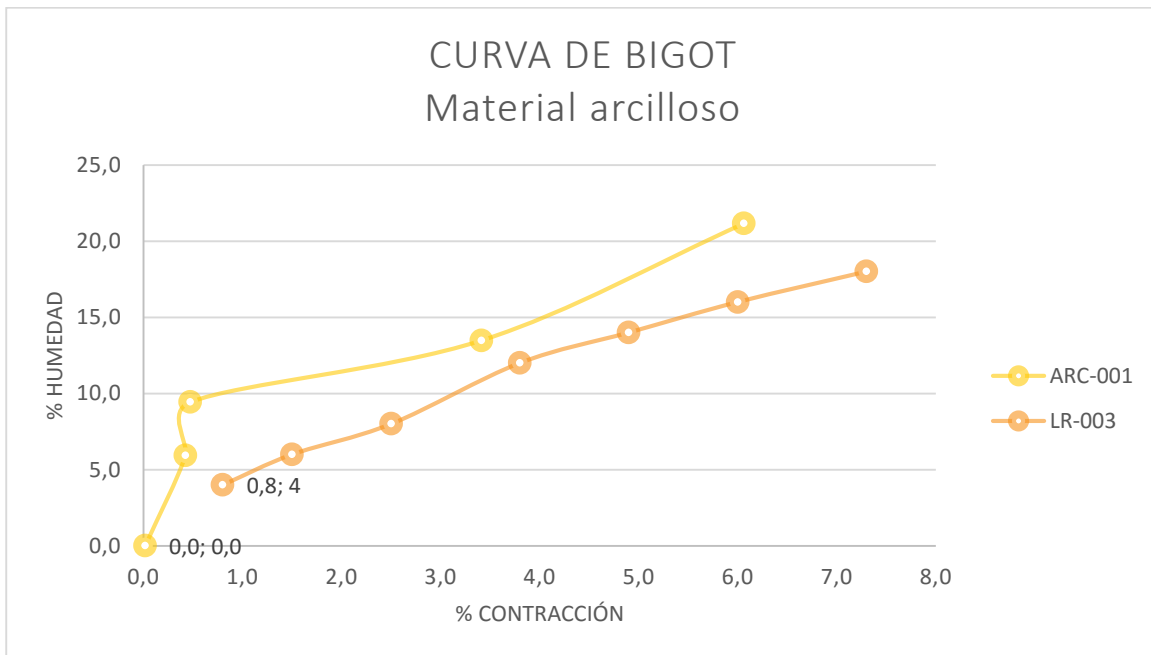


Gráfico 1. Curva de Bigot de los materiales con alto contenido de tamaño arcilla.

En el gráfico 1 se conserva el comportamiento de los materiales arcillosos, no muestran cambios bruscos en la contracción a medida que las piezas van perdiendo humedad. En la gráfica que se expone a continuación se ve el comportamiento de los materiales arenosos. Obsérvese la diferencia en la escalas del eje horizontal entre las dos curvas.

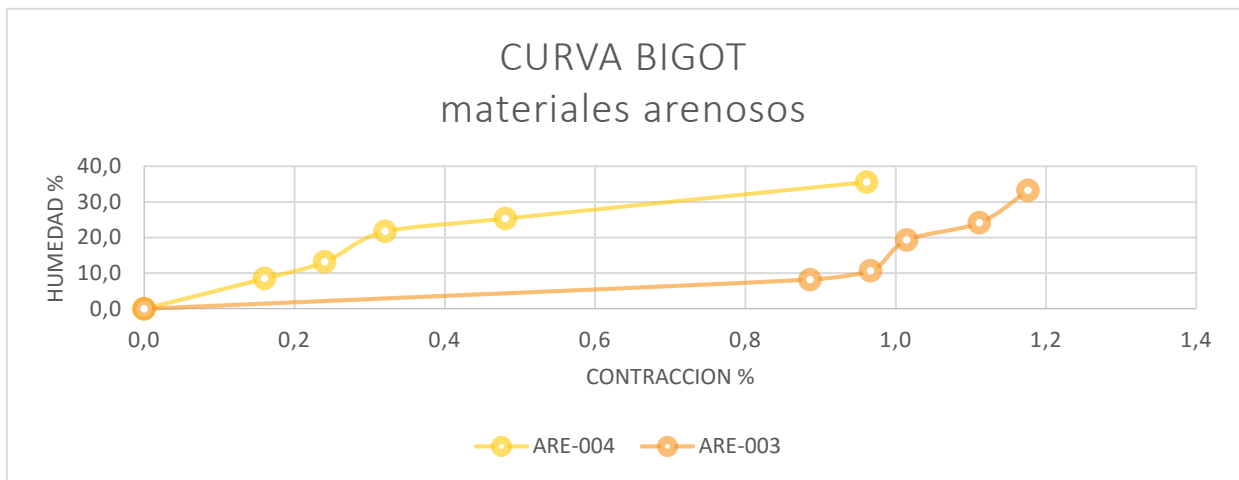


Gráfico 2. Curva de Bigot de los materiales con alto contenido de tamaño arena.

En el

Gráfico 2 se evidencia la compatibilidad de sus materiales. Se pueden usar mezclas de ambos para frenar la contracción de los materiales arcillosos y así acercarse a una mezcla que presente valores de contracción inferiores al 6%.

5.2.4. AGUA DE REHIDRATACIÓN.

El agua de rehidratación es el porcentaje de peso sobre la pieza seca que se absorbe debido a la humedad del medio ambiente. La prueba se realiza en un ambiente con humedad relativa entre 80% y 90 %, con la intención de ahorrar energía y evitar la tensión extra causada por

el peligro de tener grietas superficiales, desconchados o roturas, dependiendo de la gravedad. Además, indica la cantidad de tiempo que pueden estar sometidas las piezas a un almacenamiento al aire libre. A continuación se muestran los datos obtenidos a 24 y 72 horas.

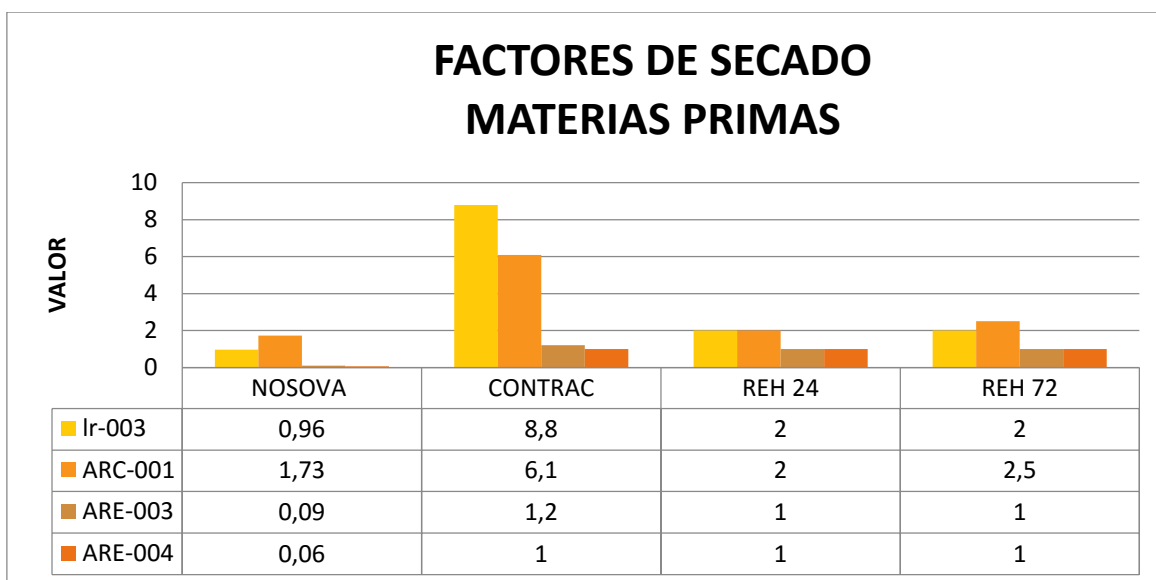


Gráfico 3. Valores de rehidratación para las materias primas analizadas.

En el Gráfico 3 se observa que las variables de secado para las materias primas no presentan valores críticos. El índice de Nosova más alto es el de ARC-001 de 1,73, el cual se puede considerar aceptable, pero los otros están por debajo de 1,0. El agua de rehidratación no supera el 4%, siendo este un valor admisible.

5.2.5. CURVA DE COCCIÓN.

Las rodajas fabricadas con las materias primas fueron sometidas a ciclos de cocción en horno eléctrico de laboratorio. Las temperaturas máximas estudiadas fueron: 700-800-900-1000 y

1100 grados centígrados (C), el tiempo de cocción fue de 4 horas hasta llegar a la temperatura máxima y se mantuvo en esta por 30 minutos.

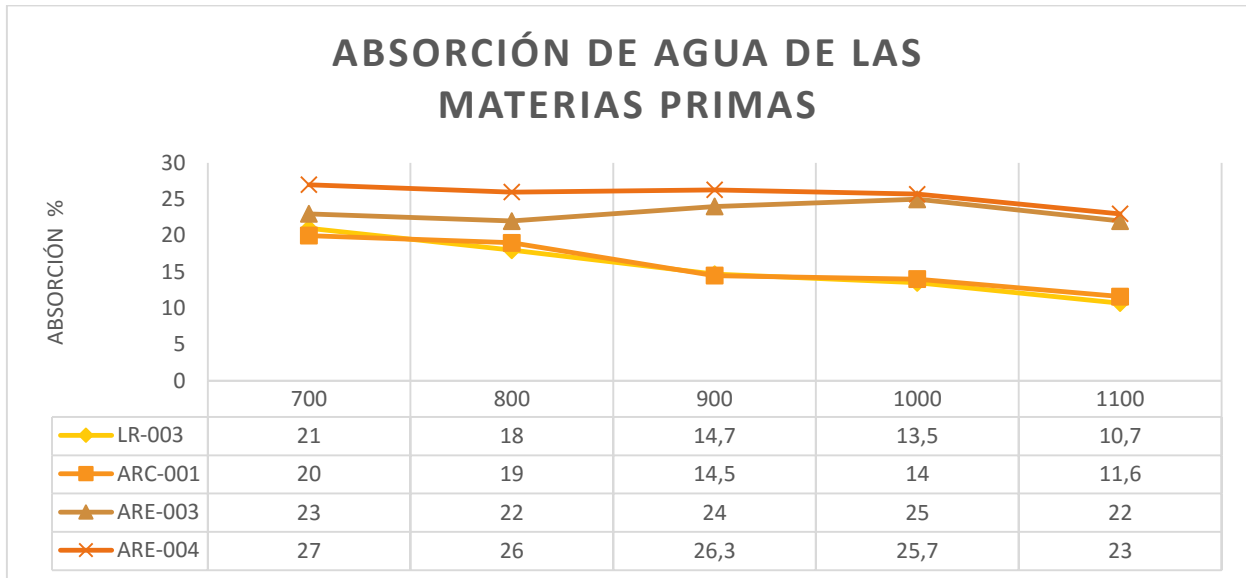


Gráfico 4. Valores encontrados de absorción para cada materia prima a diferentes temperaturas.

Los resultados de cocción son bastante interesantes: se obtuvieron curvas de absorción sin cambios bruscos, lo que permite deducir que no se necesitan condiciones especiales de cocción. Los valores de 14.7- 13.5 % para LR-003 y de 14,5-14 % para ARC-001 muestran que se pueden alcanzar absorciones del 14% al 16 %, lo esperado del producto final.

Las contracciones bajas de las materias primas evidencian que es posible tener una estabilidad dimensional de la pieza. En el caso de un producto de gran tamaño es posible que se presenten alabeos y/o concavidades que den como resultado piezas torcidas poco estéticas, las cuales dificultan las condiciones de instalación en la obra.

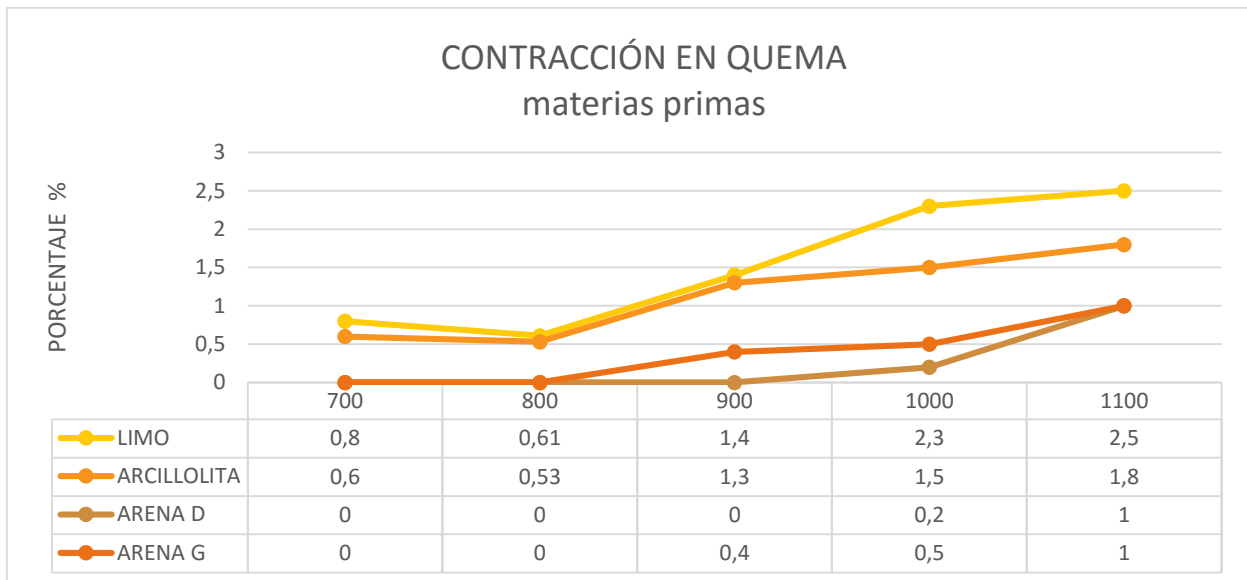


Gráfico 5. Porcentaje de contracción de las piezas con diferentes temperaturas de cocción.

Las pérdidas en quema hacen relación a la materia prima existente y a la pérdida de agua química.

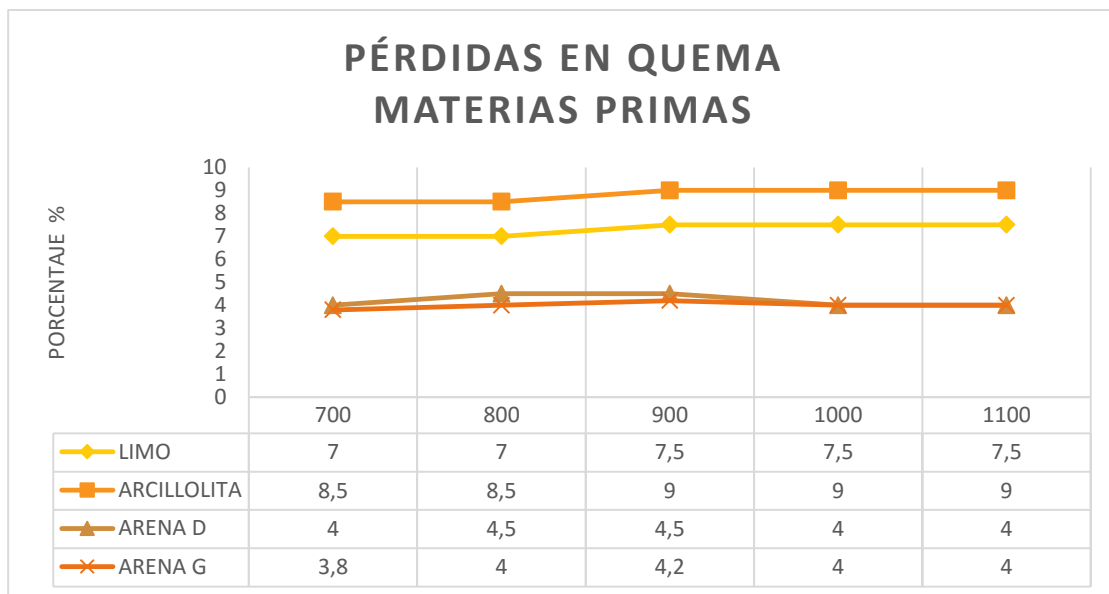


Gráfico 6. Porcentaje de pérdida en la quema de las materias primas analizadas a diferentes temperaturas de cocción.

Como respuesta a los ensayos realizados a las materias primas, se logra clasificarlas en dos grupos: materiales arcillosos y arenosos. Los primeros (LR-003 y ARC-001) proporcionan a la mezcla plasticidad para la extrusión y resistencia mecánica para el manejo de la pieza tanto en crudo como en seco. Facilitan además la baja absorción en quema, lo que se traduce en alta resistencia mecánica de la pieza cocida. Los segundos (ARE-003 y ARE-004) ayudan a frenar la contracción en el proceso de secado y aumentan la absorción de las piezas en la quema.

5.3. DISEÑO DE MEZCLAS.

Para el diseño se tuvo en cuenta principalmente su ubicación en el triángulo de Winkler y se estudiaron los resultados obtenidos en los factores caracterizantes definidos para establecer una mezcla específica. De allí resultaron tres clasificaciones: una arcillosa, otra media y una arenosa.

5.3.1. UBICACIÓN TRIÁNGULO DE WINKLER.

A partir del triángulo de Winkler, se establecieron tres mezclas en áreas diferentes, para observar su conducta a la luz de los factores caracterizantes básicos determinados en este estudio. La tabla siguiente explica el comportamiento de las mezclas en cada una de las zonas del triángulo.

Tabla 4. Principales características de cada una de las zonas del diagrama de Winkler.

Zona	Aptitudes
1	Ladrillos macizos y divisorios comunes.
2	Ladrillos divisorios y de buena calidad.

3	Bovedillas, tejas, ladrillos estructurales y de fachada de buena calidad.
4	Ladrillos de alta calidad, productos de gres resistentes a las heladas, tubos, pisos, adoquines y tejas.

Como se define en la Tabla 4, es necesario definir una pasta cerámica que esté en la zona 4, 3 y 2, en las cuales se puedan obtener ladrillos de buena calidad. La zona 1 no es de interés en este estudio, ya que el producto desarrollado debe ser de alta calidad técnica y estética.

Las mezclas realizadas se denominaron: MEZCLA 1 (M1), MEZCLA 2 (M2) Y MEZCLA 3 (M3). Se tuvo en cuenta la experiencia obtenida por el personal técnico de la fábrica para obtener mezclas arcillosas y arenosas. Los números “redondos” hacen referencia al porcentaje, el cual después se puede escalar a proporciones por volumen. En la industria ladrillera es muy común que las mezclas se hagan por dosificaciones de volquetas o del cargador en la fábrica, como por ejemplo: dos de arcilla y dos de arena.




En nuestro caso se puede entender para la M1: 1 volumen de ARE-003, 3 volúmenes de ARC-001 y 6 volúmenes de LR-003. En la siguiente tabla se ilustran las proporciones en porcentaje de cada mezcla.

Tabla 5. Porcentajes de tamaño en cada una de las mezclas analizadas.

MEZCLAS	MATERIAS PRIMAS (%)			
	ARE-004	ARE-003	ARC-001	LR-003
M1	0	10	30	60
M2	30	20	20	30
M3	60	20	0	20

A las mezclas preparadas se les determinó su distribución granulométrica para ubicarlas en el triángulo de Winkler, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 6. Distribución granulométrica de cada una de las mezclas.

	$\phi > 20\mu$	$20\mu < \phi < 2\mu$	$\phi < 2\mu$
MEZCLA 	1 28	37	35
MEZCLA 	2 42	29	31
MEZCLA 	3 53	33	14

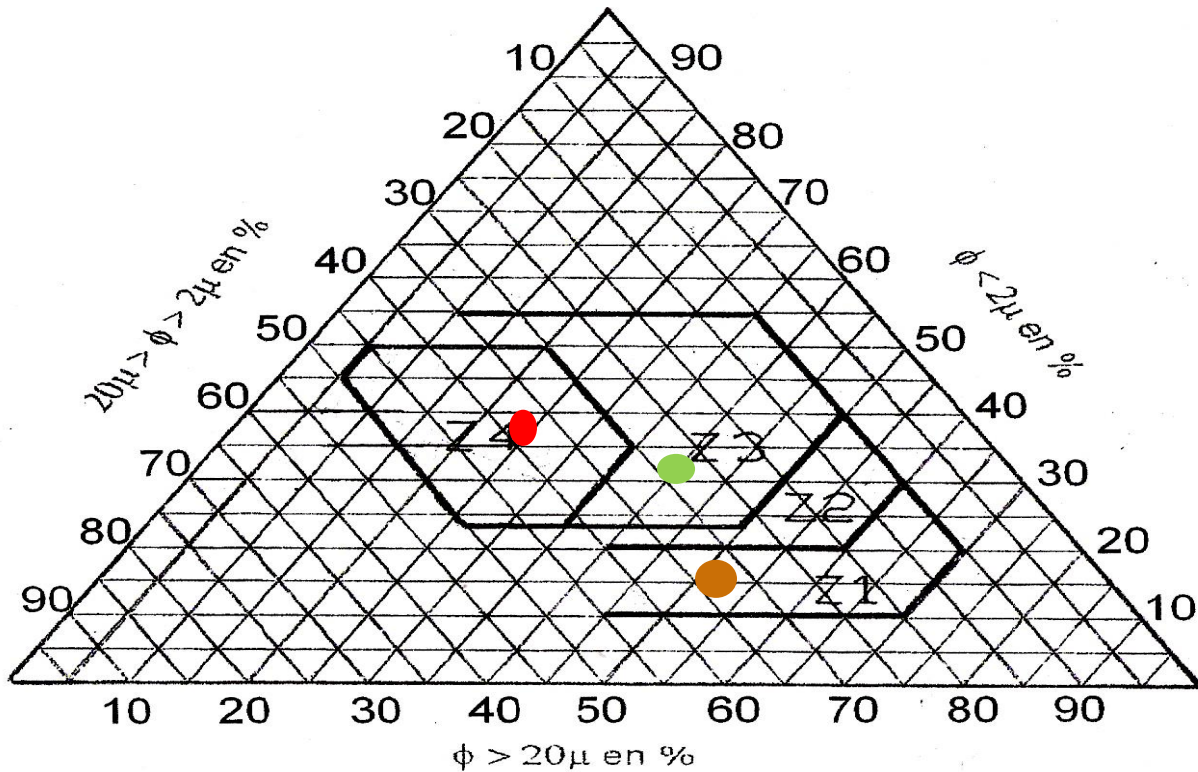


Gráfico 7. Ubicación de los valores obtenidos en cada una de las zonas.

Las mezclas se ven claramente posicionadas de esta manera:

- Mezcla 1 (M1) en la ZONA 4: Productos de gres resistentes a las heladas: Ladrillos de alta calidad, tubos, pisos, adoquines y tejas.
- Mezcla 2 (M2) en la ZONA 3: Bovedillas, tejas, ladrillos estructurales y de fachada de buena calidad.
- Mezcla 3 (M3) en la ZONA 1: Ladrillos macizos y divisorios comunes.

Como se evidencia en el diagrama, las tres mezclas propuestas y desarrolladas están bien posicionadas en las zonas deseadas, sin embargo, para el proyecto nos enfocamos en trabajar con la M2, ya que presenta mejor tolerancia a la fabricación de piezas gran formato. Posteriormente, se continuó con la caracterización de los otros factores determinantes.

5.3.2. INDICE DE NOSOVA.

Los resultados se ilustran en la tabla presentada a continuación:

Tabla 7. Índice de Nosova de cada una de las mezclas desarrolladas.

	NOSOVA	% CONTRAC	REH 24	REH 72
MEZCLA 1 (M1)	1.4	7.2	1.5	2
MEZCLA 2 (M2)	0.7	4.4	1	1
MEZCLA 3 (M3)	0.3	3.6	1	1

Como era de esperarse, el índice de Nosova es más alto para M1 debido a su mayor plasticidad, a pesar de que no es mayor a 1,5. En las otras dos mezclas, M2 y M3, el índice disminuye por el mayor contenido de arena.

Para M1, la contracción 7.2% es mayor de 6%, lo cual se comprende como un referente, pues con su aumento el producto tiende a tener una variación dimensional que puede presentar problemas en el mercado y mayores riesgos de fisuras en la pieza, si no se somete a ciclos lentos de secado. Las otras mezclas presentan niveles de contracción bajos, lo que lleva a tener una baja variación dimensional en quema. Lo anterior deja en evidencia que con ninguna de las mezclas se esperan problemas drásticos de secado, aunque queda claro que unas necesitarán más tiempo que otras.

El agua de rehidratación muestra valores bajos para las tres mezclas, evidenciado uno mayor para M1, debido a su alto componente arcilloso. El gráfico 8 permite realizar una mejor apreciación de las variables del secado.

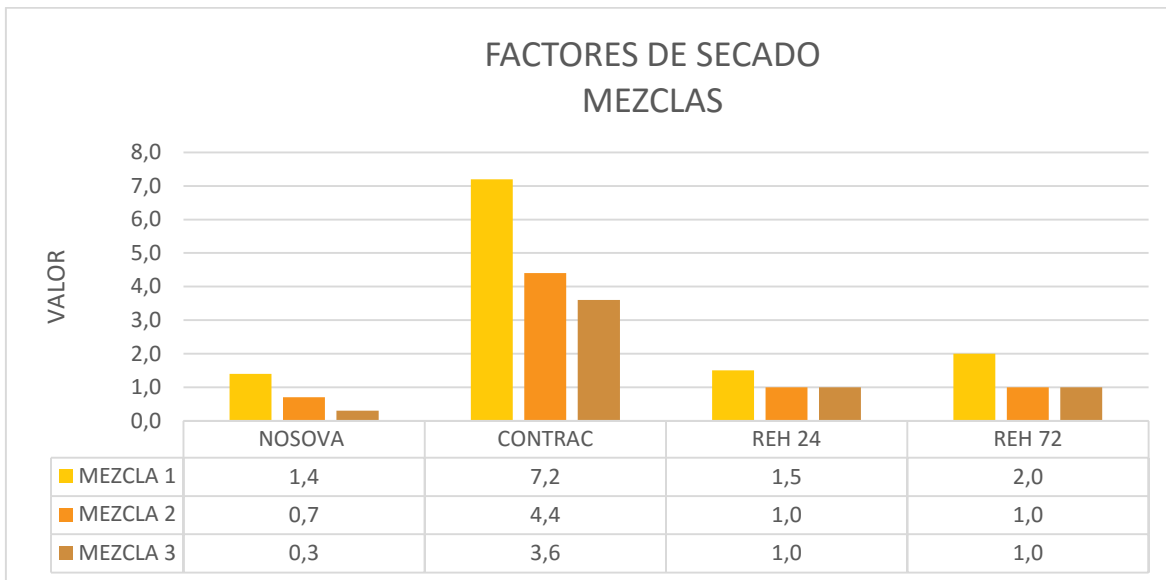


Gráfico 8. Principales factores de secado para cada una de las mezclas desarrolladas.

5.3.3. CURVAS DE BIGOT.

El gráfico 9 ilustra las Curvas de Bigot obtenidas para cada mezcla.

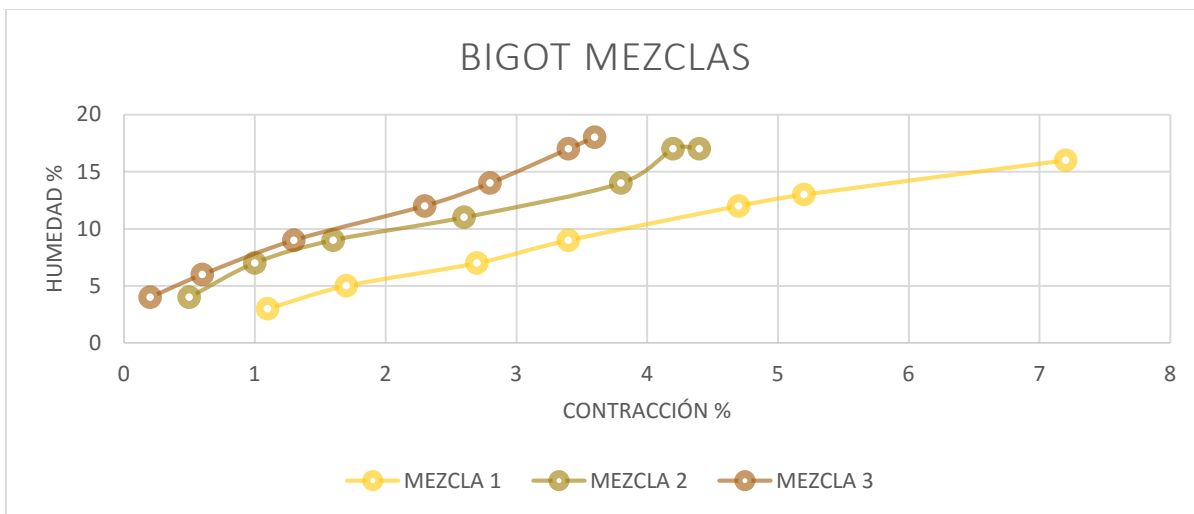


Gráfico 9. Curvas de Bigot para cada una de las mezclas desarrolladas.

Los valores obtenidos son muy alentadores ya que se percibe claramente que M3 presenta una curva típica de materiales arenosos: bajas contracciones a altas humedades. La M2, que es para productos de gran tamaño, está en el intermedio de ambas, demandando mayores precauciones que la mezcla M1, pero menos que la M3. La M1 muestra una curva suave sin cambios bruscos, por lo cual no presentará complicaciones en el secado rápido o a cámaras. De la misma forma, esta mezcla permite maniobrar el secadero para obtener bajas emisiones en esta etapa.

5.3.4. CURVAS DE COCCIÓN.

Los datos obtenidos se muestran gráficamente a continuación.

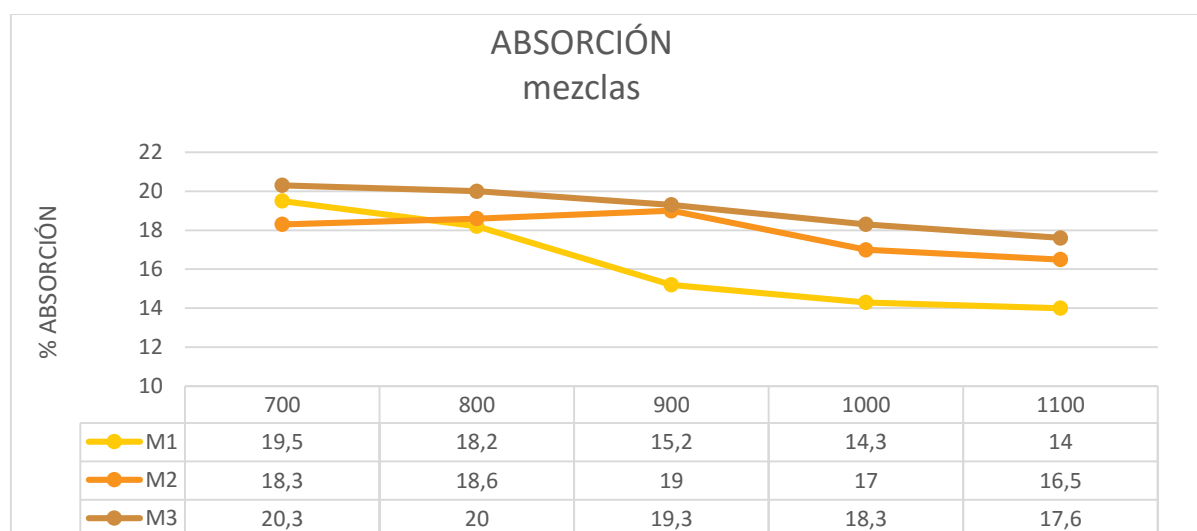


Gráfico 10. Valores de absorción obtenidos de probetas a diferentes temperaturas para las tres mezclas desarrolladas.

Los mejores resultados de absorción se obtienen con la M1: 15.2 % a 900 C y 14.3 a 1000 C, pues están dentro de los valores de la norma. Las otras dos mezclas muestran valores superiores y por fuera de la norma deseada. Los resultados obtenidos para la contracción en quema se exponen en el siguiente gráfico.

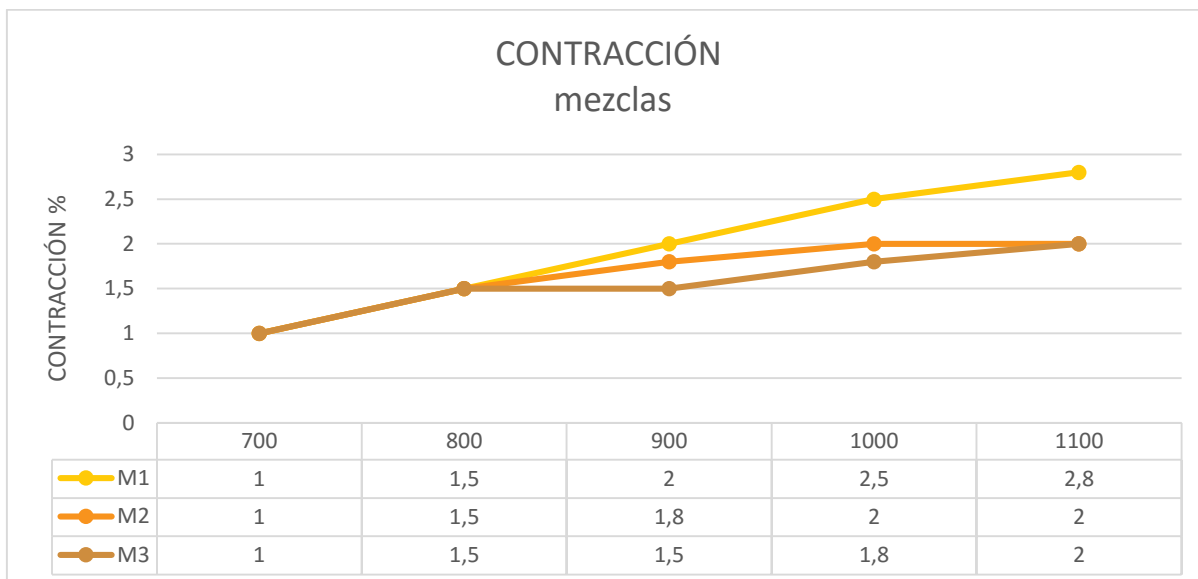


Gráfico 11. Valores de contracción obtenidos de probetas a diferentes temperaturas para las tres muestras desarrolladas.

Los resultados obtenidos son interesantes, en tanto la M1 muestra valores aceptables de 2% y 2.5% a temperaturas de 900 °C y 1000 °C, lo cual es importante para la estabilidad dimensional. Los valores obtenidos para las pérdidas en quema se presentan en el siguiente gráfico.

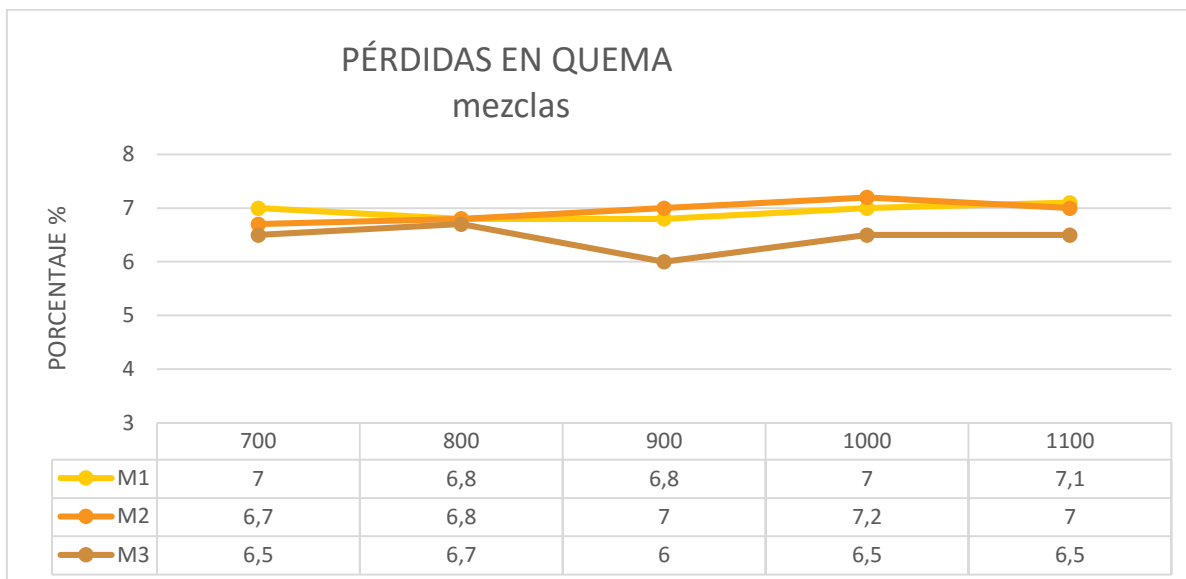


Gráfico 12. Porcentajes de pérdida en secado a diferentes temperaturas para las mezclas desarrolladas.

5.3.5. ANÁLISIS QUÍMICO

El tablero siguiente ilustra los resultados del análisis químico obtenido de la pasta M2 preparada industrialmente y en crudo, realizados por el laboratorio Geoensayos S.A.S.

Tabla 8. Porcentajes de los compuestos encontrados en el análisis químico.

Minerales	REAL %	PERMITIDO %
SILICIO expresado como SiO ₂	56.65	50 -80
TITANIO expresado como TiO ₂	1.28	0.5 - 2.5
ALUMINIO expresado como Al ₂ O ₃	18.86	17.6 - 27.1
HIERRO expresado como Fe ₂ O ₃	8.78	3.0 -6.1
MANGANESO expresado como MnO	0.12	0.1 -0.5
MAGNESIO expresado como MgO	2.1	0.5- 3.0
CALCIO expresado como CaO	3.7	0.5- 4.0

SODIO expresado como Na ₂ O	1.85	0.1 -5.0
POTASIO expresado como K ₂ O	0.77	0.1 - 3.0
FOSFORO expresado como P ₂ O ₅	0.1	0.1 - 1.5
AZUFRE expresado como SO ₃	0.07	Máx. 0.2
VANADIO expresado como V ₂ O ₅	0.04	Máx. 0.2
CROMO expresado como Cr ₂ O ₃	0.04	Máx. 0.2
BARIO expresado como BaO	0.03	Máx. 0.2
PPI (Pérdidas de 105 a 1000°C)	5.53	Máx. 10

El silicio se encuentra en un nivel bajo del 56%, pero aún dentro de lo permitido (50% a 80%), debido a que se escogió una mezcla con más alto contenido de arcillas que de arena. Las más arenosas permiten bajos tiempos de secado y bajas resistencias mecánicas en crudo y en seco. Por otro lado, el aluminio proveniente principalmente de las arcillas está en un nivel bajo, pero aceptable. El hierro presente en un nivel alto favorece al color ladrillo y ayuda a la fundencia en el horno. El sodio, calcio y potasio que actúan como fundentes se ven en niveles normales.

5.3.6. COMPOSICIÓN MINERALÓGICA.

Tabla 9 . Composición mineralógica de la mezcla formulada y con la cual se desarrolló la pieza gran formato.

Material	%
Fase Cuarzo	9.8
Fase albita	27.9

Fase Caolinita	37.6
Fase Moscovita	1.9
Fase Horblenda	17.5
Fase Clinocloro	0.5
Fase Vermiculita	4.8
	100

La presencia de caolinita a este nivel asegura una buena presencia de material arcilloso, suficiente para una conveniente resistencia mecánica en crudo. El cuarzo está a buen nivel, con más del 15% podría convertirse en una pasta arenosa con baja resistencia mecánica tanto en crudo como en quema. La albita está también en un nivel favorable, marcando la presencia de materiales fundentes necesarios para la buena sinterización del mismo.

De los anteriores análisis realizados a las mezclas, se puede concluir a grosso modo lo siguiente. Con las materias primas disponibles se pueden obtener mezclas que permitan fabricar un ladrillo de alta calidad, con absorciones de 14% a 15%, que repercutan en altas resistencias mecánicas al ser tratadas adecuadamente en el proceso térmico de cocción. Por esa razón, no es necesario hacer uso de materias primas lejanas o difíciles de procesar. De esta manera, queda claro que para el proyecto es factible desarrollar un producto de gran formato empleando un gran porcentaje de materias primas de la zona.

Además, las mezclas obtenidas permiten procesos de secado y quema bajo parámetros normales y, a su vez, la realización de maniobras en el proceso que intenten consumir menos cantidad de energía en las etapas de secado y cocción, que en definitiva son las más costosas y las que más impactos pueden llegar a generar en la industria ladrillera.

Se ha decidido que M2 es la mezcla que se acomoda de manera más adecuada a nuestro proceso, pues se encuentra en el intermedio de plasticidad entre las tres muestras comparadas. Si bien M1 permite tener ciclos de secado más rápidos y emplear menos energía, dicha mezcla no supera a M2 en temas de resistencia mecánica, debido a la cohesión que se logra con una mayor cantidad de arcillolita en la pasta cerámica. Además, el Índice de Nosova de 0.7 para la M2 muestra que ella está en el intermedio de las otras dos mezclas, lo suficientemente plástica para resistir el cargue y descargue mecánico, condiciones importantes para los productos de gran formato.

Teniendo estos conceptos definidos, se trabajó en el laboratorio con M2 en los porcentajes de materia prima anteriormente mencionados, siempre con la asesoría técnica del personal de la empresa.

Una vez definidas las proporciones de pasta cerámica a emplear en producción, se llevó a preparación una cantidad aproximada de 30 toneladas. La molturación, que es realmente la esencia de una empresa de cerámica roja, se realizó en sistemas de trituración primaria y secundaria, para la cual suelen emplearse molinos laminadores y de martillos. Los primeros cuentan con una separación de 2 mm que permite trabajar con humedades mayores al 12%, y los segundos facilitan la realización de moliendas de materias primas con humedades por debajo del 10%, llevando a estas a un tamaño de partícula adecuado. Para la fabricación de la pieza gran formato se preparó la dosificación con una humedad del 10%.

La extrusión se realizó con el molde que se diseñó y fabricó para el proyecto, logrando así la fabricación de una pieza con humedades aproximadas entre el 16 % y el 18%, para que la unidad conformada presentara una consistencia firme sin fluctuaciones ni desorientación.

5.3.7. PRODUCCIÓN

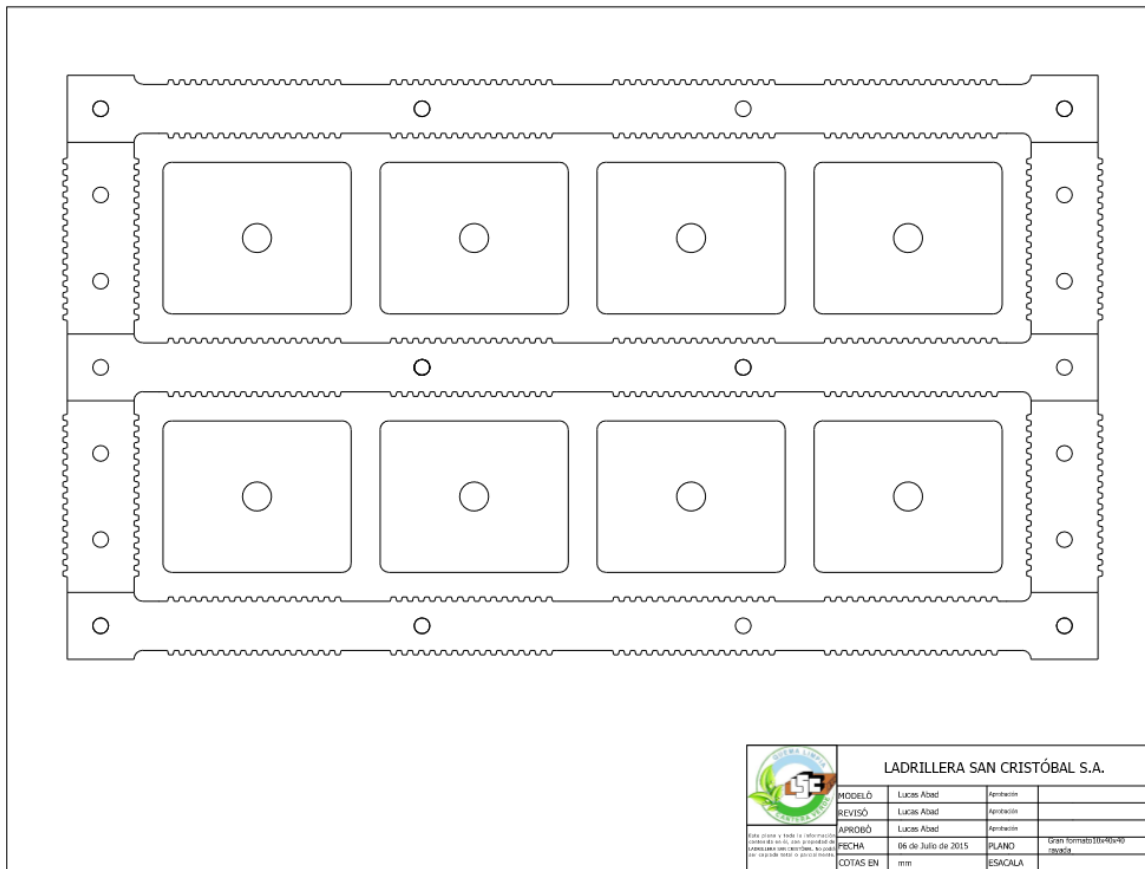


Figura 9. Plano inicial de uno de los moldes empleados para la fabricación de la pieza gran formato.

Se fabricaron piezas con molde de salida múltiple y sencilla.

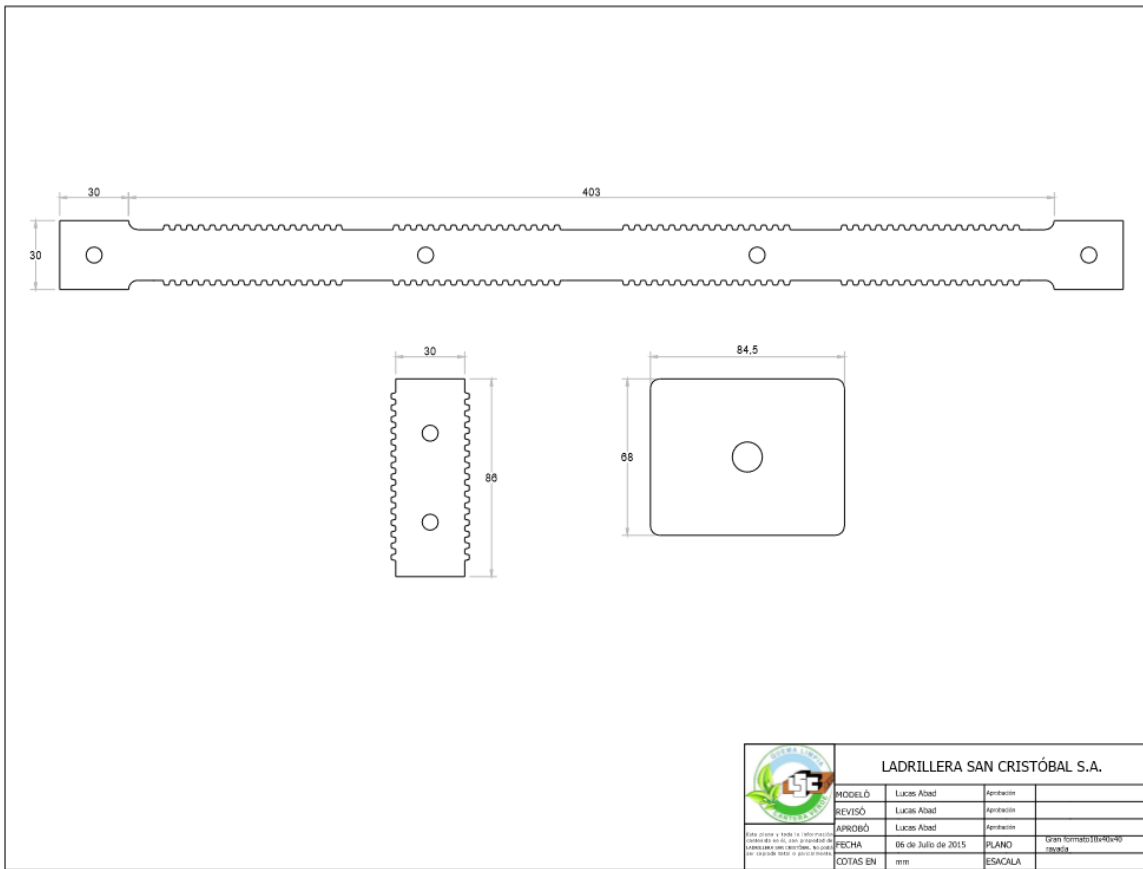


Figura 10. Despiece de los componentes del diseño del molde empleado para la fabricación de piezas gran formato.



Figura 11 . Montaje de uno de los moldes para la fabricación de piezas gran formato.



Figura 12. Ubicación del sistema de corte de las piezas húmedas.

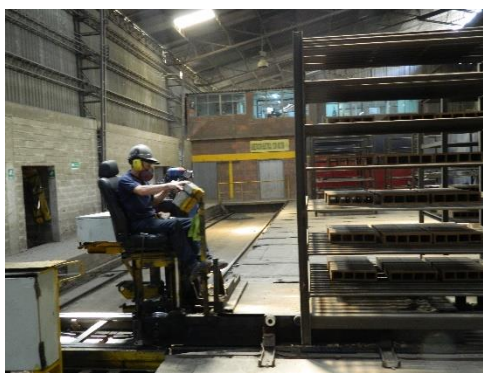
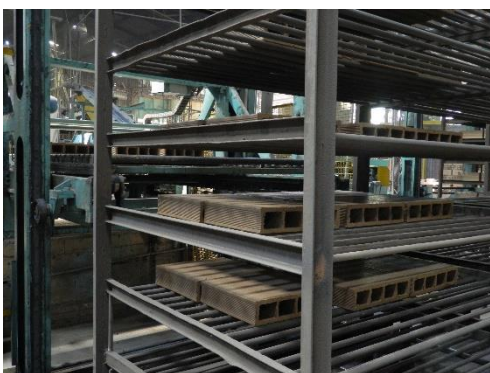


Figura 13. Sistema de transporte en automatismo del producto moldeado a las cámaras de secado.



Figura 14. Ingreso del producto a las cámaras de secado, donde están por un periodo promedio de 24 horas, según las curvas de secado aplicadas.

El secado se realizó empleando dos curvas de secado diferentes, la utilizada por la empresa para la mayoría de sus referencias y la propuesta después de realizar varias mediciones en los secaderos. La variación que se efectuó consistió en programar el *set point* que gobierna la temperatura de los secadores en un valor de 85 grados centígrados, con la idea de reducir los consumos de combustible. Sin embargo, este proceso no pudo cuantificarse claramente debido a que dicha curva se debe realizar por periodos más prolongados a grandes lotes de producción. A pesar de ello, la pieza gran formato, secada bajo estas condiciones, salió con un porcentaje de humedad inferior al 1%. Posiblemente, esto se explique por el resultado de la geometría del producto, ya que el aire seco y caliente circula mejor en estas piezas que en las tradicionales.

En los gráficos Gráfico 13 Gráfico 14 se muestran las curvas de secado para 1440 minutos (24 horas) y se evidencia que es posible conseguir un producto con las propiedades deseadas expuesto a una temperatura menor.

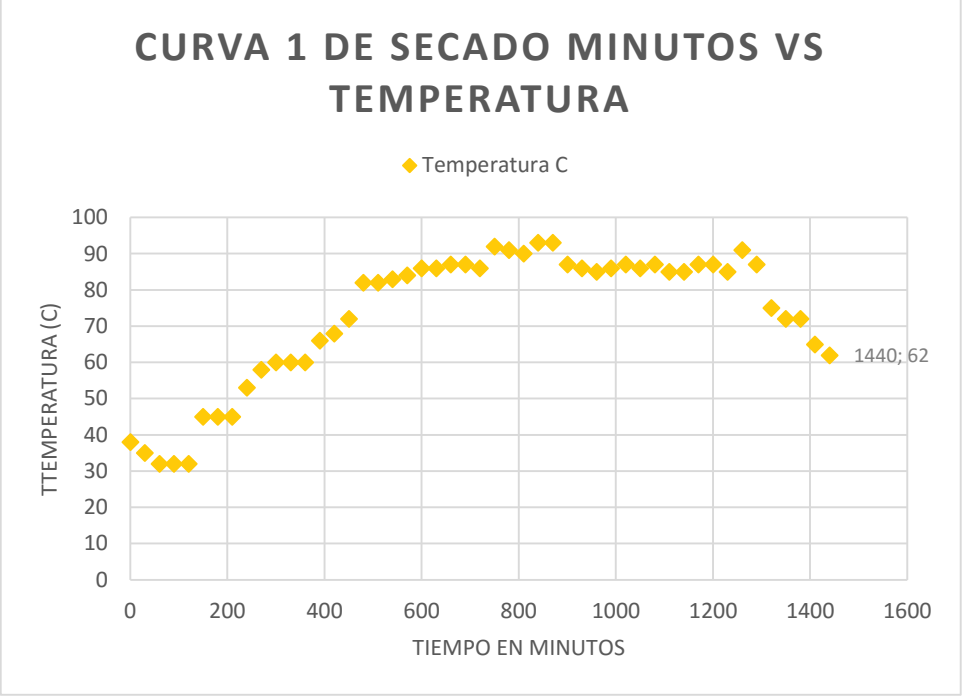


Gráfico 13. Curva de secado 1.

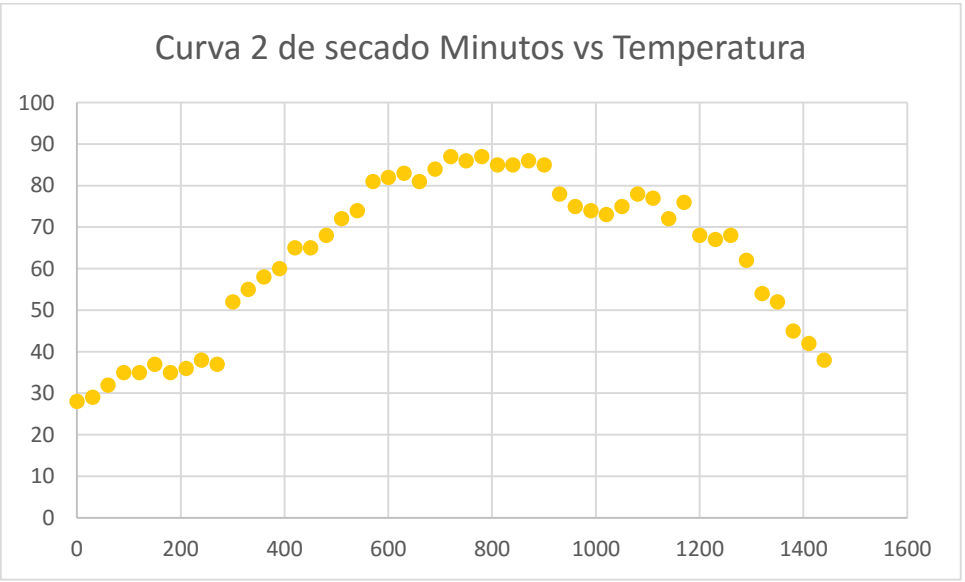


Gráfico 14. Curva de secado 2.

Una vez se secó la pieza, dos lotes diferentes se llevaron a cocción en el horno túnel de la empresa, ya que los análisis realizados a la materia prima nos indicó que entre más energía se le imprimiera a la

cocción de las piezas, más estable sería la sinterización de los componentes, permitiendo así tener menor absorción y mayor resistencia a la compresión de las mismas.

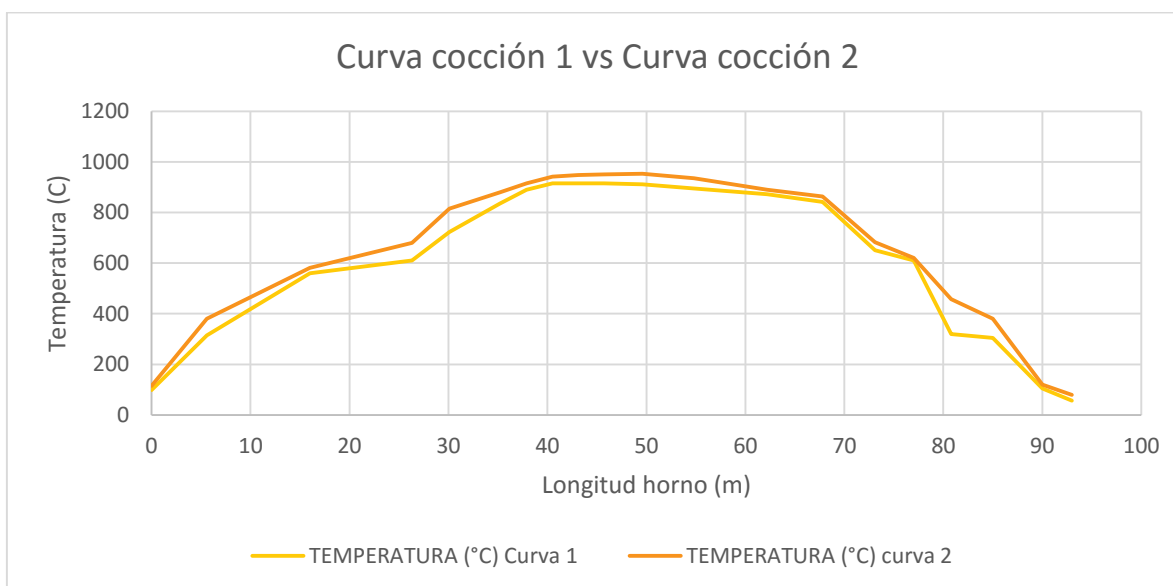


Gráfico 15. Curvas de cocción aplicadas a un mismo lote de producción.

Una vez se trataron térmicamente los dos lotes de producción, con los ciclos de cocción anteriormente planteados, se seleccionaron aleatoriamente cinco unidades de cada ciclo y se llevaron al laboratorio de la empresa Ingeconcreto S.A, para realizar el ensayo de compresión y validar si las piezas daban cumplimiento a lo expresado en la norma NTC 4205. Esta norma plantea que las unidades deben tener como mínimo una resistencia a la compresión de 14 MPa y, con altura mayor a los 20 cm, deben alcanzar el 75% de 14 MPa. Esto indica que la pieza estaría desempeñando a cabalidad la norma técnica colombiana al tener valores por encima de 10.5 MPa.

Tipo	Resistencia mínima a la compresión MPa (Kgf/cm ²)		Absorción de agua máxima en %	
			Interior	
	Prom 5 Unidades	Unidad	Prom 5 Unidades	Unidad
PH	3,0 (30)	2,0 (20)	17	20
PV	14,0 (140)	10,0 (100)	17	20
M	14,0 (140)	10,0 (100)	17	20
Unidades Livianas PH	2,0 (20)	1,5 (15)	17	20

Figura 15. Propiedades físicas de las unidades de mampostería estructural. Fuente: NTC 4205.



Figura 16. Preparación de las piezas para el ensayo de resistencia a la compresión.



Figura 17. Realización del ensayo en la prensa universal.



Figura 18. Gráficas de las cargas aplicadas a diferentes muestras.

INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO No. 24455
LISTADO DE PROBETAS ENSAYADAS

CLIENTE: LADRILLERA SAN CRISTOBAL S.A.

OBRA: LAD.SAN CRISTOBAL PLANTA ITAGUI (cod: 5806)

ORDENADO POR: LUCAS ABAD

PV : Perforacion Vertical M : Macizo

DIRECCION: VEREDA LOS GOMEZ-ITAGUI

PH : Perforacion Horizontal E : Estructural

PVR : Perforacion Vertical Rellena NE : No Estructural

FECHA INFORME: 25/11/15

INFORMACION PROBETAS			FECHA		DIMENSIONES	DESCRIPCION
TIPO	MUESTRA	PROBETA	ELABORACION	ENSAYO	NOMINALES	
5	423	0001		24/11/15	10*40*40	PANEL QUEMA 1
5	423	0002		24/11/15	10*40*40	PANEL QUEMA 1
5	423	0003		24/11/15	10*40*40	PANEL QUEMA 1
5	423	0004		24/11/15	10*40*40	PANEL QUEMA 1
5	423	0005		24/11/15	10*40*40	PANEL QUEMA 1

INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO No. 24455
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MAMPOSTERÍA
DE UNIDADES DE ARCILLA, CONCRETO Y MURETES
NORMAS: (NTC 4017:2005) - (NTC 4024:2001) - (NTC 3495:2003)

CLIENTE: LADRILLERA SAN CRISTOBAL S.A.

OBRA: LAD.SAN CRISTOBAL PLANTA ITAGUI (cod:5806) Tipo 2 : Murete

ORDENADO POR: LUCAS ABAD

Tipo 3 : Bloques de Concreto Tipo 3A : Bloques+ %Absorcion

DIRECCION: VEREDA LOS GOMEZ-ITAGUI

Tipo 5 : Ladrillo de Arcilla Tipo 5A : Ladrillo + %Absorcion

FECHA INFORME: 25/11/15

TIPO	MUESTRA No.	PROBETA No.	DIMENSIONES [mm]			ESPEORES [mm]			FACTOR		AREA [cm ²]			CARGA (kN)	Resistencia (MPa)	Aa %
			a	h	L	ep	et	ete	h/a	Fce	Celda	Bruta	Neta			
5	423	0001	90	376	395	15	17		0.0	0.00	204	356	152	241	15.9	
5	423	0002	91	375	396	15	17		0.0	0.00	206	360	154	299.03	19.4	
5	423	0003	91	376	395	15	17		0.0	0.00	206	359	153	242.96	15.9	
5	423	0004	90	377	396	16	17		0.0	0.00	205	356	151	282.29	18.7	
5	423	0005	92	375	396	15	17		0.0	0.00	206	364	158	292.09	18.5	

Figura 19. Resultados de la resistencia a la compresión para las muestras tratadas térmicamente con la primera curva de cocción, el resultado promedio es de 17.66 MPa, dando cumplimiento a la norma.

INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO No. 24449
LISTADO DE PROBETAS ENSAYADAS

CLIENTE: LADRILLERA SAN CRISTOBAL S.A.

OBRA: LAD.SAN CRISTOBAL PLANTA ITAGUI

(cod: 5806)

ORDENADO POR: LUCAS ABAD

DIRECCION: VEREDA LOS GOMEZ-ITAGUI

FECHA INFORME: 25/11/15

PV : Perforacion Vertical M : Macizo

PH : Perforacion Horizontal E : Estructural

PVR : Perforacion Vertical Rellena NE : No Estructural

INFORMACION PROBETAS			FECHA		DIMENSIONES	DESCRIPCION
TIPO	MUESTRA	PROBETA	ELABORACION	ENSAYO	NOMINALES	
5	422	0001		24/11/15	10*40*40	PANEL QUEMA 2
5	422	0002		24/11/15	10*40*40	PANEL QUEMA 2
5	422	0003		24/11/15	10*40*40	PANEL QUEMA 2
5	422	0004		24/11/15	10*40*40	PANEL QUEMA 2
5	422	0005		24/11/15	10*40*40	PANEL QUEMA 2

INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO No. 24449
 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MAMPOSTERÍA
 DE UNIDADES DE ARCILLA, CONCRETO Y MURETES
 NORMAS: (NTC 4017:2005) - (NTC 4024:2001) - (NTC 3495:2003)

CLIENTE: LADRILLERA SAN CRISTOBAL S.A.

OBRA: LAD.SAN CRISTOBAL PLANTA ITAGUI (cod:5806) Tipo 2 : Murete
 ORDENADO POR: LUCAS ABAD Tipo 3 : Bloques de Concreto Tipo 3A : Bloques+ %Absorcion
 DIRECCION: VEREDA LOS GOMEZ-ITAGUI Tipo 5 : Ladrillo de Arcilla Tipo 5A : Ladrillo + %Absorcion
 FECHA INFORME: 25/11/15

TIPO	MUESTRA No.	PROBETA No.	DIMENSIONES [mm]			ESPESORES [mm]			FACTOR		AREA [cm ²]			CARGA (kN)	Resistencia (MPa)	Aa %
			a	h	L	ep	et	ete	h/a	Fce	Celda	Bruta	Neta			
5	422	0001	90	386	394	16	17		0.0	0.00	172	355	183	426.67	23.3	
5	422	0002	91	387	394	17	17		0.0	0.00	172	359	187	503.74	26.9	
5	422	0003	91	388	395	16	17		0.0	0.00	171	359	188	540.08	28.7	
5	422	0004	91	386	395	17	17		0.0	0.00	172	359	187	586.12	31.3	
5	422	0005	90	386	395	16	17		0.0	0.00	173	356	183	601.17	32.9	

Figura 20. Resultados de la resistencia a la compresión para las muestras tratadas térmicamente con la segunda curva de cocción. El resultado es más alto que el anterior con valor promedio de 28.62 MPa, dando cumplimiento a la norma.

Los resultados de la resistencia a la compresión son muy alentadores, en tanto los dos tratamientos que se le realizaron a las piezas en el horno arrojaron valores muy por encima de lo que demanda la norma, a pesar de que esta es una de las más exigentes a nivel mundial debido a la interpretación que se le ha dado.

El primer lote, con absorciones en las piezas cocidas de 15.7%, presenta promedio de 17.66 MPa, estando 6.41 MPa por encima de los requerimientos mínimos, lo que indica valores superiores al 68.19%. Además, los resultados indican que las piezas están cumpliendo tolerancia dimensional. Por otro lado, el tratamiento realizado con la segunda curva de cocción arroja valores más positivos: absorciones de las piezas cocidas de 15.4% y un promedio de las cinco muestras con valores promedio de 28.62 MPa, lo que indica que está 17.37 MPa por encima del requerimiento mínimo con un aumento del 172.58% de los valores permisibles para un producto de dichas características en el mercado.

Los resultados anteriormente mencionados dan un diagnóstico positivo a las piezas de gran formato fabricadas. Esto quiere decir que las materias primas seleccionadas y la pasta cerámica conformada,

tratadas adecuadamente en los ciclos de secado y cocción, dan valores muy por encima de lo que requiere la norma técnica que se le aplica. A pesar de que podría pensarse que por esta razón no habría objeción para la oferta de este producto, pues las resistencias de dichas piezas están muy por encima de lo que ofrece el mercado en el departamento de Antioquia.

Las piezas resultantes de los lotes se emplearon en la fabricación de algunos muros, donde se calculó el consumo de material de pega, para cuantificar su utilización en el sistema tradicional y el desarrollado. Posteriormente, se incluyen estos resultados en los dos modelos simulados en el Análisis de ciclo de vida, como se expone a continuación.



Figura 21. Muro tradicional, donde se requieren 12.5 unidades por metro cuadrado del adobe tradicional, con juntas de pega recomendables de 1 cm.



Figura 22. Muro construido, con las piezas desarrollas en el proyecto, donde se requieren 6.25 unidades por metro cuadrado, con juntas de pega de 1 cm.

5.3.8. CONSUMO DE MORTERO

A continuación se muestra el modelo de cálculo de las unidades empleadas por muro y el mortero empleado para este.

$$\frac{m^3 \text{mortero}}{\text{unidad}} = (L_u + h_u) \times t_u \times e \times \text{desperdicio}$$

$$\frac{\text{Unidades}}{m^2 \text{muro}} = \frac{L_m}{L_u} \times \frac{h_m}{h_u}$$

$$\frac{m^3 \text{mortero}}{m^2 \text{muro}} = \frac{m^3 \text{mortero}}{\text{unidad}} \times \frac{\text{Unidades}}{m^2 \text{muro}}$$

Donde: $L_u = \text{Longitud de la unidad}$

$$h_u = \text{Altura de la unidad}$$

$$T_u = \text{Espesor de la unidad}$$

$$e = \text{Espesor del muro}$$

$L_m = \text{Longitud del muro}$

$h_m = \text{Altura del muro}$

En las tablas Tabla 10

Tabla 11 se exponen los resultados obtenidos para ambos tipos de ladrillos.

Tabla 10. Consumo de mortero por m^2 de unidad tradicional.

Consumo de mortero por m^2 de unidad tradicional	
Número unidades/m^2muro=	12,5
m^3 mortero/unidad=	0,00069
m^3 mortero/m^2muro=	0,008625

Tabla 11. Consumo de mortero por m^2 de unidad gran formato.

Consumo de mortero por m^2 de unidad gran formato	
Número unidades/m^2muro=	6,25
m^3 mortero/unidad=	0,0008400
m^3 mortero/m^2muro=	0,00525

En la Tabla 12 se muestran los consumos de mortero discriminando cada uno de los materiales que lo componen.

Tabla 12. Comparación de los consumos de materiales de pega por m² para ambos tipos de ladrillos.

Cantidad de materiales para un metro cuadrado	Tradicional	Gran Formato	Diferencia/ m2	%
Cemento (kg)=	3,88125	2,3625	1,51875	39
Arena de media pega (m3) =	0,00940125	0,0057225	0,00368	39
Agua (l)=	8,553309	5,206362	3,34695	39

Los valores obtenidos indican que con el sistema de piezas de gran formato se está empleando aproximadamente un 39% menos de insumos por cada metro cuadrado construido. Esto favorece la utilización de la pieza en la construcción, ya que al implementarla en obra los constructores pueden ver reflejada la disminución de materias como cemento, arena y agua, y los tiempos de ejecución con las mismas. Los valores de los consumos para cada modelo sirven para alimentar uno y otro sistema en la simulación del Análisis de ciclo de vida.

Tabla 13. Análisis de los valores de la producción, con las dos referencias estudiadas en el proyecto.

Pieza	Ladrillo 10x20x40 (unidades)	Panel 10x40x40 (unidades)
Estantería disponible por línea de producción	162,00	162,00
Unidades/ estantería	294,00	84
Unidades/cámaras de secado en cada turno	47.628,00	13608
Factor de pérdidas 2%	45.246	13335

\$/promedio venta	750,00	2.100,00
Peso/unidad Kg	5,70	11,00
Toneladas/línea de producción	271,48	149,69
Valor \$/kg vendido	131,58	190,91

Para el desarrollo de la pieza gran formato se realizó un análisis de los valores que pueden llegar a representar la fabricación de dicho producto, específicamente en una de las líneas de producción en la que se elabora actualmente el adobe. La conclusión más importante es que el valor vendido de cada kg producido por la empresa puede llegar a incrementar en un 45% si se aprovecha la capacidad en la fabricación de una pieza gran formato, ya que su precio de venta es mayor que el de una pieza tradicional.

Esta simulación indica los pasos que se deben seguir para hacerlo realidad. De esta manera, se tendrían que realizar algunas variaciones en el sistema productivo de la planta, con la intención de llegar a fabricar productos de mayor valor agregado que, a la vez, sirvan de alternativas para que el sector constructivo minimice impactos y reduzca la cantidad de insumos empleados en sus obras.

5.4. MODELO DEL CICLO DE VIDA

El modelo ciclo de vida se realizó en el software Umberto NXT LCA®, diseñado en 1994 por Ifu Institut für Umweltinformatik Hamburg GmbH (Ifu Hamburg GmbH), el cual pretende revelar los impactos ambientales de procesos, productos, servicios y empresas. De este software existen varias versiones: el NXT LCA planteado para el Análisis de ciclo de vida, el NXT CO2 para el cálculo de huella de carbono, el NXT Efficiency para la optimización de procesos y el NXT Universal que contiene las tres herramientas anteriores.

NXT LCA trabaja bajo la metodología ISO 14040 y 14041 para el Análisis de Ciclo de Vida y cálculo de huellas ambientales. Posee una interfaz gráfica que permite modelar los diferentes sistemas a analizar mediante la generación de diagramas Sankey, los cuales están basados en la ilustración de los flujos de materiales o energía del modelo estudiado (IFU HAMBURG, 2015). Adicionalmente, este software tiene enlazadas las bases de datos mundiales más grandes dentro de las cuales se encuentran GaBi y Ecoinvent.

A continuación, en la Tabla 14, se muestra la iconografía empleada por el software para facilitarle al lector el análisis de los diagramas Sankey.

Tabla 14. Iconografía software Umberto NXT LCA.

ICONO	DESCRIPCIÓN
	Proceso
	Entradas
	Salidas
	Material intermedio
	Conexiones
	Flujos principales

5.4.1. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCES

En la metodología del Análisis de Ciclo de Vida, según la norma ISO 14040, el objetivo debe establecer:

- Las razones para realizar el estudio
- La aplicación prevista
- El público previsto
- El uso de los resultados del estudio

5.4.1.1. RAZONES PARA REALIZAR EL ESTUDIO

El proyecto busca evaluar una pieza de gran formato y un ladrillo tradicional utilizando la metodología de Análisis de Ciclo de Vida, para seleccionar así la alternativa de más bajo impacto ambiental. Las piezas a evaluar son un panel gran formato de 10 cm x 40cm x 40 cm y un ladrillo tradicional de 10 cm x 20 cm x 40 cm.



Figura 23 Productos Ladrillera San Cristóbal S.A.

5.4.1.2. APLICACIÓN PREVISTA

Documentar un caso de estudio con fines académicos que pueda también brindar una alternativa de un producto que, con las mismas características técnicas, tenga un impacto menor para el medio ambiente

5.4.1.3. PÚBLICO PREVISTO

Una vez realizada la evaluación de los impactos ambientales para los dos tipos de ladrillos, se realizará un análisis para determinar los puntos críticos, como la cantidad de material para la producción, los tiempos de cocción y secado, el material de pega en la instalación. Y, con los resultados, tomar decisiones en áreas de producción y mercadeo, para ofrecer al usuario, constructoras y cliente final, una alternativa con menor impacto ambiental, que conserve todas las características de calidad.

5.4.1.4. USO DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en este estudio serán de aplicación tanto académica como industrial. Se pretende proveer de información valiosa a la Ladrillera San Cristóbal S.A., con la cuál esta pueda tomar decisiones importantes acerca de su producción.

5.4.2. ALCANCE

La definición del alcance de un estudio de ciclo de vida, según la norma ISO 14040, incluye los siguientes puntos:

- El sistema producto a estudiar
- Las funciones del sistema producto
- La unidad funcional
- Los límites del sistema
- Los procedimientos de asignación
- Las categorías de impacto seleccionadas y la metodología de evaluación de impacto
- Los requisitos relativos a los datos

- Las suposiciones
- Las limitaciones

5.4.2.1. SISTEMA PRODUCTO A ESTUDIAR

Dentro del análisis que se realiza, se desea comparar una pieza de gran formato y un ladrillo tradicional, desde la extrusión hasta la disposición final. Además, se modelará y cuantificarán impactos a partir de la extracción de las materias primas, fase que no se tendrá en cuenta en el análisis de comparación, pues es igual para ambos sistemas.

5.4.2.2. MATERIAS PRIMAS E INFRAESTRUCTURA

Las principales materias primas requeridas para la fabricación de ladrillos son:

- Arcillolita
- Limo
- Arenilla

Sin embargo, para el proceso de manufactura, distribución, uso y disposición son necesarios otros materiales como:

- Combustibles
- Aceite y lubricantes
- Grava
- Cemento
- Energía eléctrica
- Agua

Al realizar el modelo en el software Umberto NXT LCA es posible extraer un inventario de las sustancias utilizadas, como se presenta a continuación.

Tabla 15. Inventario de ciclo de vida.

MATERIAL	UNIDA	CANTIDAD	CANTIDAD	DIFERENCIA	COCIENTE	%
	DES	TRADICIONAL	GRAN FORMATO			
Water, cooling, unspecified natural origin [natural resource/in water]	m ³	7,89869E-05	4,09908E-05	-3,7996E-05	0,52	48%
Energy, gross calorific value, in biomass [natural resource/biotic]	MJ	0,001875315	0,001072867	-0,000802448	0,57	43%
Gravel, in ground [natural resource/in ground]	Kg	19,25922776	11,13601682	-8,123210934	0,58	42%
Clay, bentonite, in ground [natural resource/in ground]	Kg	1,737799037	1,00752844	-0,730270597	0,58	42%
Energy, potential (in hydropower reservoir), converted [natural resource/in water]	MJ	4,17037E-11	2,4478E-11	-1,72257E-11	0,59	41%
Coal, brown, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,000319619	0,000209075	-0,000110544	0,65	35%
Calcite, in ground [natural resource/in ground]	Kg	4,14235E-08	2,71871E-08	-1,42364E-08	0,66	34%
Carbon dioxide, in air [natural resource/in air]	Kg	1,17301E-07	7,69874E-08	-4,03135E-08	0,66	34%
Oil, crude, in ground [natural resource/in ground]	Kg	2,00679E-07	1,33239E-07	-6,74408E-08	0,66	34%
Gas, natural, in ground [natural resource/in ground]	Kg	1,6947E-08	1,12944E-08	-5,65264E-09	0,67	33%
Gypsum, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,150104349	0,100394677	-0,049709672	0,67	33%
Energy, geothermal, converted [natural resource/in ground]	MJ	7,04188E-06	4,71186E-06	-2,33003E-06	0,67	33%

Energy, kinetic (in wind), converted [natural resource/in air]	MJ	1,83257E-06	1,22745E-06	-6,05116E-07	0,67	33%
Gas, mine, off-gas, process, coal mining [natural resource/in ground]	Kg	5,249119706	3,515986137	-1,733133569	0,67	33%
Iron, 46% in ore, 25% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	4,40798E-08	2,96942E-08	-1,43856E-08	0,67	33%
Gangue, bauxite, in ground [natural resource/in ground]	Kg	15,48960853	10,53834188	-4,951266648	0,68	32%
Oxygen [natural resource/in air]	Kg	0,00209787	0,001472019	-0,000625852	0,70	30%
Nitrogen [natural resource/in air]	Kg	1,07229E-05	7,527E-06	-3,19592E-06	0,70	30%
Aluminium, 24% in bauxite, 11% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	7,4953E-06	5,27602E-06	-2,21928E-06	0,70	30%
Barite, 15% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	5,53369E-05	3,95753E-05	-1,57615E-05	0,72	28%
Magnesite, 60% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,00028501	0,000206599	-7,84111E-05	0,72	28%
Wood, hard, standing [natural resource/biotic]	m ³	2,66767E-06	1,97713E-06	-6,90539E-07	0,74	26%
Nickel, 1.98% in silicates, 1.04% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,077276229	0,058056527	-0,019219701	0,75	25%

TiO₂, 54% in ilmenite, 18% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	9,20519E-10	6,92077E-10	-2,28442E-10	0,75	25%
Sodium chloride, in ground [natural resource/in ground]	Kg	7,84633E-09	5,89913E-09	-1,94719E-09	0,75	25%
Peat, in ground [natural resource/biotic]	Kg	0,00138457	0,001045997	-0,000338573	0,76	24%
Kaolinite, 24% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	6,23103E-06	4,7282E-06	-1,50283E-06	0,76	24%
Dolomite, in ground [natural resource/in ground]	Kg	3,06743E-05	2,3278E-05	-7,3963E-06	0,76	24%
Copper, 0.52% in sulfide, Cu 0.27% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	9,11148E-05	6,91448E-05	-2,19699E-05	0,76	24%
Chromium, 25.5% in chromite, 11.6% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	2,75432E-05	2,09028E-05	-6,64043E-06	0,76	24%
Carbon, organic, in soil or biomass stock [natural resource/in ground]	Kg	0,00011306	8,58117E-05	-2,72485E-05	0,76	24%
Basalt, in ground [natural resource/in ground]	Kg	1,77842E-09	1,35368E-09	-4,2474E-10	0,76	24%
Manganese, 35.7% in sedimentary deposit, 14.2% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	1,71131E-08	1,3026E-08	-4,08712E-09	0,76	24%
Zinc, 9.0% in sulfide, Zn 5.3%, Pb, Ag, Cd, In, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,000686081	0,00052367	-0,000162411	0,76	24%
Energy, solar, converted [natural resource/in air]	MJ	5,42378E-06	4,17552E-06	-1,24826E-06	0,77	23%

Zirconium, 50% in zircon, 0.39% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	3,33355E-07	2,56806E-07	-7,65485E-08	0,77	23%
Metamorphous rock, graphite containing, in ground [natural resource/in ground]	Kg	1,1677E-11	9,03616E-12	-2,64089E-12	0,77	23%
Lead, 5.0% in sulfide, Pb 3.0%, Zn, Ag, Cd, In, in ground [natural resource/in ground]	Kg	4,22507E-07	3,28343E-07	-9,41647E-08	0,78	22%
Sylvite, 25 % in sylvinite, in ground [natural resource/in ground]	Kg	9,985E-10	7,76386E-10	-2,22113E-10	0,78	22%
Pumice, in ground [natural resource/in ground]	Kg	1,51655E-05	1,18181E-05	-3,34739E-06	0,78	22%
Colemanite, in ground [natural resource/in ground]	Kg	4,16658E-08	3,25298E-08	-9,13596E-09	0,78	22%
Argon-40 [natural resource/in air]	Kg	0,018452677	0,014531015	-0,003921662	0,79	21%
Fluorspar, 92%, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,000196989	0,000155543	-4,14466E-05	0,79	21%
Phosphorus, 18% in apatite, 4% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,107369805	0,084843099	-0,022526706	0,79	21%
Vermiculite, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,000572098	0,000454247	-0,000117851	0,79	21%
Perlite, in ground [natural resource/in ground]	Kg	6,56822E-09	5,21791E-09	-1,35031E-09	0,79	21%
Molybdenum, 0.010% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 1.83% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	6,96394E-07	5,53981E-07	-1,42413E-07	0,80	20%

Sodium sulphate, various forms, in ground [natural resource/in ground]	Kg	7,206E-11	5,74467E-11	-1,46132E-11	0,80	20%
Fluorine, 4.5% in apatite, 1% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	2,82081E-07	2,25518E-07	-5,65622E-08	0,80	20%
Sulfur, in ground [natural resource/in ground]	Kg	5,329E-11	4,26595E-11	-1,06305E-11	0,80	20%
Lithium, 0.15% in brine, in ground [natural resource/in ground]	Kg	9,19274E-10	7,41984E-10	-1,77289E-10	0,81	19%
Cadmium, 0.30% in sulfide, Cd 0.18%, Pb, Zn, Ag, In, in ground [natural resource/in ground]	Kg	5,6045E-07	4,53449E-07	-1,07001E-07	0,81	19%
Sand, unspecified, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,001518159	0,001233073	-0,000285086	0,81	19%
Uranium, in ground [natural resource/in ground]	Kg	5,74319E-05	4,67324E-05	-1,06995E-05	0,81	19%
Talc, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,00021096	0,0001718	-3,91608E-05	0,81	19%
Tin, 79% in cassiterite, 0.1% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,000118963	9,69138E-05	-2,20496E-05	0,81	19%
Spodumene, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,573242017	0,469664405	-0,103577612	0,82	18%
Gallium, 0.014% in bauxite, in ground [natural resource/in ground]	Kg	1,08618E-07	8,90418E-08	-1,95758E-08	0,82	18%
Borax, in ground [natural resource/in ground]	Kg	6,51716E-06	5,34259E-06	-1,17457E-06	0,82	18%

Kieserite, 25% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	1,49252E-05	1,2272E-05	-2,65321E-06	0,82	18%
Carnallite [natural resource/in water]	Kg	0,00246097	0,002035305	-0,000425665	0,83	17%
Ulexite, in ground [natural resource/in ground]	Kg	9,2868E-09	7,71117E-09	-1,57563E-09	0,83	17%
Silver, 0.007% in sulfide, Ag 0.004%, Pb, Zn, Cd, In, in ground [natural resource/in ground]	Kg	7,76111E-11	6,44433E-11	-1,31678E-11	0,83	17%
Bromine, 0.23% in water [natural resource/in water]	Kg	3,86729E-10	3,21115E-10	-6,56138E-11	0,83	17%
Shale, in ground [natural resource/in ground]	Kg	5,10774E-09	4,24114E-09	-8,66597E-10	0,83	17%
Indium, 0.005% in sulfide, In 0.003%, Pb, Zn, Ag, Cd, in ground [natural resource/in ground]	Kg	5,41951E-10	4,50002E-10	-9,19493E-11	0,83	17%
Tantalum, 81.9% in tantalite, 1.6E-4% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	3,09781E-08	2,57222E-08	-5,25585E-09	0,83	17%
Chrysotile, in ground [natural resource/in ground]	Kg	1,31639E-08	1,09781E-08	-2,18581E-09	0,83	17%
Iodine, 0.03% in water [natural resource/in water]	Kg	0,001417247	0,0011823	-0,000234947	0,83	17%
Cobalt, in ground [natural resource/in ground]	Kg	6,15347E-05	5,14143E-05	-1,01204E-05	0,84	16%
Anhydrite, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,003318478	0,0027727	-0,000545778	0,84	16%
Cerium, 24% in bastnasite, 2.4% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,002740609	0,002303213	-0,000437397	0,84	16%
Diatomite, in ground [natural resource/in ground]	Kg	8,50681E-07	7,1492E-07	-1,35761E-07	0,84	16%
Olivine, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,029481449	0,024776469	-0,00470498	0,84	16%

Gold, Au 1.1E-4%, Ag 4.2E-3%, in ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	5,45837E-13	4,58731E-13	-8,71066E-14	0,84	16%
Lanthanum, 7.2% in bastnasite, 0.72% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	8,15689E-10	6,90013E-10	-1,25676E-10	0,85	15%
Krypton, in air [natural resource/in air]	Kg	6,5264E-08	5,52474E-08	-1,00166E-08	0,85	15%
Feldspar, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,000982056	0,000832988	-0,000149068	0,85	15%
Neodymium, 4% in bastnasite, 0.4% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,043838424	0,037277889	-0,006560535	0,85	15%
Stibnite, in ground [natural resource/in ground]	Kg	5,29789E-08	4,51825E-08	-7,79636E-09	0,85	15%
Pd, Pd 7.3E-4%, Pt 2.5E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	4,58003E-06	3,98653E-06	-5,93494E-07	0,87	13%
Xenon, in air [natural resource/in air]	Kg	0,317594184	0,277765421	-0,039828763	0,87	13%
Pt, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	9,892698401	8,989937162	-0,902761239	0,91	9%
Cinnabar, in ground [natural resource/in ground]	Kg	7,802244573	7,273285707	-0,528958866	0,93	7%
Praseodymium, 0.42% in bastnasite, 0.042% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	86,39702278	81,41662504	-4,980397738	0,94	6%

Samarium, 0.3% in bastnasite, 0.03% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	6,286265822	5,930736514	-0,355529308	0,94	6%
Europium, 0.06% in bastnasite, 0.006% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,060155867	0,056944493	-0,003211374	0,95	5%
Rhenium, in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,001139694	0,001091098	-4,85959E-05	0,96	4%
Rh, Rh 2.4E-5%, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,001437519	0,001377619	-5,99E-05	0,96	4%
Sodium nitrate, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,000185428	0,000177773	-7,65521E-06	0,96	4%
Granite, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,000171816	0,000165613	-6,20365E-06	0,96	4%
Gadolinium, 0.15% in bastnasite, 0.015% in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	0,000262508	0,001694813	0,001432304	6,46	- 546%
Tellurium, 0.5ppm in sulfide, Te 0.2ppm, Cu and Ag, in crude ore, in ground [natural resource/in ground]	Kg	1,74794E-12	1,60833E-10	1,59085E-10	92,01	- 9101 %

Las sustancias requeridas para ambos modelos son las mismas. Sin embargo, como se observa en la tabla 15 se presenta una variación entre el ladrillo convencional y el nuevo diseño con respecto a la reducción de materiales en el momento del uso y las etapas en las que se incluye transporte.

5.4.2.2. FUNCIONES DEL SISTEMA

Un (1m²) metro cuadrado de pieza gran formato y (1m²) metro cuadrado de ladrillo tradicional (ladrillos + mortero + grava + concreto)

5.4.2.3. UNIDAD FUNCIONAL

Para poder comparar cada la pieza de gran formato y el ladrillo tradicional, la unidad funcional para el presente estudio será un (1m²) metro cuadrado.

5.4.2.4. LÍMITES DEL SISTEMA

El sistema está limitado de la cuna hasta la tumba. El análisis incluye desde la extrusión hasta el uso de las piezas de gran formato y ladrillo tradicional, hasta la disposición de los equipos y ladrillos al final de su vida útil (50 años).

5.4.2.5. PROCEDIMIENTOS DE ASIGNACIÓN

La asignación de cargas ambientales se realiza de acuerdo a varios parámetros. En la extracción y manufactura, de acuerdo a la producción anual de la compañía y a la vida útil de la maquinaria. En las demás etapas, la asignación se realiza de acuerdo al peso y la vida útil.

5.4.2.6. CATEGORÍAS DE IMPACTOS SELECCIONADAS

Los impactos ambientales se reúnen en tres grandes grupos, los cuales se enuncian a continuación.

- Consumo recursos naturales
- Agotamiento fósil
- Extracción de recursos naturales
- Impactos al ecosistema
- Ocupación agrícola
- Acidificación y Eutrofización
- Ecotoxicidad
- Daños a la salud
- Cambio climático (100 años)
- Radiación ionizante
- Degradación de la capa de ozono
- Efectos respiratorios
- Efectos cancerígenos

5.4.2.7. REQUISITOS RELATIVOS A LOS DATOS

Este estudio se ha elaborado principalmente a partir de datos primarios que se han recopilado gracias a las visitas de campo para el reconocimiento de los equipos requeridos para la actividad, sus materiales y pesos, al levantamiento de la información para la elaboración de balances de materia y energía, y a los indicadores suministrados por la organización Ladrillera San Cristóbal S.A. Para el material de pega, se realizaron ensayos en la ladrillera mediante la construcción de varios muros, con base en los

cálculos y la comparación con la información teórica reportada por la industria constructora en Antioquia. Además, se utilizaron datos secundarios de las bases de datos de Ecoinvent, el principal proveedor del mundo de inventario del ciclo de vida coherente y transparente de datos (LCI) de calidad reconocida. Con la base de datos Ecoinvent versión 3.1, y la aún exitosa versión 2.2, Ecoinvent ofrece una base científica, industrial, evaluación del ciclo de vida internacional (LCA) y la gestión del ciclo de vida de los datos y servicios (LCM), que ha sido de utilidad para la realización de este trabajo.

5.4.2.8. SUPOSICIONES

5.4.2.8.1. Transporte

- Importación de maquinaria de Italia y China: La vida útil de la maquinaria es elevada y los impactos asociados a cada unidad son muy bajos, por eso esta información se considera despreciable.
- Transporte de producto terminado: 15,5 km kilómetros recorridos por los vehículos anualmente. Esta es la distancia promedio que se calculó con la información suministrada por la Ladrillera San Cristóbal S.A.
- Disposición final: De la "Formulación del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Regional Del Valle de Aburrá-PGIRSR" (Universidad de Antioquia, Convenio No 325 de 2004, 2006) se extrajo la lista con las 16 escombreras más importantes del área metropolitana y, con la ayuda de la herramienta Google Maps®, se calculó la distancia de cada una de estas hasta el centro de Medellín. De esta manera se promediaron los valores que se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16. Distancia de escombreras a centro de la ciudad.

ESCOMBROS				
ORIGEN	DESTINO	NOMBRE ESCOMBRERA	KM	
CENTRO DE MEDELLÍN	CALDAS	Los Lagos	21,8	
		Escombrera Kachotis	21,8	
	LA ESTRELLA	Lleno estructural Sierra Morena	15,7	
		Lleno estructural La Playita	15,7	
		Lleno estructural San Agustín	15,7	
		Escombrera El Tincol	15,7	
		MEDELLIN	Escombrera Las Margaritas	10
		Escombrera Municipal ESSA	10	
	BELLO	Escombrera Hato Viejo	12	
		Escombrera de Conasfaltos	12	
		Escombrera Búcaros 3	12	
		Escombrera Tablaza	12	
	COPACABANA	Escombrera Los Arango	20	
	GIRARDOTA	Escombrera La Palma	26	
	ENVIGADO	Escombrera La Mina	10	
		Escombrera El Escobero	10	
			PROMEDIO	15,025

5.4.2.9. LIMITACIONES

Dentro del estudio no se tiene en cuenta la mano de obra (recurso humano) ni el transporte que hace la maquinaria para llegar desde su origen hasta la mina o planta, pues el impacto es irrelevante debido a la vida útil de esta y la cantidad de material que se produce. Por eso, se modelan las partes principales de la maquinaria, donde se incluye el material y el proceso de fabricación.

5.5. ANÁLISIS DE INVENTARIO

Dentro del Análisis de ciclo de vida comparativo de los dos tipos de ladrillo se incluyen las emisiones de transporte en diferentes etapas del proceso, detallados a continuación:

- Etapa de extracción en mina externa a las instalaciones de la Ladrillera San Cristóbal S.A. Se incluye un transporte de materia prima de 50 km, el cual se realiza en un vehículo doble troque.
- Dentro de la mina in situ también se incluyen las emisiones por transporte desde la extracción al lugar de almacenamiento, una distancia de aproximadamente 800 metros.

5.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Figura 24 se presenta la configuración general del proceso para la producción de un muro de 1m² desde la cuna hasta la tumba, donde se evidencian las fases del estudio que se exponen a continuación.

- **Extracción de materiales.** En esta fase se encuentran los impactos asociados a los combustibles y aceites necesarios para la actividad, y los materiales de la maquinaria con su respectivo proceso de manufactura.

- **Manufactura.** Permite contabilizar los impactos ambientales por el procesamiento de las materias primas hasta obtener el producto terminado, por lo cual se incluye material de empaque y energía.
- **Distribución.** En esta fase se tienen en cuenta las emisiones hechas por transporte del producto terminado desde la planta hasta la obra.
- **Uso.** Esta fase analiza los materiales de pega necesarios para obtener 1 m² de los diferentes tipos de ladrillo.
- **Disposición.** Para la fase de disposición, los ladrillos y el material de pega se llevan a las diferentes escombreras luego de 50 años de uso. Se contabilizan emisiones por disposición y transporte.

6. RESULTADOS

Todos los productos o servicios afectan el medio ambiente de una forma u otra. Las materias primas tienen que extraerse y el producto fabricarse, distribuirse, embalsarse y por último eliminarse. Por eso es necesario incluir y analizar todas las etapas del ciclo de vida de un material para la contabilización de los impactos ambientales (Eco-indicador 99, Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE, 5).

6.1. ANÁLISIS DE 1 M² DE LADRILLO EN DIFERENTES FORMATOS, MEDIANTE CML 2001

En 2001 un grupo de científicos, bajo la dirección del Centro de Ciencias Ambientales de la Universidad de Leiden (CML), propuso una serie de categorías de impacto y métodos de caracterización para la etapa de evaluación. Un "enfoque orientado al problema" y un "enfoque orientado a los daños" son diferenciados. Los enfoques de daños elegidos fueron el Eco-indicador 99

y el método de EPS. El método de evaluación aplicado en Ecoinvent como CML 2001 fue el conjunto de categorías de impacto definida para el enfoque de punto medio. La Guía de CML2001 proporciona una lista de estas categorías agrupadas en diferentes grupos:

- R: Las categorías de impacto. Indicadores obligatorios que se utilizan en la mayoría de los ACV.
- B: Categorías de impacto adicionales. Existen indicadores operativos, pero no se incluyen con frecuencia en estudios de ACV.
- C: Otras categorías de impacto. No hay indicadores operativos disponibles, por lo tanto, son imposibles de incluir cuantitativamente en LCA (SimaPro 7, Database Manual).

A continuación se presentan los diferentes indicadores a analizar.

- Calentamiento global: fenómeno que muestra un aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas. Su unidad de referencia es Kg de CO₂ equivalentes. Su factor de caracterización es el potencial de calentamiento global (PCG).
- Reducción de la capa de ozono: efectos negativos sobre la capacidad de protección frente a las radiaciones ultravioletas solares de la capa de ozono atmosférica. Su unidad de referencia Kg equivalentes de CFC -11. Su factor de caracterización es el potencial de agotamiento de la capa de ozono (PAO).
- Acidificación: pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra en forma de ácidos de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera. Su unidad de referencia es Kg equivalente de SO₂ y su factor de caracterización potencial de acidificación (PA).

- **Formación de oxidantes fotoquímicos:** formación de los precursores que dan lugar a la contaminación fotoquímica. La luz solar incide sobre dichos precursores, provocando la formación de una serie de compuestos conocidos como oxidantes fotoquímicos (el ozono $-O_3$ es el más importante por su abundancia y toxicidad). Tiene como unidad de referencia Kg equivalentes de C_2H_4 , y su factor de caracterización es Potencial de Formación de oxidantes fotoquímicos (PFOF).
- **Toxicidad humana:** en esta categoría se contemplan los efectos sobre los humanos y los ecosistemas acuáticos y terrestres de las sustancias tóxicas existentes en el ambiente. Afecta a las áreas de protección, salud humana, entorno natural y recursos naturales. Tiene como unidad de referencia Kg 1,4.Diclorobenceno.
- **Eutrofización:** crecimiento excesivo de la formación de algas originado por el enriquecimiento artificial de las aguas de ríos y embalses, como consecuencia del empleo masivo de fertilizantes y detergentes que provocan un alto consumo de oxígeno del agua. Tiene como una unidad de referencia Kg_{eq} de NO_3 .

Luego de realizar las modelaciones y los cálculos de los resultados arrojados correspondientes en el software Umberto NXT LCA, se puede observar que los impactos son mayores con el ladrillo convencional. En la Tabla 17 se presentan los resultados del convencional y el gran formato.

Tabla 17. Resultado CML 2001 Ladrillo convencional - Nuevo diseño.

Indicador	Ladrillo Convencional	Ladrillo Nuevo Diseño	Unidad
-----------	--------------------------	--------------------------	--------

CML 2001 - acidification potential, average European	0,027	0,023	Kg SO2
CML 2001 - climate change, GWP 100a	24,257	21,992	Kg CO2
CML 2001 - eutrophication potential, generic	0,020	0,018	Kg PO4
CML 2001 - freshwater aquatic ecotoxicity, FAETP 100a	3,023	2,796	Kg 1,4 DCB
CML 2001 - human toxicity, HTP 100a	0,909	0,734	Kg 1,4 DCB
CML 2001 - ionising radiation, ionising radiation	7,97E-09	6,29E-09	DALYs
CML 2001 - land use, competition	3,165	1,852	m2
CML 2001 - marine aquatic ecotoxicity, MAETP 100a	10,809	9,973	Kg 1,4 DCB
CML 2001 - marine sediment ecotoxicity, MSETP 100a	11,031	10,147	Kg 1,4 DCB
CML 2001 - photochemical oxidation (summer smog), EBIR	0,003	0,003	kg formació n de ozono
CML 2001 - resources, depletion of abiotic resources	0,102	0,095	Kg de antimonio
CML 2001 - stratospheric ozone depletion, ODP 20a	4,36E-07	3,71E-07	Kg-CFC- 11

CML 2001 - terrestrial ecotoxicity, TAETP	6,31E-04	4,41E-04	Kg 1,4
20a			DCB

6.2. ANÁLISIS DE 1 M² DE LADRILLO EN DIFERENTES FORMATOS, MEDIANTE ECO-INDICADOR99.

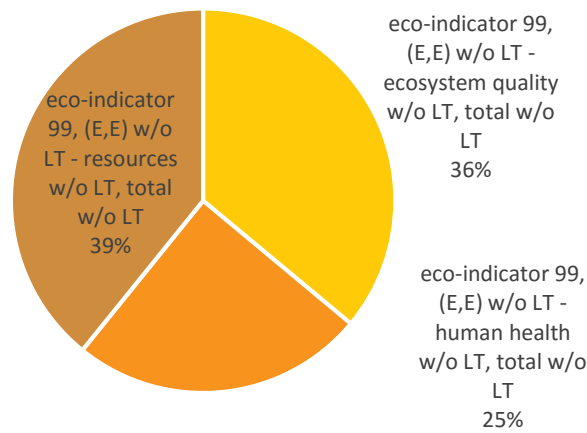
Los Eco-indicadores son el resultado de un proyecto desarrollado por un equipo multidisciplinar formado por industrias de diferentes sectores, científicos de centros de investigación independientes y el gobierno holandés. Su objetivo ha sido intentar evaluar el impacto ambiental que ejerce la actividad industrial, centrándose en sus efectos sobre el ecosistema, los recursos y la salud humana a nivel europeo.

Así, se tuvieron en cuenta impactos tales como: el efecto invernadero, la reducción de la capa de ozono, la lluvia ácida, la disminución de los recursos naturales, el descenso de la biodiversidad y el smog (Manual Práctico del diseño Eco-indicador 99, Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE, 32).

El Eco-indicador de un material o proceso se expresa en un número que revela el impacto ambiental a partir de los datos obtenidos en el ACV. Cuanto mayor es el indicador, mayor es efecto producido (Eco-indicador 99, Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE 5), por lo cual este dato sirve para comparar los resultados provocados por productos, servicios o procesos. Así, 100 eco-puntos equivalen a la carga ambiental anual de un ciudadano promedio europeo.

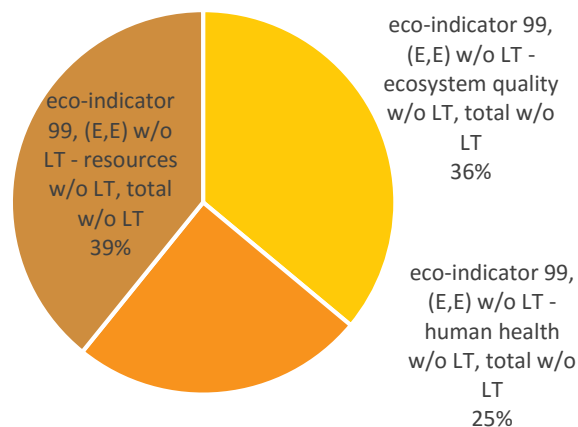
En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y 2 se presenta el aporte de cada uno de los modelos correspondientes al ladrillo convencional y al nuevo diseño. El porcentaje es igual para cada uno de los indicadores.

Ladrillo Convencional



Gráfica 1. Aporte a cada grupo de indicadores de un ladrillo convencional.

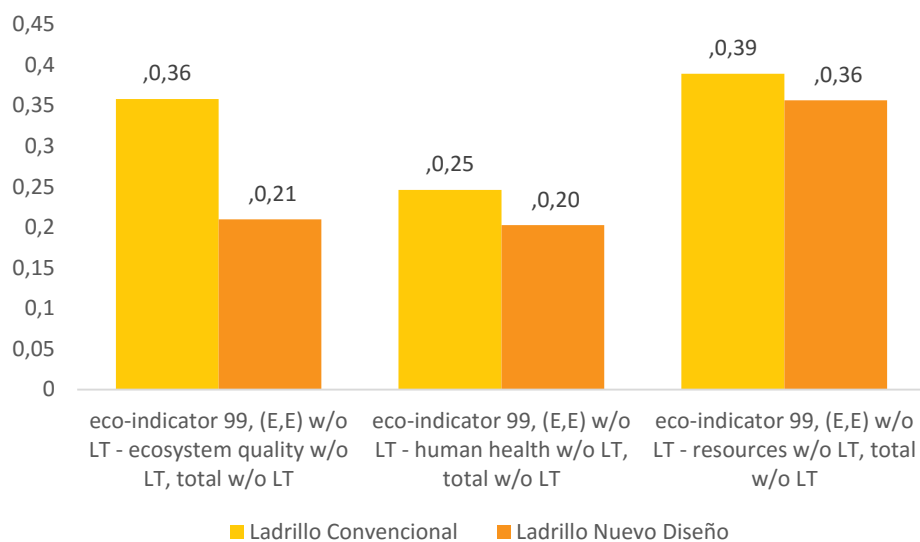
Ladrillo Nuevo Diseño



Gráfica 2. Aporte a cada grupo de indicadores de un ladrillo nuevo diseño.

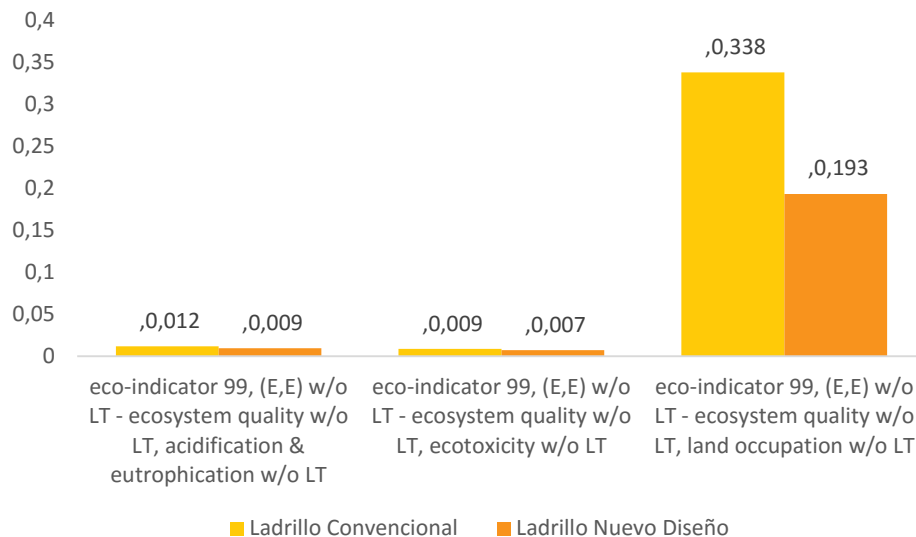
En la **Gráfica 1** se puede observar el comparativo del impacto ambiental de los dos tipos de ladrillos de acuerdo a la cantidad de eco-puntos totales que obtuvo cada uno. El ladrillo convencional presenta en

todos un valor más alto que el calculado para el nuevo diseño, como se evidencia a continuación. El porcentaje de incremento en el daño a los recursos es de 41 %, en la afectación a la salud humana del 18 % y en el perjuicio al ecosistema un 8 %.



Gráfica 3. Comparativo por categorías entre Ladrillo Convencional y Nuevo diseño.

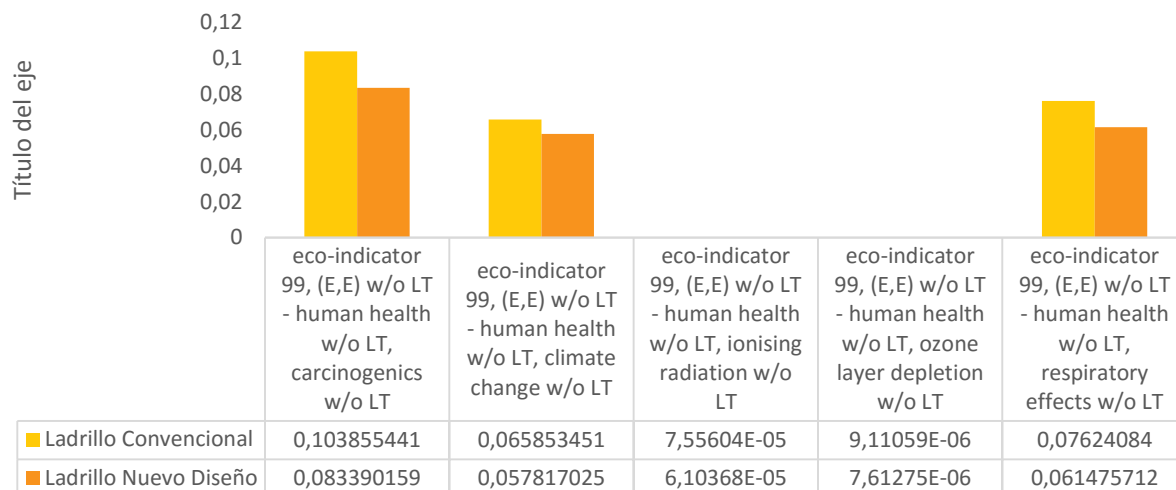
Dentro del impacto al ecosistema, se tienen los indicadores de acidificación y eutrofización, Ecotoxicidad y ocupación de tierras. En la gráfica 4 se evidencia claramente que el que presenta un mayor aporte a este grupo es la ocupación de tierras, debido a las transformaciones realizadas en la actividad de minería para la obtención de materias primas y a las carreteras para el transporte de producto terminado y de material para disposición.



Gráfica 4. Eco-puntos Ladrillo Convencional- Nuevo diseño en la categoría ecosistema.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** permite observar los diferentes indicadores que pertenecen a la categoría de afectación a la salud. Al igual que en la categoría de ecosistema, se observa que los impactos asociados al ladrillo tradicional son más altos, con un porcentaje de variación aproximado del 20 % en cada indicador. El detalle se puede evidenciar en la

Indicador	Ladrillo Convencional Eco-puntos	Ladrillo Nuevo Diseño Eco-puntos	% de variación
eco-indicator 99, (E,E) w/o LT - ecosystem quality w/o LT, acidification & eutrophication w/o LT	0,011653052	0,009416808	2,10698601
eco-indicator 99, (E,E) w/o LT - ecosystem quality w/o LT, ecotoxicity w/o LT	0,008586479	0,007108165	1,56946441
eco-indicator 99, (E,E) w/o LT - ecosystem quality w/o LT, land occupation w/o LT	0,337845304	0,193204726	53,105003



Gráfica 5. Comparativo en la categoría afectación a la salud.

Tabla 18. Eco-puntos y porcentaje de variación en la categoría de afectación a la salud.

Indicador	Ladrillo	Ladrillo Nuevo	% de variación
	Convencional	Diseño Eco-puntos	
	Eco-puntos		
eco-indicator 99, (E,E) w/o LT - human health w/o LT, carcinogenics w/o LT	0,104	0,083	20%
eco-indicator 99, (E,E) w/o LT - human health w/o LT, climate change w/o LT	0,066	0,058	12%
eco-indicator 99, (E,E) w/o LT - human health w/o LT, ionising radiation w/o LT	7,56E-05	6,10E-05	19%

eco-indicator 99, (E,E) w/o LT -	9,11E-06	7,61E-06	16%
human health w/o LT, ozone layer depletion w/o LT			
eco-indicator 99, (E,E) w/o LT -	0,076	0,061	19%
human health w/o LT, respiratory effects w/o LT			

En términos globales, el principal impacto evidenciado en el estudio está asociado al dióxido de carbono (CO₂), con un 50% de los impactos totales. El CO₂ es un gas incoloro e inodoro que tiene un ligero sabor ácido, puede presentarse en forma de gas comprimido o licuado, o tener forma de escamas o cubos blancos. Además, puede encontrarse en su forma natural en el agua de los manantiales y es liberado con las erupciones volcánicas, la tala de árboles y durante la quema de combustibles fósiles como el carbón, el diésel, el petróleo, la gasolina, el gas natural, entre otros. Además, es el producto de la respiración de los seres vivos.

El CO₂ hace parte del ciclo del carbono entre la atmósfera y el mar, por eso es considerado un gas de efecto invernadero en tanto absorbe el calor del ambiente y envía parte de este a la superficie de la tierra, contribuyendo a su calentamiento. Por otro lado, la quema de carbón emite anhídrido sulfuroso y óxidos de nitrógeno que reaccionan con el oxígeno para formar lluvia ácida (US. National Library of Medicine, 2015).

Este gas es empleado en la refrigeración, la fabricación de bebidas gaseosas y la producción de algunas sustancias químicas. Entre otros usos, en la industria se encuentra la extinción de incendios, la elaboración, conservación y congelación de alimentos, la metalistería, el sacrificio de ganado, la

recuperación de petróleo y gas natural, entre otros. Las principales actividades antropogénicas asociadas a la liberación de este gas son la quema de combustibles fósiles, la producción de electricidad, los vehículos de transporte, la fabricación de algunos materiales de construcción, la incineración de desechos y las llamaradas producidas por el gas natural.

La exposición a bajas concentraciones de CO₂ puede producir hiperventilación, lesiones en los ojos, congestión pulmonar, problemas en el sistema nervioso central, contracciones musculares repentinas, hipertensión arterial, dificultad para respirar, mareo, dolores de cabeza, sudor, fatiga, adormecimiento de las extremidades, pérdida de la memoria, náuseas, vómito, depresión, confusión, quemaduras en piel y ojos, y zumbidos en los oídos.

Adicionalmente, este es considerado un gas asfixiante que interrumpe el suministro de oxígeno para respirar, la exposición a concentraciones superiores a 10% pueden causar pérdida de conocimiento, convulsiones e incluso la muerte (US. National Library of Medicine, 2015). Además, puede acarrear enfermedades respiratorias, cáncer, inflamación de las mucosas, lesiones en el cerebro u ojos.

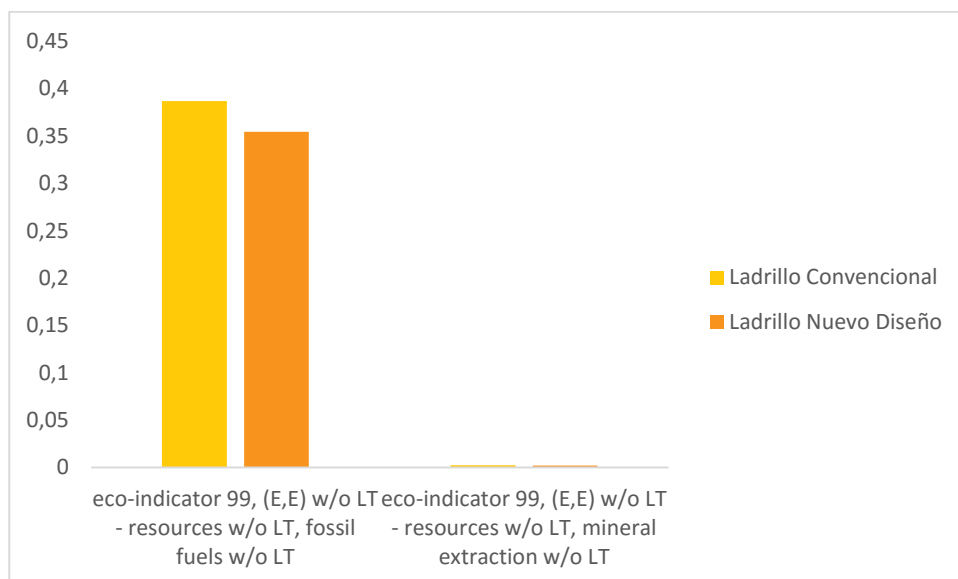
Los efectos cancerígenos y respiratorios presentan un alto porcentaje dentro de los impactos ambientales analizados en torno a los dos tipos de ladrillo, pues para el proceso de producción es necesario la combustión de fósiles como el carbón y el ACPM. Esta quema emite metano, el cual en su forma gaseosa es una sustancia asfixiante, que en altas concentraciones puede desplazar el suministro de oxígeno necesario para respirar, generando así síntomas como asfixia, pérdida del conocimiento y coordinación, dolor de cabeza, mareo y debilidad (Toxtown.nlm.nih.gov). Es recomendable implementar energías alternativas, para así poder disminuir el riesgo ocasionado.

Las centrales eléctricas de carbón están entre las mayores fuentes de contaminación a nivel mundial, estas son altas emisoras de mercurio y arsénico, entre otras sustancias altamente tóxicas como los CVO's (Compuestos Orgánicos Volátiles), los cuales son perjudiciales para la salud humana.

En suma, el 21% de los impactos ambientales a nivel mundial están asociados a la extracción de carbón y su uso en la producción de energía eléctrica y en los procesos de producción de ciertos materiales, como los ladrillos.

Con respecto a la producción de ladrillos, se tienen dos indicadores en el grupo de afectación a los recursos: agotamiento fósil y agotamiento de metales. Como en los casos anteriores, los eco-puntos asociados al ladrillo tradicional son más altos que los generados por el nuevo diseño.

En la Gráfica 6 se presenta la categoría de impacto a los recursos naturales, en la cual se percibe que el comportamiento para cada diseño de ladrillo es igual. Se observa un alto impacto en la extracción y uso de combustibles fósiles, pues a lo largo del proceso es necesaria la utilización directa o indirecta de estos. Un empleo directo de combustibles líquidos sirve para el transporte y sólidos como el carbón para la producción. Y un consumo indirecto de energía eléctrica, para la generación en las centrales térmicas y la producción de materias primas como el cemento.



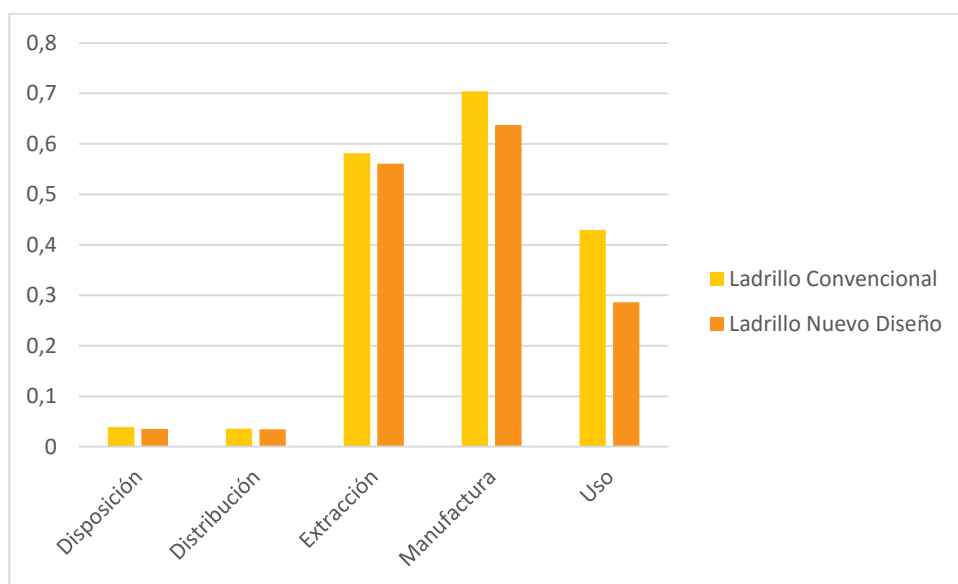
Gráfica 6. Comparativo entre Ladrillo Tradicional-Nuevo diseño en la categoría afectación a los recursos.

6.3. ANÁLISIS DE 1 M² DE LADRILLO EN DIFERENTES FORMATOS, MEDIANTE RECIPE

ReCiPe se desarrolló para combinar las ventajas de los métodos CML2001 y Eco-Indicator 99. La ventaja del primer método es su solidez científica, mientras que la del segundo tiene mayor claridad en la interpretación. Con ello, se han mejorado los modelos para el cambio climático, la destrucción de la capa de ozono, la acidificación, la eutrofización, el uso del suelo y el agotamiento de recursos naturales. A su vez, se han actualizado factores de caracterización para algunas categorías de impacto y para el paso de normalización (Análisis de ciclo de vida y huella de Carbono, Sociedad Pública de Gestión Ambiental).

A continuación se presentan las gráficas comparativas que surgieron de la aplicación de este método al ladrillo convencional y al nuevo diseño. A pesar de que no se hizo énfasis en el análisis en cada uno

de ellos, debido a que ya fueron estudiados mediante el de Eco-indicadores 99, los resultados reafirmaron los cálculos obtenidos anteriormente. De esta manera, la gráfica 7 permite observar los efectos de cada una de las fases del ciclo de vida y, en esa medida, corroborar que el mayor impacto ambiental es producido por el ladrillo tradicional.

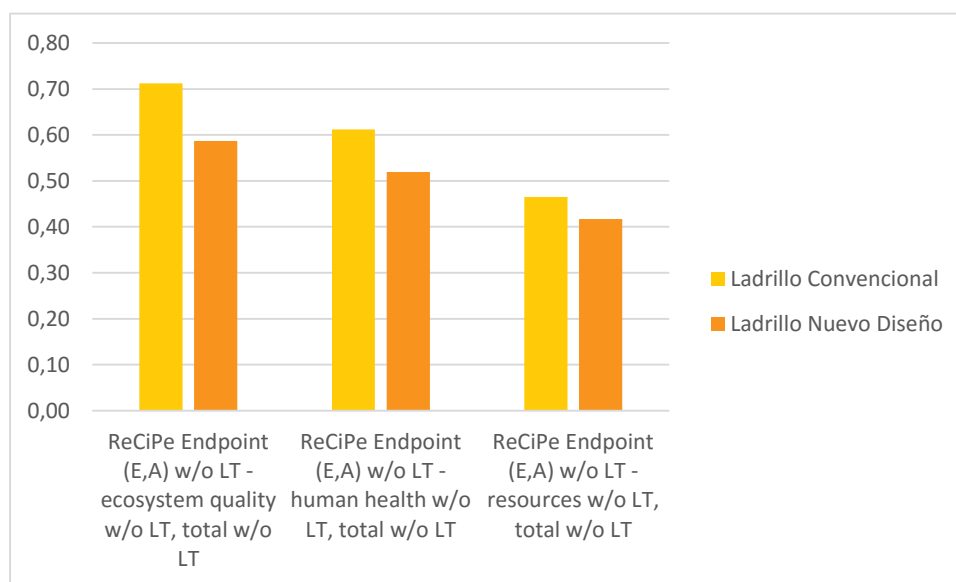


Gráfica 7. Comparativo por fases ReCiPe, ladrillo convencional - nuevo diseño.

Tabla 19. Método ReCiPe, comparativo por etapas.

Etapa	Ladrillo Convencional	Ladrillo Nuevo Diseño	% variación
Disposición	0,039	0,035	9,38%
Distribución	0,035	0,034	3,51%
Extracción	0,58	0,561	3,51%
Manufactura	0,70	0,637	9,48%
Uso	0,43	0,286	33,28%

En la gráfica 8 se presenta el comparativo de las emisiones por cada categoría de impacto. Al igual que en los anteriores, las emisiones del ladrillo tradicional son más altas que las emisiones para el ladrillo del nuevo diseño.



Gráfica 8. Comparativo por categoría ReCiPe ladrillo tradicional - nuevo diseño.

La Figura 24 presenta la imagen del modelo en el Software Umberto NXT LCA, en el cual se pueden apreciar las cinco fases del ciclo de vida de producto de la cuna a la tumba.

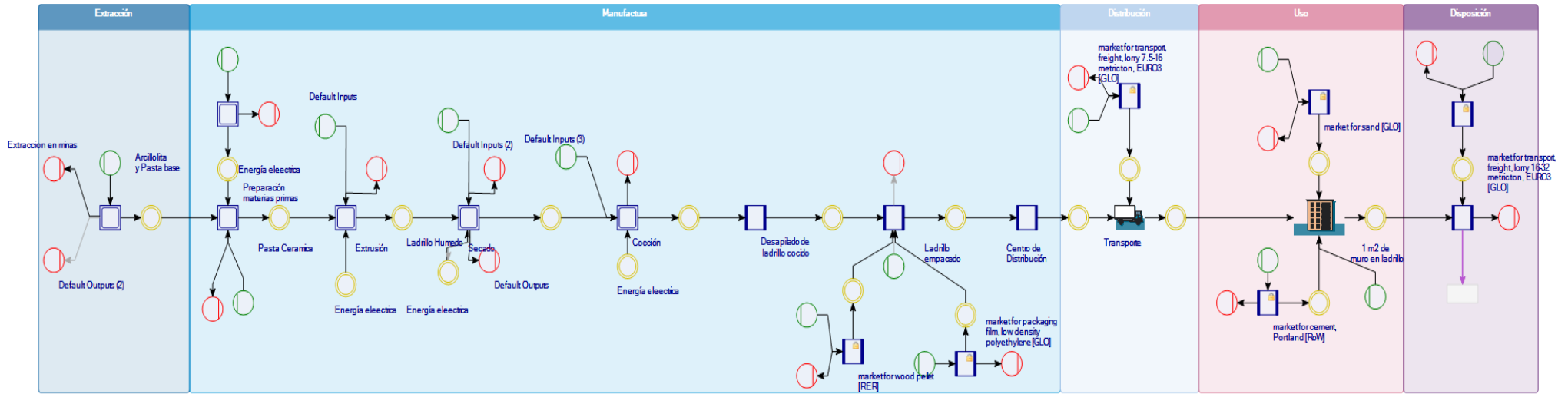


Figura 24. Modelo de ladrillo desde la cuna hasta la tumba.

7. CONCLUSIONES

En principio, se considera que se logró dar cumplimiento al objetivo inicialmente planteado en el proyecto: el desarrollo de un ladrillo gran formato. Mediante la producción de una pasta cerámica con materiales cercanos al centro productivo con 50% de arenilla, 30% de limos y 20% de arcillolita. Se produjeron varios lotes de la pieza gran formato, dando cumplimiento en tolerancia dimensional, debido a que el porcentaje en diferencia de medidas fue inferior al 3%.

Asimismo, se logró que las piezas presentaran una textura pulida y sin defectos significativos, producto de las materias primas empleadas y la adecuada molturación. Los dos lotes cocidos con diferentes curvas de cocción presentaron una quema semejante con tonalidad constante. Solo se resalta la diferencia en resultados de resistencia a la compresión. El primero cumplió a cabalidad con la norma NTC 4205, excediéndola por un 68,19%, mientras que el segundo lote, con más tiempo de maduración en su zona de cocción, superó la norma en 172.58%. Esto demuestra que dichas piezas pueden ser empleadas en una gran variedad de sistemas constructivos, aunque en el desarrollo del proyecto se catalogaron como unidades divisorias para muros no estructurales.

Los dos tratamientos, propuestos para secar la pieza gran formato en un tiempo inferior a las 24 horas, cumplieron con el propósito de eliminar el agua libre y ligada que esta absorbió en su conformación, con alrededor del 17% de su peso. En el segundo tratamiento se trabajó con una temperatura inferior a la propuesta por la empresa, debido a que la geometría de la pieza permitía una recirculación mayor del aire en el interior de los cuartos de secado. En este caso se disminuyó la temperatura unos 8 grados centígrados con respecto a la máxima, pasando

de 93 a 85 grados centígrados. Esto permitió secar la pieza en 1350 minutos (22,5 horas) y no en 1440 (24 horas) como se hace normalmente, lo cual se tradujo en una disminución de 90 minutos (1,5 horas) en la impresión de calor a las cámaras de secado. Sin embargo, la pieza continuó recibiendo el existente que recirculaba en los cuartos hasta 30 minutos antes de sacarla. El resultado fue favorable pues esta no presentó ninguna anomalía en su calidad.

Por su parte, las mediciones realizadas en la implementación del producto, que fue desarrollado en la fabricación de muros no estructurales, permitieron demostrar un ahorro cercano al 39% en los tres elementos más significativos del mortero de pega (cemento, arena y agua). De todos los materiales de pega, el cemento es el más significativo al momento de realizar el comparativo dentro del modelo de Análisis de ciclo de vida. Los ahorros en material no fueron cuantificados económicamente ya que no estaba planteado como propósito del trabajo, sin embargo, se pueden evaluar para evidenciar la favorabilidad económica de las piezas gran formato y para considerar su tratamiento en otros proyectos.

Si se considera el beneficio económico del desarrollo del producto para la organización, se puede concluir que este es viable en su fabricación y comercialización a gran escala. Aunque no se haga un estudio profundo del sistema de costos de la empresa., El valor por kilogramo producido y ofertado puede alcanzar un aumento cercano al 45%, en tanto las piezas se vendan en \$2.100 por unidad.

Por otro lado, los resultados arrojados por la metodología ReCiPe demuestran claramente que la pieza gran formato, comparada con el ladrillo tradicional, tiene porcentajes menores de impacto en lo que respecta a disposición (9.38%), distribución (3.51%), extracción (3.51%) y manufactura (9.48%), siendo el primer y el último factor los más significativos al respecto.

Así pues, es innegable que en la fabricación del material estudiado se generan impactos ambientales y contra la salud humana, en especial por la utilización de materias primas fósiles como el carbón en altas proporciones. Por esta razón, la cuantificación de estos resultados fue uno de los objetivos propuestos y cumplidos efectivamente para este proyecto. Para este caso en particular, los índices arrojados por el programa demuestran consumos similares para plantas con tecnología de punta. Podría pensarse que la diferencia con estas en otras regiones del mundo radica en que en ellas se emplea gas natural como combustible, haciendo más limpio este proceso.

Además, se evidencia que en la fabricación de piezas de gran formato y de productos de arcilla cocida no se generan desperdicios altamente tóxicos ni metales pesados, como sí ocurre en los Análisis de ciclo de vida que se realizan a productos con altas transformaciones químicas. Por otra parte, el Análisis de ciclo de vida permite identificar las etapas del proceso con mayores consumos e impactos ambientales. Las industrias mineras y manufactureras llevan a creer que los impactos podrían ser mayores; sin embargo, la correcta optimización de algunos recursos en etapas críticas de la producción y la inversión que se realiza en nuevas tecnologías permite disminuir los efectos que estas causan.

El Eco-indicador analiza el impacto que genera sobre el suelo la utilización del mismo. Con respecto a este proyecto, queda claro considerando a la actividad minera como un trabajo a cielo abierto y en minas que permiten la extracción del carbón. Sin embargo, el impacto puede minimizarse con la explotación controlada de los recursos y una posterior recuperación de los terrenos, lo cual realiza en efecto la empresa de la mano de sus planes de cierre y abandono.

Para la organización es satisfactorio contar con modelos y casos de estudio ya desarrollados en el interior de la compañía, que sirven para la modelación y Análisis de ciclo de vida de otros de sus productos, lo que permite tener una herramienta clara y veraz para la toma de decisiones y la cuantificación de impactos ambientales.

8. RECOMENDACIONES

A partir del trabajo realizado, se han encontrado una serie de elementos que pueden servirle a la empresa para próximos proyectos. En principio, se sugiere incluir dentro de la pasta cerámica componentes como desgrasantes, materiales orgánicos y sub productos de otras industrias, que ayuden a disminuir los ciclos de secado, ya que queda demostrado que estos se pueden alterar con la idea de minimizarlos, para disminuir así los consumos energéticos en esta etapa del proceso y en la cocción.

Además, se recomienda considerar la posibilidad de fabricar productos de gran formato con caras lisas, para que dichas piezas puedan ser empleadas como fachadas de gran formato, elementos estructurales, divisorios de caras lisas. Esto se sustenta en la demostración de que las materias primas y el proceso productivo están diseñados para tener valores por encima de las exigencias de la norma que se le aplica, como sucedió con las piezas evaluadas en este trabajo.

Asimismo, la empresa debe contemplar la posibilidad de analizar la cocción y el secado de sus productos con combustibles de menor impacto, como lo son el gas natural u otros, debido a que estos procesos son los que presentan los mayores efectos generados por este tipo de industria. Esto será posible en la medida en la que el valor agregado de los productos sea mayor, como lo demuestran las piezas de gran formato desarrolladas.

Se invita también a que el departamento de gestión ambiental de la Compañía someta a las demás referencias de las empresa al mismo modelo de Análisis De Ciclo De Vida desarrollado, para anticiparse a las exigencias ambientales que regulan la empresa y pueda acogerse con mayor claridad a la obtención de un sello ambiental tipo 1 para la industria a la cual pertenece, bajo los parámetros que exige la NTC 6033.

Finalmente, se motiva a la empresa a realizar alianzas con constructores, con la intención de evaluar las disminuciones de las materias primas y los posibles ahorros económicos que se puedan generar al usar las piezas de gran formato en sus obras.

9. BIBLIOGRAFÍA

- ICONTEC. (s.f.). Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Numero 4205. Bogota.
- Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE, Red Peruana Ciclo de Vida, Pontificia Universidad Católica Del Peru. (2012). *ESTUDIO DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LADRILLOS Y BLOQUES DE CONCRETO*. Lima.
- ANFALIT. (2006). Tercera Reunión Internacional de La Arcilla. Bogotá.
- Aristizabal, V. (2014). “El ladrillo de arcilla en el siglo XXI”. Medellín: Camacol.
- Bento, M. (2010). “Sistemas de cerramiento de fachadas ventiladas” . *Revista Terracota*.
- Camacol. (2013). *I. Camacol, Informe de coyuntura Sistema de información georeferenciada del censo nacional de edificaciones*. Medellín .
- Cerámica Pastrana S.A. (2012). Ficha técnica tablero cerámico.
- Construdata.com. (2013). *Construdata*.
- Corporación Universitaria Minuto de Dios. (2009). *Mampostería No Estructural*. Bogotá.
- DANE. (2015). *Indicadores económicos alrededor de la construcción II Trimestre de 2015*. Bogotá.
- Diario La Republica. (2012). *Empresas más importantes del sector de la construcción*. Obtenido de www.especialeslr.com.co/construccion
- Duitama, L., Espitia, C., Mojica, J., & Quintero, J. (2004). *Composición mineralógica y química de las arcillas empleadas para cerámica roja en las zonas de Medellín, Itagiú y Amagá*.

- EcoIngeniería SAS. (2012). *Determinación de propiedades físicas y, estimación del consumo energético en la producción, de acero, concreto, vidrio, ladrillo y otros materiales, entre ellos los alternativos y otros de uso no tradicional, utilizados en la construcción de edificaciones*. Cali.
- El tiempo. (2015). *Periodico el tiempo*. Obtenido de El tiempo: <http://www.eltiempo.com/colombia/medellin/sector-de-la-construccion-en-antioquia/15151738>
- Eloy, R. (1965). *El horno túnel al alcance del ceramista y del ladrillero*. Ediciones Ceac Barcelona. España, H. D. (2012). *Manual de fachas*. Madrid.
- Facincani, E. (1993). *Tecnología cerámica de los ladrillos*. Faenza Editrice Ibérica.
- Fernández, M. (2000). *Manual de laboratorio técnico cerámico*. S L. Igualada.
- García, T., Vega, L., & Frias, E. (2008). *Catálogo de soluciones cerámicas para el cumplimiento del código técnico de la edificación*. Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja. Madrid.
- Grupo Greco Gres Internacional s.l.Toledo . (2012). *Manual de la pieza cerámica Frontek*. .
- IFU HAMBURG. (2015). *IFU*. Obtenido de IFU: <http://www.ifu.com/en/>
- Industrias Belarmar. (2005). *Manual de secado y cocción en la industria cerámica*. . Barcelona .
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN: ICONTEC. (2005). *Procedimientos de muestreo ensayos de mampostería de arcilla y de otros productos tales como adoquines y tejas*. Numero 4017. Bogotá.
- ISO. (1997). *ISO 14040*.
- Koroneos, C., & Dompros, A. (2007). *Environmental assessment of brick production in Greece. Building and Environment*.
- Kronfly, F. C. (1982). *Hacia una Redefinición del Concepto de Organización*. Bogotá : Universidad Javeriana de Bogotá .
- Kumbhar, S., Kulkarni, N., B. Rao, A., & Rao, B. (2013). *Environmental Life Cycle Assessment of Traditional Bricks in Western Maharashtra, India. Energy procedia*.
- Ladrillera San Cristobal. (2015). *Manual de Laboratorio, ensayo de Winkler*.
- Life Cycle Initiative. (2013). *Life Cycle Initiative*. Recuperado el 20 de Abril de 2014, de <http://www.lifecycleinitiative.org/>
- Loaiza, E. (09- de 05 de 2012). Gerente de la cámara Colombiana de la construcción (Camacol), Regional Antioquia. . (L. Abad, Entrevistador)
- US. National Library of Medicine. (26 de 11 de 2015). *ToxTown*. Obtenido de <http://toxtown.nlm.nih.gov/espanol/chemicals.php?id=45>

