

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICO-ECONOMICO PARA LA ELABORACIÓN,
COMERCIALIZACIÓN Y VENTA DE LADRILLOS DE CAL EN LA EMPRESA
TAUROQUIMICA S.A.**

LUIS CAMILO BEDOYA PRADA

**PROGRAMA DE INGENIERIA QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER
2017**



**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICO-ECONOMICO PARA LA ELABORACION,
COMERCIALIZACION Y VENTA DE LADRILLOS DE CAL EN LA EMPRESA
TAUROQUIMICA S.A.**

LUIS CAMILO BEDOYA PRADA

PROYECTO DE GRADO
Trabajo presentado para optar al título de Ingeniero Químico

Dirigido por:

SANDRA MILENA ZAMBRANO CONTRERAS
Ingeniera Química, MSc. Controles Industriales

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER
2017



DEDICATORIA

A Dios

A mis padres Stella Prada y Jorge Bedoya, por su esfuerzo y dedicación a lo largo de los años en mi formación como profesional y una persona con principios morales y éticos.

A mis hermanas por ser el motor de mi vida.

A Karen Camargo por ser esa persona tan especial e importante que estuvo conmigo en toda la etapa de mi carrera y me apoyo en cada toma de decisiones aconsejándome en lo bueno y lo malo.

A las Ingenieras Patricia Rodríguez y Ximena Alba por brindarme de su sabiduría en la ejecución de este proyecto.



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Pamplona por haber permitido culminar una etapa muy importante de mis estudios y formarme como profesional.

A mi tutora, Sandra Zambrano por su tiempo, esfuerzo y dedicación realizado para llevar a cabo este proyecto.

Empresa TAUROQUIMICA S.A.S, por abrirme la puerta y permitir que mi práctica profesional fuera llevada a cabo en sus instalaciones, de igual manera, a la empresa OVINDOLI S.A.S por permitir que desarrollara los análisis de los ladrillos.

A todo el cuerpo de docentes que intervinieron y me aportaron en mi formación como profesional.



TABLA DE CONTENIDO

Contenido

| | |
|---|-----|
| TABLA DE CONTENIDO..... | VII |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | IX |
| INDICE DE TABLAS | X |
| RESUMEN..... | XI |
| ABSTRACT..... | XII |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN | 1 |
| 1.2 ANTECEDENTES | 2 |
| 1.3 OBJETIVOS | 4 |
| 1.3.1 OBJETIVO GENERAL..... | 4 |
| 1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS | 4 |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 5 |
| 2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS..... | 5 |
| 2.2 APLICACIONES DE LA CAL..... | 6 |
| 2.3 LA CAL HIDRÁULICA | 9 |
| 2.3.1 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA CAL HIDRAULICA | 10 |
| 2.3.2 LA PRODUCCIÓN DE CAL EN COLOMBIA | 12 |
| 2.4 EL LADRILLO Y SU IMPORTANCIA EN COLOMBIA | 12 |
| 2.4.1 AVANCE INDUSTRIAL..... | 14 |
| 2.4.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL LADRILLO | 14 |
| 2.5 ENSAYOS DE CALIDAD Y SU NORMATIVA | 18 |
| 3. METODOLOGÍA..... | 25 |
| 3.1 RECOPIACIÓN Y ESTUDIO DE INFORMACIÓN..... | 26 |
| 3.2 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LA MATERIA PRIMA..... | 26 |
| 3.3 ESPECIFICACIONES DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS. | 27 |
| 3.4 CONDICIONES GENERALES DE OPERACIÓN..... | 27 |
| 3.5 BALANCE DE MASAS Y PROPORCIONES DE MEZCLA..... | 28 |
| 3.5.1 Preparación de la mezcla..... | 28 |



| | | |
|-----|---|----|
| 3.6 | ELABORACIÓN DE LA PROBETA FINAL. | 30 |
| 4. | ANÁLISIS DE RESULTADOS. | 34 |
| 4.1 | Absorción..... | 34 |
| 4.2 | Succión..... | 37 |
| 4.3 | Eflorescencia..... | 39 |
| 4.4 | Resistencia a la Compresión. | 42 |
| 5. | CONCLUSIONES | 49 |
| 6. | RECOMENDACIONES..... | 51 |
| 7. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 52 |
| | ANEXOS | 55 |
| | ANEXO A. PREPARACIÓN DE CADA MUESTRA Y BALANCE DE MASAS. | 55 |
| | ANEXO B 1. ENSAYO DE ABSORCIÓN. | 59 |
| | ANEXO B2. ENSAYO DE SUCCIÓN..... | 61 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Proceso de producción del ladrillo | 17 |
| Figura 2. esquema metodológico. | 25 |
| Figura 3. Ubicación de la Cantera Ovindoli S.A | 27 |
| Figura 4. Perdida de agua en la arcilla | 29 |
| Figura 5. Momento de mezcla seca..... | 29 |
| Figura 6. Momento de mezcla húmeda..... | 30 |
| Figura 7. extrusora Ovindoli S.A..... | 30 |
| Figura 8. Extrusora Ovindoli S.A. | 31 |
| Figura 9. Probetas en sección de corte..... | 31 |
| Figura 10. Ubicación de probetas en la placa de cerámica | 32 |
| Figura 11. Cuarto de secado..... | 32 |
| Figura 12. Mufla | 33 |
| Figura 13. Prueba de absorción..... | 35 |
| Figura 14. Valores promedio de absorción | 36 |
| Figura 15. Ladrillos desleídos por el agua. | 37 |
| Figura 16. Ensayo de succión. | 38 |
| Figura 17. Valores de succión según los porcentajes estudiados..... | 39 |
| Figura 18. Prueba de Eflorescencia..... | 40 |
| Figura 19. Valores de resistencia a la compresión | 43 |



INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Ensayos de Calidad. | 18 |
| Tabla 2. Propiedades físicas de las unidades de mampostería estructural. | 22 |
| Tabla 3. Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural | 23 |
| Tabla 4. análisis fisicoquímico de la Cal | 26 |
| Tabla 5. Composiciones del Ladrillo | 27 |
| Tabla 6. Condiciones de operación de la planta..... | 28 |
| Tabla 7. Valores de absorción de los porcentajes estudiados. | 35 |
| Tabla 8. Valores coeficiente de saturación promedio. | 36 |
| Tabla 9. Valores de succión obtenidos según el porcentaje de cal | 38 |
| Tabla 10. Resultados Prueba Eflorescencia | 41 |
| Tabla 11. Valores de resistencia a la compresión (N/mm ²)..... | 42 |
| Tabla 12. Rubro y presupuesto en la producción, comercialización y venta del Producto Verb Kalk | 44 |
| Tabla 13. Rubro y presupuesto en la producción, comercialización y venta del Producto Verb Build | 45 |
| Tabla 14. NPV para el Proyecto Verb Kalk..... | 47 |
| Tabla 15. NPV para el proyecto Verb Build..... | 47 |



RESUMEN

Las perspectivas del mercado de productos de construcción, principalmente ladrillos y sus derivados son prometedoras, en la medida que su consumo aumente y conforme se diversifique e innove en cada uno de los productos.

Un objetivo de este estudio fue amentar el rendimiento de productos valiosos y desarrollar un estudio de factibilidad con el fin de, innovar el proyecto que se ha venido implementando con la Cal, haciendo uso de estrategias de económicas para consolidar la validez del estudio.

Teniendo en cuenta dichas perspectivas, se visualizó la oportunidad de realizar un estudio de viabilidad del uso de la cal en el proceso de producción de ladrillo, que permitió obtener una producción de morteros de mejor calidad que las vista hoy en día, se hicieron análisis de laboratorio para comprobar dicha calidad, cumpliendo con las normas ASTM requeridas en el mercado para este producto. Principalmente, se buscó oportunidades de mejora para consolidar a la empresa TAUROQUIMICA S.A. como una empresa comprometida con el desarrollo ecológico industrial, garantizando un uso de subproductos completo sin ningún tipo de vertimiento que lleve a la contaminación del suelo.



ABSTRACT

Market prospects for construction products, mainly bricks and their derivatives, are promising, in that consumption can be done automatically and diversely.

One objective of this study was to improve the performance of valuable products and develop a technical study and thus innovate the project that has been implemented with the Cal, making use of economy strategies to consolidate the validity of the study.

Taking into account these perspectives, we visualized the opportunity to carry out a feasibility study on the use of lime in the brick production process, which allowed obtaining a production of mortars of better quality than those seen today. laboratory to verify the quality, complying with the ASTM standards required in the market for this product. Mainly, opportunities for improvement were sought to consolidate the company TAUROQUIMICA S.A. as a company committed to ecological industrial development, guaranteeing the use of complete by-products without any type of dumping that leads to soil contamination.



1. INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La industria cada vez muestra mayor interés en la gestión ambiental sostenible, lo cual se puede atribuir a la combinación de tres factores: la necesidad de una mayor eficiencia en el empleo de los recursos materiales y eficiencia en el empleo de los recurso materiales y energéticos, una legislación ambiental más rigurosa y la presión de la comunidad a medida que los reveses ecológicos se hacen más frecuentes y profundos.(Baracchini, 2007).

Estos factores, han provocado que la estrategia ambiental corporativa haya evolucionado rápidamente desde una posición correctiva hacia una posición productiva, enfocada hacia la sostenibilidad.(Lee & Rhee, 2005). Las corrientes de salida secundarias en los procesos industriales (que en este caso es corriente residual líquida) las avala la tercera ley de la termodinámica, por lo que reducir a cero la cantidad de desechos es imposible; sin embargo, se han desarrollado enfoques de gestión que priorizan la búsqueda de eficiencia en los flujos de materiales y energía dentro de la propia organización: producciones más limpias, minimización de residuos; mientras que otros enfoques promueven el empleo de las asociaciones que se puedan establecer entre las organizaciones: ecología industrial.(Nemerow, 1995).

La evidente contaminación por residuos de las industrias son consecuencia de la creciente demanda de productos para satisfacer las necesidades, lo que conllevan a que grandes cantidades de producto generen un alto impacto ambiental.

Durante el proceso de producción de acetileno que se lleva a cabo en Tauroquímica S.A., se desechan grandes cantidades de lechada de Cal, la cual es secada naturalmente y transportada al relleno de Doña Juana en donde se empaqueta y abandona con el uso de venta a la industria de curtiembres.



Debido a lo anterior se evidenció la oportunidad de desarrollar un nuevo material, aprovechando las propiedades de la lechada de cal en la producción de un mortero con unas especificaciones que cumple con la demanda actual en la industria de la construcción; de esta manera, la ladrillera Ovindoli S.A. permitió realizar ensayos con el subproducto de cal, y fue posible el desarrollo de un ladrillo competitivo y con características superiores al mínimo que rige la norma NTC y ASTM para este tipo de producto.

Se realizó paralelamente un estudio de factibilidad técnico-económico teniendo en cuenta los factores costo/beneficio, el cual fue viable para ambas empresas.

1.2 ANTECEDENTES

Existe una variedad de estudios realizados sobre el aprovechamiento de la Cal y el uso en cada uno de los productos, así como su aporte en la ampliación de características de estos nuevos bienes.

Por medio de las potencialidades para el aprovechamiento de residuales líquidos en la producción de acetileno se evaluó las potencialidades para el aprovechamiento material y energético del residual líquido de la producción de acetileno, y sus implicaciones ambientales y económicas; para ello se realizó una caracterización de residuales del proceso en una planta de acetileno.

Se determinó la influencia de variables tales como los volúmenes de producción, eficiencia del tratamiento, y aprovechamiento de la lechada, en las cargas contaminantes de parámetros significativos, las cuales alcanzaron valores en el 2008 de 265 T de sólidos totales, 1680 m³ de sólidos sedimentables, 3,7 T de Calcio, y 4,2 T de DQO. Aunque los residuales del proceso son aprovechados parcialmente como lechada para pintura, aún quedan amplias potencialidades para su mayor uso, que generarían ingresos económicos importantes



La evaluación termodinámica de los residuales líquidos generados mostró que por cada metro cúbico de acetileno producido se liberan 5 580 kJ de energía. Se concluye que los residuales líquidos de la producción de acetileno pueden aprovecharse material y energéticamente, reduciendo así el impacto ambiental negativo de su vertimiento al medio(Estrada et al., 2010).

Otro trabajo para tener en cuenta es Influence of natural hydraulic lime content on the properties of aerial lime-based mortars. Investigación hecha por el Departamento de Ingeniería Civil, Arquitectura y Georreferencias de la Universidad de Lisbon, Portugal. A cargo de B.A Silva, A.P Ferreira Pinto, Augusto Gomes; los cuales reseñan la importancia de fortalecer el conocimiento sobre el comportamiento de los morteros de Cal, por consiguiente, evalúan la influencia del contenido de cal hidráulica sobre las propiedades de los morteros de cal hidrosolubles (Silva, Ferreira Pinto, & Gomes, 2014). Esto con el fin de demostrar que estos morteros de Cal se pueden usar para la reparación de edificios históricos sin cambiar su apariencia original, así como la importancia en el uso de estas aleaciones en la construcción de hoy en día (VEIGA, FRAGATA, VELOSA, MAGALHÃES, & MARGALHA, 2010).

En fin, lo que se quiere demostrar es una buena práctica gestión ambiental en la producción de acetileno, esto conlleva a realizar estudios de factibilidad para la elección de tecnologías apropiadas que permitan la gestión eficiente de los residuales líquidos; así mismo, se tienen varios proyectos planteados y uno de ellos es hacer el ladrillo de Cal para aprovechar las grandes cantidades de lechada del producto para hacer el maquilado del ladrillo, de modo similar, demostrar que ofrece a los morteros de hoy en día mejor calidad, resistencia y durabilidad; así mismo, se le hará el estudio de viabilidad teniendo en cuenta el costo/beneficio para ambas empresas.



1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar la viabilidad técnico- económico para la elaboración, comercialización y venta de ladrillos de cal en la empresa tauroquimica s.a.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar las propiedades fisicoquímicas de la cal, con la finalidad de conocer su estado de pureza como óxido de calcio y su porcentaje de humedad tan pronto sale de la producción de acetileno.
- Definir las variables de proceso principales requeridas para mejorar las propiedades de ladrillo de cal, mediante la elaboración un diseño de experimentos donde se varíen las composiciones teniendo en cuenta las relaciones arcilla/cal.
- Verificar mediante pruebas de laboratorio que las propiedades físicas del material cumplan con los estándares de calidad según las normas NTC.
- Estudiar la resistencia a la compresión de un lote de ladrillos producido a escala industrial asegurando la calidad del lote.
- Realizar un estudio de viabilidad técnico económico del proyecto.



2. MARCO TEÓRICO

En búsqueda de la mejor concentración de cal en el uso de los ladrillos, se hace uso de herramientas de la información para referenciar el uso de la cal a lo largo de la historia, así mismo, como ha venido evolucionando a lo largo de la historia hasta el punto en que por reacciones químicas podemos adquirir este producto. Tomando en cuenta esta información se plantea la idea de implementar este producto en el ladrillo tipo estructural.

2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Nadie sabe con exactitud cuándo descubrió el ser humano la cal por primera vez. Es posible que los antiguos pobladores de la Tierra utilizaran la piedra caliza para proteger sus fogones. El fuego produciría el calentamiento de las rocas, dando lugar a la primera cal quemada de la historia. Más tarde, con las lluvias, la cal se hidrataría para formar hidróxido de calcio, que reaccionaría con las cenizas y la arena que rodeaban el fuego creando lo que podría considerarse el primer mortero tradicional. Algunos cimientos de cal hallados en Turquía apuntan a que está ya se utilizaba hace 14000 años. Hay otras evidencias anteriores: las cuevas de Lascaux, en Francia, contienen frescos que confirman el uso de pigmentos naturales de óxido de hierro aplicados a paredes de piedra húmeda con alto contenido en calcio (piedra caliza) y que se remontan casi a 16000 años atrás (“La cal a lo largo de la historia | Lhoist - Minerales y productor de cal,” n.d.).

La cal ha sido uno de los conglomerantes que el hombre ha utilizado desde la más remota antigüedad por obtenerla a partir de rocas carbonatadas muy extendidas en la corteza terrestre (representan un 20%).

Los morteros de cal apagada se han empleado en múltiples aplicaciones, tanto como revestimientos o como morteros para solados, fábricas, etc. Así como en morteros hidráulicos y morteros resistentes a la acción del agua del mar por incorporación de adiciones de tipo puzolánico. Actualmente la necesidad de rehabilitación y restauración de obras monumentales antiguas ha llevado a un renacimiento de los morteros hechos a base de cal. La fabricación y utilización de los



morteros de cal fue la práctica común hasta la primera guerra mundial. A partir de entonces, la evolución de los cementos Portland con una mayor rapidez de endurecimiento y desarrollo de resistencias mecánicas, llevó a que los morteros a base de cemento desplazaran a los tradicionalmente usados con cal. Sin embargo, su mayor retracción, fisuración y su rigidez mecánica, han hecho que se vuelva a utilizar la cal aérea apagada en la fabricación de morteros bien como único conglomerante o en mezclas con cemento o con yesos para su aplicación en la restauración de monumentos, revestimientos interiores (enlucidos) y exteriores (revocos) en fábricas de ladrillos, edificios, etc.(ANDALUZA DE CALES et al., 2015)

2.2 APLICACIONES DE LA CAL

A continuación, se encuentran las aplicaciones más comunes en las que puede ser utilizada la cal

- **Morteros para cimentaciones y asentamientos de piedra natural y bloques de fábrica:**

La cal aérea aporta la mayor trabajabilidad y flexibilidad debido a una mayor finura frente a la cal hidráulica natural.

Pero es preferible la cal hidráulica ya que aparte de buena trabajabilidad y flexibilidad tiene mayor resistencia a la compresión y una mayor resistencia inicial, con la ventaja de poder adelantar el trabajo rápido con ahorro de tiempo y dinero. Además, tolera las transferencias de humedades y sales minerales. Gracias a su mayor endurecimiento inicial la cal hidráulica natural permite al constructor realizar trabajos en el exterior durante todo el año, también en los meses del invierno, siempre que se proporciona una protección contra calores, hielo y aguas pluviales durante las primeras 72 horas de cura.

- **Construcción de piscinas naturales y estanques (almacenaje de aguas pluviales, etc.):**

Cal hidráulica natural (NHL 5), ya que es más impermeable, más resistente a la compresión, más resistente a sales minerales y capaz de endurecerse incluso debajo del agua, sin la presencia de aire.



• **Revestimientos exteriores e interiores:** Los morteros para revestimientos exteriores, en todo caso serían a base de cal hidráulica natural, ya que tiene la mayor resistencia mecánica, la mayor impermeabilidad y la mejor resistencia a agresiones ambientales, así como influencias marítimas.

Los revestimientos interiores podrían ser compuestos de un revestimiento base de mortero de cal hidráulica natural y un acabado fino (en una o varias capas) a base de mortero de cal aérea, sin o con pigmento lo que en su totalidad es un estuco de cal.

La elevada finura y máxima trabajabilidad de la cal aérea, que se puede aumentar aún más trabajando con cal grasa en pasta, es necesaria para un buen resultado final del acabado. Su elevada porosidad es responsable para un efecto máximo de compensación de vapores de agua en la vivienda, así como un excelente aislamiento térmico.

• **Lechadas y pinturas:**

Para la fijación de una superficie con mala adherencia, se podrían aplicar una o varias capas de lechada de cal aérea o cal hidráulica natural. Para la fijación de superficies arenosas es aconsejable la cal hidráulica.

Para aumentar la adherencia de un soporte justo antes de revestir da más efecto la lechada de cal aérea, la más grasa posible.

Las pinturas serían a base de cal aérea (color más blanco), preferiblemente cal grasa en pasta, diluido con agua y si acaso mezclado con pigmentos aptos para la cal. La cal en pasta, para pintar, debe estar elaborada de las capas superiores (con ausencia de partículas gordas sin apagar) de la cal que ha reposado bajo el agua durante un tiempo de meses o años.

Es aconsejable añadir a la pintura un estabilizante natural que entrará en reacción con la cal, como la caseína, por ejemplo, ya que de esta forma se aumenta su resistencia al tacto.



La humidificación del soporte y el control de la desecación del filme de pintura es de gran importancia ya que la falta de agua es incompatible con la carbonización de la cal.

El ámbito de aplicación de pinturas de cal es más bien en interiores ya que las pinturas de cal son sensibles a las variaciones climáticas (hielo, sol, viento y humedad). Pues exigen un alto grado de mantenimiento en exteriores.

• **Fijación de tejas, solería (interior y exterior) y piezas de decoración y murales:**

Tejas y solería con cal hidráulica natural ya que interesa resistencia mecánica, así como máxima impermeabilidad. Para la fijación de piezas decorativas cerámicas o de piedra natural en superficies verticales, además de elaborar un mortero con alto contenido de cal y óptima granulometría, se podría aplicar un mortero a base de cal hidráulica (resistencia mecánica y buena adherencia) y pasta de cal grasa (aumento de adherencia). El soporte, si fuese necesario, se podría preparar con una lechada de cal grasa.

• **Estabilizar tierra con cal:**

Se puede estabilizar la tierra para la fabricación de adobes o tapial y conseguiremos aumentar su resistencia mecánica, así como su resistencia al agua. Los suelos muy arcillosos (40% o más) se estabilizan mejor con cal aérea.

Los suelos muy arenosos se estabilizan mejor con cal hidráulica para ganar más resistencia. A parte de mezclarlo todo bien, para asegurar un buen proceso de endurecimiento, las mezclas de tierra y cal hidráulica se deben poner en obra pronto, evitando el secado rápido, ya que, si no se puede perder con facilidad el 50% de resistencia.

La cal viva en polvo puede ser utilizada para estabilizar, pero tiene la desventaja de producir mucho calor y puede dañar peligrosamente la piel. Por causa del calor de hidratación tiende a secar el suelo rápidamente con el riesgo de dilatación.



En general se aplica un 5% de estabilizante ya que menos cal casi significa una pérdida de resistencia. La estabilización no es una ciencia exacta por ello depende del técnico o constructor, es mejor hacer bloques de prueba para realizar ensayos. El propósito de estos ensayos es encontrar la menor cantidad de estabilizante que satisfaga los requerimientos (“La Cal. Pequeña guía de la cal en la construcción – EcoHabitar,” n.d.).

2.3 LA CAL HIDRÁULICA

La cal hidráulica natural es producida por la quema de piedra caliza impura que contiene minerales arcillosos tales como sílice, hierro y aluminio, a temperaturas relativamente bajas, 800-900 ° C en comparación con 1450 ° C para el cemento Portland. La cal se calienta, se rocía o se sumerge en cera, para producir una mezcla de silicato dicálcico, hidróxido de calcio y otros compuestos que, cuando se mezclan con arena y cera, se utilizan para producir un mortero de cal. Por lo tanto, un mortero de cal hidráulico natural no contiene compuestos compresores de cemento debido a la baja temperatura de combustión (mineral products asociation, 2011).

La cocción de una roca caliza con un contenido entre un 8 y un 20% de *arcillas* da lugar a la cal hidráulica natural. Esta cal se caracteriza por su capacidad para fraguar en ambientes aéreos, así como en lugares con escasez de CO₂, como por ejemplo debajo del agua. A dicha propiedad de fraguado sin CO₂ se la denomina hidraulicidad.

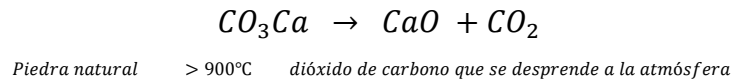
La cal hidráulica natural está compuesta por una parte de Ca(OH)₂ (hidróxido cálcico) que carbonata en presencia de CO₂. Su hidraulicidad se debe otra parte compuesta por **silicatos cálcicos** y **aluminatos cálcicos** que, al hidratarse, forman sustancias insolubles y muy estables químicamente (silicatos cálcicos hidratados, aluminatos cálcicos hidratados y silicoaluminatos cálcicos hidratados). (“La cal hidráulica | sobre la cal,” 2016).



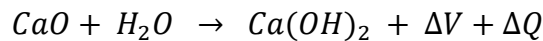
2.3.1 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA CAL HIDRAULICA

A menudo se dice que la diferencia entre un conglomerante aéreo y uno hidráulico radica en la capacidad que tiene el segundo para endurecer inmerso en agua, cuando en realidad esto es una consecuencia. Es necesario, por lo tanto, explicar el mecanismo fundamental del proceso porqué, aunque en ambos casos se requiere la incorporación de agua a la mezcla como vehículo para hacer la pasta o el mortero, los procesos químicos son diferentes.

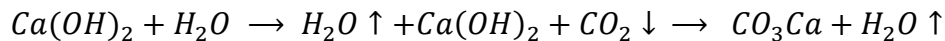
Tradicionalmente se ha obtenido la cal (óxido de cal CaO) del proceso de calcinación del carbonato cálcico que se encuentra en la naturaleza en forma de piedras calizas más o menos puras (Espinosa & Celestino, 1859):



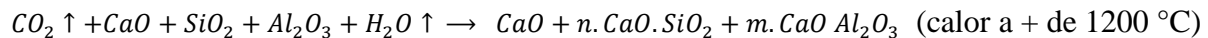
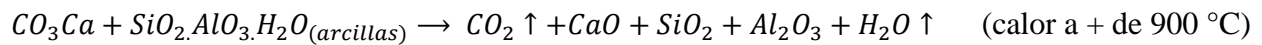
Cuando añadimos agua (H₂O) al óxido de cal que tenemos en forma de piedra calcinada (cal viva), obtenemos el hidróxido de cal Ca(OH)₂, también llamado cal apagada o cal hidratada, además de un aumento de volumen y desprendimiento de calor:



En este proceso conocido como apagado obtenemos, en función de la cantidad de agua añadida, la cal en polvo o en pasta. Con el añadido de árido y agua, si procede, obtenemos el mortero que, durante su proceso de secado desprende el agua por evaporación al tiempo que capta el CO₂ de la atmósfera, que será el que reaccione con el hidróxido de cal formando de nuevo el carbonato cálcico y generando más agua, que se pierde por evaporación.



Este es por lo tanto un fraguado aéreo, dado que la cal aérea necesita desprenderse del agua de amasado y capturar dióxido de carbono del aire, lo que no puede hacer si se encuentra sumergida. Ahora bien, si trabajamos a partir del carbonato cálcico CO_3Ca , y le añadimos arcillas, que contienen mayormente y en proporciones variables sílice y alúmina y en menor cantidad otros elementos como óxidos de hierro, y elevamos la temperatura de cocción alrededor de los $1200^\circ C$ conseguimos la producción de la cal hidráulica. Las ecuaciones siguientes muestran el proceso químico:



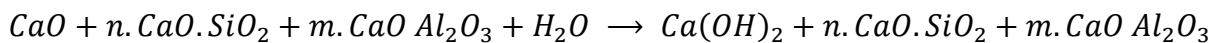
Siendo:

CaO: cal viva;

n.CaO.SiO₂: silicatos cálcicos

m.CaO Al₂O₃: Aluminatos cálcicos

Como podemos observar, este producto presenta una importante cantidad de cal viva que debe ser apagada selectivamente para formar cal aérea apagada.



Así, típicamente, en un saco de cal hidráulica se encuentran compuestos de cal aérea (que tendrán un fraguado aéreo) y compuestos hidráulicos (a los que corresponderá un fraguado hidráulico), además de otros componentes inertes.

Al utilizar esta cal hidráulica para la confección de una pasta o un mortero, precisaremos añadir el agua necesaria para el amasado. Ésta provocará la hidratación de los compuestos hidráulicos mientras que el Ca(OH)₂ precisará la evaporación del agua sobrante y la captura del CO₂ para su endurecimiento. Se dan así dos procesos: uno hidráulico que sólo requiere la presencia del agua, y el otro aéreo, que requiere el acceso del aire (Amigó, 2012).



En resumen: un conglomerante aéreo precisa de aire para su completo fraguado y endurecimiento, mientras que un conglomerante hidráulico puede fraguar y endurecer completamente al aire, y tan sólo parcialmente en inmersión.

2.3.2 LA PRODUCCIÓN DE CAL EN COLOMBIA

La demanda de cal en Colombia está creciendo a través de los años, muchos agricultores se han visto en la tarea de usar el producto para estabilizar sus suelos y muchas empresas productoras de cemento lo utilizan para darle finalidad a su producto. Por esta razón, los yacimientos calcáreos han opacado la competencia de Cal generada de residuos líquidos de las empresas, siendo esto así, complicado encontrar clientes para este potencial producto; por otro lado, las curtiembres, hoy por hoy, están haciendo uso de este producto por su bajo costo y para darle afinidad al cuero (Osorno Henao Ciencias & suelos Director Raúl Darío Zapata Profesor, 2012).

2.4 EL LADRILLO Y SU IMPORTANCIA EN COLOMBIA

El ladrillo es una masa de arcilla y arena, en forma rectangular, que después de cumplir con un proceso de elaboración, sirve para construir muros, aposentos y monumentales edificaciones.

La arcilla es uno de los materiales más nobles de la humanidad, se le conoce desde la era de la Mesopotamia, pero se presume que su descubrimiento viene de mucho antes.

El desarrollo de este material se comenzó a dar cuando el arquitecto norteamericano Frank Wright comenzó a trabajar con el convencimiento de que la labor de un arquitecto era tomar un ladrillo, cuyo valor no era tan significativo, y convertirlo en un valioso tesoro capaz de generar riqueza, empleo, desarrollo urbano e infraestructura.



No en vano, Colombia exporta alrededor de US\$214.7 millones en materiales de construcción, de los cuales 30.4% corresponden a venta de productos de arcilla al mercado externo, según lo corroboran recientes cifras de Proexport.

En Colombia se utiliza la arcilla en el área de la construcción, principalmente, y su importancia es tal que cada 2 años se realiza en el país un evento internacional que reúne a grandes empresarios del sector de la construcción, para intercambiar ideas y mostrar las nuevas tendencias y materiales para el sector. El ladrillo se ha convertido en Colombia en una marca característica de la colonia. Al país llegó en los años 40, durante la época del modernismo, cuando se trabajaban obras pintadas de blanco, con una apariencia de cubierta plana, pero en realidad fabricadas con teja de barro.

En los años 50 se comenzaron a adoptar los principios del organicismo, es decir exhibir los materiales en sus texturas naturales. Fue entonces cuando se le comenzó a dar mayor protagonismo al ladrillo, de tal forma que las cubiertas dejaron de ser planas para pasar a ser inclinadas y las formas pasaron de lo cúbico a lo curvo y escalonado.

A mediados de los años 60 se comenzó a hablar de la arquitectura de lugar, cuya propuesta era la innovación según las condiciones del paisaje, la cultura y el entorno.

Fue entonces cuando se desarrollaron proyectos tan importantes como las Torres del Parque, que se podría considerar la obra paradigmática de la arquitectura en Colombia a finales de los años 60.

En la época actual, después de una década de “borrachera postmodernista”, Colombia entra en la arquitectura moderna, actualizada, donde se utilizan mayores tecnologías y la combinación de materias primas como el acero, el plástico y otros materiales sintéticos para ofrecer productos de calidad, elegantes, duraderos y que respondan a las actuales condiciones del mercado: seguridad, estética y modernidad.



2.4.1 AVANCE INDUSTRIAL

Pero, así como existen materiales sólidos y competitivos, también se requiere de tecnología adecuada para hacer de éstos toda una obra de arte al servicio de la comunidad. Es así como en 1889 el señor J.C. Steele, un fabricante de ladrillos en Statesville, Carolina del Norte, diseñó y fabricó una máquina para su industria, a la cual le adicionó importantes cambios y mejoras con relación a las existentes.

Lo anterior, dio origen al postulado bajo el cual basó su compañía y que se ha mantenido inalterado a lo largo de más de un siglo, durante el cual se han hecho nuevos diseños y se han logrado grandes y constantes avances en materiales y métodos de fabricación de las máquinas para la industria de la arcilla alrededor del mundo.

Colombia no es la excepción y las fábricas de ladrillo en el país basan sus actividades en tecnología de punta para sacar el máximo provecho de las materias primas y entregar al público un producto con excelente calidad(“- Construdata.com,” n.d.).

2.4.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL LADRILLO

No hay complicaciones en convertir la arcilla conformada por sílice, agua, alúmina, óxido de hierro y magnesio, así como de calcio y otros materiales alcalinos en un ladrillo. La fabricación de estos sigue etapas que enseguida comentamos.

La arcilla es el material básico del ladrillo, debido a que cuando se humedece se convierte en una masa fácil de manejar y se moldea muy fácilmente, por lo que, para proceder a fabricar ladrillos, hay que humedecer bien la arcilla. Ya manejable se moldea y para endurecerla y convertirla en ladrillo se procede por el método de secado, éste es de los más antiguos o por cocción que resulta más rápido. Como pierde agua su tamaño se reduce, pero muy poco, alrededor de un 5%. El proceso de fabricación de los ladrillos conlleva:



- **Extracción de la materia prima:** se extrae y transporta la materia prima necesaria para la elaboración de ladrillos, la cual esa arcilla es un material sedimentario de partículas muy pequeñas de composición 40% arcilla, 40% limos y 20% arena, estos materiales son transportados en camiones principalmente de la cantera hasta los lugares donde se va a producir los ladrillos.
- **Maduración:** Antes de incorporar la arcilla al ciclo de producción, hay que someterla a ciertos tratamientos de trituración, homogeneización y reposo en acopio, con la finalidad de obtener una adecuada consistencia y uniformidad de las características físicas y químicas deseadas. El reposo a la intemperie tiene, en primer lugar, la finalidad de facilitar el desmenuzamiento de los terrones y la disolución de los nódulos para impedir las aglomeraciones de las partículas arcillosas. La exposición a la acción atmosférica (aire, lluvia, sol, hielo, etc.) favorece, además, la descomposición de la materia orgánica que pueda estar presente y permite la purificación química y biológica del material. De esta manera se obtiene un material completamente inerte y poco dado a posteriores transformaciones mecánicas o químicas.
- **Tratamiento mecánico previo:** Después de la maduración que se produce en la zona de acopio, sigue la fase de pre-elaboración que consiste en una serie de operaciones que tienen la finalidad de purificar y refinar la materia prima. Los instrumentos utilizados en la pre-elaboración, para un tratamiento puramente mecánico suelen ser:
 - **Rompe-terrones:** como su propio nombre indica, sirve para reducir las dimensiones de los terrones hasta un diámetro entre 15 y 30 mm
 - **Eliminador de piedras:** está constituido, generalmente, por dos cilindros que giran a diferentes velocidades, capaces de separar la arcilla de las piedras o chinós.
 - **Desintegrador:** se encarga de triturar los terrones de mayor tamaño, más duros y compactos, por la acción de una serie de cilindros dentados.
 - **Laminador refinador:** está formado por dos cilindros rotatorios lisos montados en ejes paralelos, con separación, entre sí, de 1 a 2 mm, espacio por el cual se hace pasar la arcilla sometiéndola a un aplastamiento y un planchado que hacen aún más



pequeñas las partículas. En esta última fase se consigue la eventual trituración de los últimos nódulos que pudieran estar, todavía, en el interior del material.

- **Depósito de materia prima procesada:** a la fase pre-elaboración, sigue el depósito de material en silos especiales en un lugar techado, donde el material se homogeniza definitivamente tanto en apariencia como en características físico-químicas.
- **Humidificación:** antes de llegar a la operación de moldeo, se saca la arcilla de silos y se lleva a un laminador refinador y, posteriormente a un mezclador humedecedor, donde se agrega agua para obtener la humedad precisa
- **Moldeado:** el moldeado consiste en hacer pasar la mezcla de arcilla a través de una boquilla al final de la estructura. La boquilla es una plancha perforada que tiene la forma del objeto que se quiere producir. El moldeado, normalmente, se hace en caliente utilizando vapor saturado aproximadamente a 130 °C y a presión reducida. Procediendo de esta manera, se obtiene una humedad más uniforme y una masa más compacta, puesto que el vapor tiene un mayor poder de penetración que el agua.
- **Secado:** el secado es una de las fases más delicadas del proceso de producción. De esta etapa depende, en gran parte, el buen resultado y calidad del material, más que nada en lo que respecta a la ausencia de fisuras. El secado tiene la finalidad de eliminar el agua agregada en la fase de moldeado para de esta manera, poder pasar a la fase de cocción.
- **Cocción:** se realiza en hornos de túnel, que en algunos casos pueden llegar a medir hasta 120 m de longitud, y donde la temperatura de la zona de cocción oscila entre 900 °C y 1000°C. En el interior del horno, la temperatura varía de forma continua y uniforme. El material secado se coloca en carros especiales, en paquetes estándar y alimentado continuamente por una de las extremidades del túnel (de donde sale por el extremo opuesto una vez que está cocido). Es durante la cocción donde se produce la sinterización, de manera que la cocción resulta una de las instancias cruciales del proceso en lo que a la resistencia del ladrillo respecta.
- **Almacenaje:** antes del embalaje, se procede a la formación de paquetes sobre pallets, que permitirán después moverlos fácilmente con carretillas de horquilla, el embalaje consiste



en envolver los paquetes con cintas de plástico o de metal, de modo que puedan ser depositados en lugares de almacenamiento para, posteriormente, ser trasladados en camión(Guarniz, 2010).

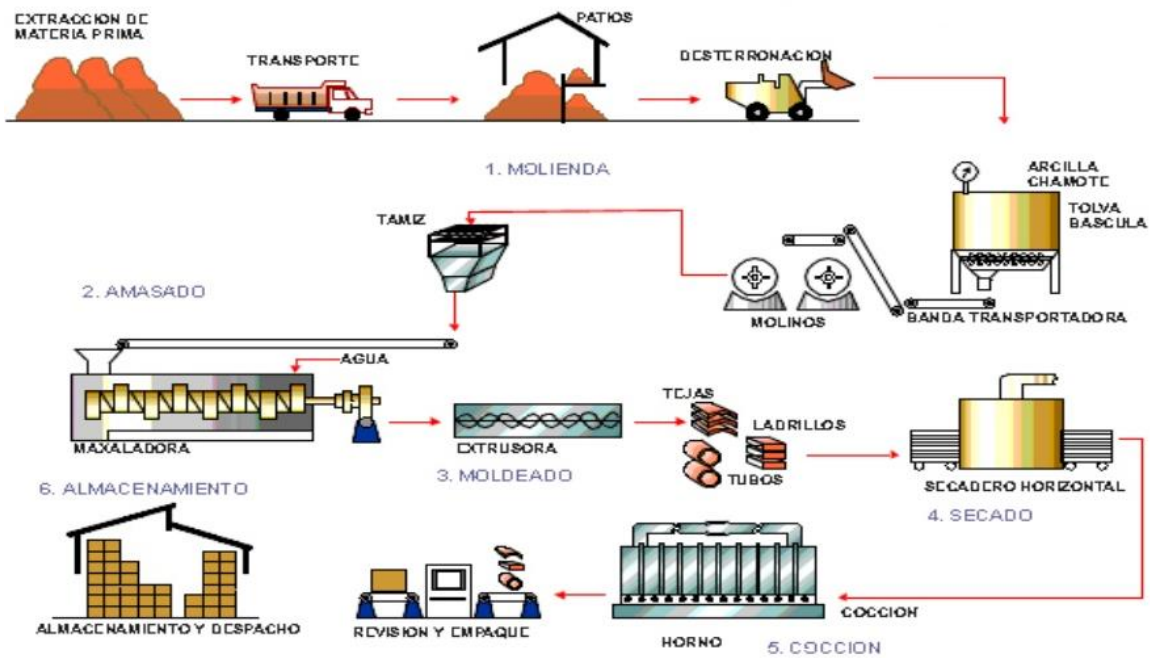


Figura 1. Proceso de producción del ladrillo

El almacenamiento es un punto importante dentro del proceso de **fabricación de ladrillos**, porque debe ser un lugar que los proteja de los elementos como el agua, el sol excesivo o la humedad extrema que podrían en alguna manera mermar su calidad. Además de que permita que los mismos puedan manipularse fácilmente, o sea trasladarse cuando hay que despacharlos o mover de lugar para inventariar y otras tareas(“Ladrillos | Cómo se fabrican los ladrillos,” n.d.).

2.5 ENSAYOS DE CALIDAD Y SU NORMATIVA

Tabla 1. Ensayos de Calidad.

| ENSAYOS | NORMATIVA | CACULOS Y REPORTE |
|---|--|--|
| <p>Resistencia a la compresión</p> | <p>Según la normativa ASTM C67-17 inciso 7. Las muestras de ensayo deberán consistir en unidades de ladrillo de medio que se han secado y enfriada (ver 5.1), la altura y anchura de la unidad, con una longitud igual a la mitad de la longitud completa de la unidad 61 in. (25,4 mm), excepto como se describe a continuación: cuando la probeta de ensayo, descrita anteriormente, supere la capacidad de la máquina de ensayo, las probetas constarán de piezas secas de ladrillo, de toda la altura y anchura de la unidad, con una longitud no inferior a un cuarto de toda la longitud de la unidad, Y con un área de sección transversal bruta perpendicular al cojinete no inferior a 14 pulgadas² (90,3 cm²). Los especímenes de ensayo se obtendrán por cualquier método que produzca, sin romper o agrietarse, un espécimen con extremos aproximadamente planos y</p> | <p>Calcular y reportar la resistencia a la compresión de cada muestra a los 10 psi más cercano (69 kPa) con la siguiente formula:</p> $C = \frac{W}{A}$ <p>C = resistencia a la compresión de la muestra, lb / in.² (o kg / cm²) (o Pa · 104) W = carga máxima, lbf, (o kgf) (o N), indicada por la máquina de ensayo A = promedio de las áreas brutas de las superficies superior e inferior de apoyo de la muestra, in² (o cm²).</p> |



| | | |
|------------------|--|---|
| | paralelos. Se probarán cinco ejemplares.(American Society for Testing and Materials, 2011; Técnica, 2005) | |
| Absorción | La escala o balanza utilizada deberá tener una capacidad de no menos de 2000 g, y deberá ser sensible a 0,5 g. Los especímenes de ensayo estarán compuestos por medio ladrillo conforme a lo prescrito en la normativa ASTM C67-17 inciso 7.1.1 (NTC 4017). Se probarán cinco ejemplares(American Society for Testing and Materials, 2011; Técnica, 2005). | Calcular y reportar la absorción de agua fría de cada muestra a la 0,1% más cercano con la siguiente formula: $Absorcion, \% = \frac{100(W_b - W_d)}{W_d}$ |
| Succión | Según la normativa ASTM C67-17 inciso 10 (NTC 4017). Medir el área del ladrillo donde estará en contacto con el agua. Pesar el espécimen con una desviación de 0,5 g. Ajuste la posición de la bandeja para la prueba de absorción de modo que la superficie superior de su fondo se nivele cuando se pruebe con un nivel de burbuja y coloque el ladrillo de referencia saturado (10.1.3) en su lugar sobre los soportes. Añada agua hasta que el nivel del agua esté por | El ensayo para su obtención está especificado en la NTC 4017. La expresión para utilizar es: $Succión = Si = \frac{Qi - Pi}{ai} \leq 0.45 \frac{g}{cm^2}$ Si = succión de cada una de las probetas Qi = Peso humedecido de cada una de las probetas Pi = Peso seco de cada una de las probetas ai = área de la tabla en contacto |



| | | |
|-----------------------------|--|--|
| | <p>encima de la parte superior de los soportes (3,18 mm más o menos 0.25mm). Después de retirar el ladrillo de referencia, coloque el ladrillo de prueba en posición plana, contando el tiempo cero como el momento de contacto del ladrillo con el agua. Durante el período de contacto (1 min), mantenga el nivel de agua dentro de los límites prescritos añadiendo agua según sea necesario. Al final de 1 min, levante el ladrillo del contacto con el agua, limpie el agua superficial con un paño húmedo y vuelva a pesar el ladrillo a 0,5 g. La limpieza se completará en un plazo de 10 segundos después de haber sido retirada del contacto con el agua, y el pesaje se completará en 2 minutos(American Society for Testing and Materials, 2011; Técnica, 2005).</p> | <p>con el agua de cada una de las probetas</p> |
| <p>eflorescencia</p> | <p>Según la normativa ASTM C67-17 inciso 11 (NTC 4017). Coloque una muestra de cada uno de los cinco pares, al final, sumergiéndola parcialmente en agua destilada a una profundidad de aproximadamente 1</p> | <p>anotar lo observado al terminar la prueba, agregando al reporte: no ha eflorescencia, poca eflorescencia, eflorescencia alta.</p> |



| | | |
|--|---|--|
| | <p>pulg. (25,4 mm) durante 7 días en la sala de secado. Cuando se prueban varios ejemplares en el mismo recipiente, separe los especímenes individuales por un espaciamiento de por lo menos 2 pulgadas (50,8 mm). Guarde el segundo espécimen de cada uno de los cinco pares en la sala de secado sin contacto con agua. Al final de 7 días, inspeccionar el primer conjunto de muestras y luego colocar ambos conjuntos en el horno de secado sin contacto con el agua durante 24 horas(American Society for Testing and Materials, 2011; Técnica, 2005).</p> | |
|--|---|--|

NOTAS:

Ensayo de absorción: Las unidades de mampostería de arcilla cocida, deben cumplir con los requisitos de absorción de agua en 24 h de inmersión (promedio y máximo individual) que se dan en las Tablas 2 y 3.

En general, no se pueden tener absorciones inferiores al 5 % en promedio, ni superficies vidriadas o esmaltadas en las caras en que se asientan o en las que se vayan a pañetar.

Si debido a la materia prima utilizada, las unidades de mampostería de uso exterior (fachada) resultan con absorción mayor a la especificada, se puede acudir al análisis termodiferencial conjunto de la arcilla y el producto cocido, para demostrar si la temperatura de cocción es suficiente o no para evitar la rehidratación de la arcilla cuando las piezas estén expuestas a la



intemperie. También se puede tomar como criterio de estabilidad a la intemperie, la relación de módulos de rotura, establecida entre una pieza saturada de agua durante 24 h a temperatura ambiente y el de una pieza seca. Dicha relación no puede ser inferior a 0,8. Este ensayo se efectúa sobre cinco muestras para cada estado, según el método descrito en la NTC 4017 y ASTM C67-17.(American Society for Testing and Materials, 2011; Técnica, 2005)

Ensayo de resistencia mecánica a la compresión: Las unidades de mampostería de arcilla cocida deben cumplir con la resistencia mínima a la compresión que se especifica en las Tablas 2 y 3.

En los ladrillos de perforación vertical, la resistencia neta a la compresión se calcula dividiendo la carga de rotura o de falla por el área neta de la sección perpendicular a la carga (se descuentan las áreas de celdas y perforaciones). En los ladrillos macizos, la resistencia neta y la resistencia bruta son iguales porque se calculan dividiendo por el área de apoyo de los ladrillos.

Tabla 2. Propiedades físicas de las unidades de mampostería estructural.

| Tipo | Resistencia mínima a la compresión Pa(kgf/cm ²) | | Absorción de agua máxima en % | | | |
|------|---|---------------|-------------------------------|--------|----------|--------|
| | | | Interior | | Exterior | |
| | Prom 5 U | Unidad | Prom 5 U | Unidad | Prom 5 U | Unidad |
| PH | 5,0 (50) | 3,5 (35) | 13 | 16 | 13,5 | 14 |
| PV | 18,0 (180) | 15,0 (150) | 13 | 16 | 13,5 | 14 |
| M | 20,0 (200) | 15,0 (150) | 13 | 16 | 13,5 | 14 |

1) Para el caso de ladrillos de perforación vertical, los valores establecidos corresponden a Resistencia Neta mínima a la compresión, en los otros casos corresponden a Resistencia Bruta.



PH = Unidad de mampostería de perforación horizontal (bloque)

PV = Unidad de mampostería de perforación vertical (ladrillo)

M = Unidad de mampostería maciza (ladrillo)

Notas:

1) Se debe considerar defecto principal, el no cumplimiento de la resistencia y como defecto secundario el no cumplimiento de la absorción. El no cumplimiento de la resistencia motiva además el rechazo de los especímenes, mientras que el incumplimiento de la absorción queda condicionado a los demás requisitos de calidad que establece esta norma y a lo acordado entre cliente y proveedor.

2) Para unidades de perforación vertical de 20 cm de altura o más, el requisito de resistencia a la compresión se debe reducir en un 25 % sobre los mínimos exigidos por la tabla.

Tabla 3. Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural

| Tipo | Resistencia mínima a la compresión Pa (kgf/cm ²) | | Absorción de agua máxima en % | | | |
|------|--|------------|-------------------------------|--------|----------|--------|
| | | | Interior | | Exterior | |
| | Prom 5 U | Unidad | Prom 5 U | Unidad | Prom 5 U | Unidad |
| PH | 3,0 (30) | 2,0 (20) | 13 | 16 | 13,5 | 14 |
| PV | 14,0 (140) | 10,0 (100) | 13 | 16 | 13,5 | 14 |



| | | | | | | |
|---|---------------|---------------|----|----|------|----|
| M | 14,0 (140) | 10,0 (100) | 13 | 16 | 13,5 | 14 |
|---|---------------|---------------|----|----|------|----|

1) Para el caso de ladrillos de perforación vertical, los valores establecidos corresponden a Resistencia Neta mínima a la compresión, en los otros casos corresponden a Resistencia Bruta.

PH = Unidad de mampostería de perforación horizontal (bloque)

PV = Unidad de mampostería de perforación vertical (ladrillo)

M = Unidad de mampostería maciza (ladrillo)

Notas:

3) Se debe considerar defecto principal, el no cumplimiento de la resistencia y como defecto secundario el no cumplimiento de la absorción. El no cumplimiento de la resistencia motiva además el rechazo de los especímenes, mientras que el incumplimiento de la absorción queda condicionado a los demás requisitos de calidad que establece esta norma y a lo acordado entre cliente y proveedor.

4) Para unidades de perforación vertical de 20 cm de altura o más, el requisito de resistencia a la compresión se debe reducir en un 25 % sobre los mínimos exigidos por la tabla.(American Society for Testing and Materials, 2011; Técnica, 2005)



3. METODOLOGÍA

La metodología empleada para el cumplimiento de cada uno de los objetivos propuestos en este proyecto se desarrolló en 11 etapas que son explicadas a continuación. Primero se realizó una revisión de la materia prima (Cal) para saber en qué condiciones de pureza se obtiene, así mismo, se revisó la planta Ovindoli S.A con el fin de plantear el mejor modelo de mezcla en la sección de la planta; de igual manera, se realizaron balances de materia y la relación cal-arcilla para la realización de las probetas, así como su caracterización que le otorga mejor calidad.

La figura 2, esquematiza el procedimiento que se llevó a cabo para desarrollar la metodología y el cumplimiento de los objetivos propuestos.

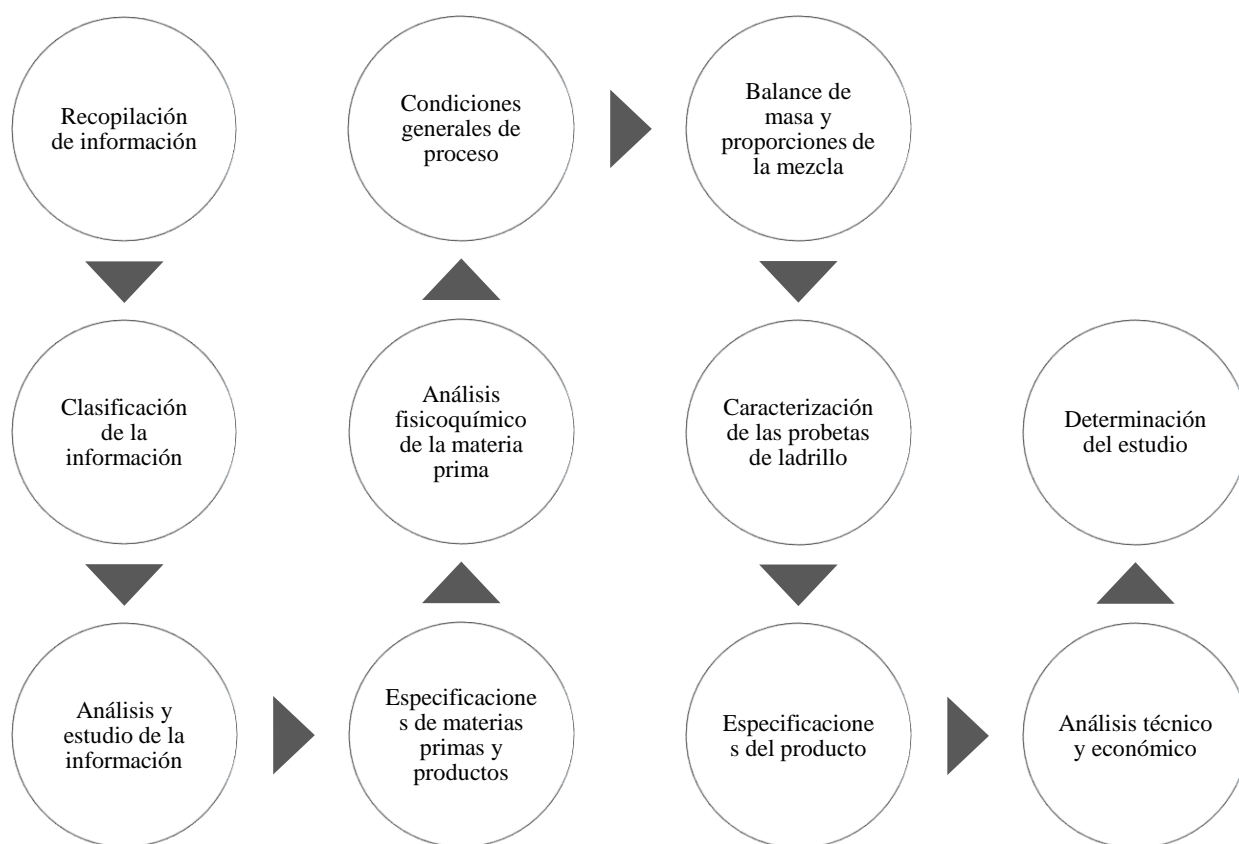


Figura 2. Esquema metodológico.

3.1 RECOPIACIÓN Y ESTUDIO DE INFORMACIÓN

Con el fin de analizar las variables más importantes del proceso, así mismo, para una futura caracterización y mejora de la calidad del producto. De igual manera, para darle una determinación al estudio de viabilidad desde la parte técnica como económica.

3.2 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LA MATERIA PRIMA

Las características con que se produce el subproducto del proceso de producción de acetileno y dichos métodos de caracterización se presentan a continuación en la tabla 4.

Tabla 4. Análisis fisicoquímico de la Cal

| ENSAYO | FEC.ANALISIS | METODO | REFERENCIA | RESULTADO |
|---|--------------|---------------------------------|--------------------|------------------------|
| 1 - CALCIO | 06-ABR-2016 | A.A de Llama | EPA 3050B-SM 3111B | 371200 mg/Kg Ca |
| 2 - CARBONATOS | 06-ABR-2016 | -- | IGAC 2006 | 4.38 % |
| 3 - FOSFATOS | 06-ABR-2016 | Colorimetría - Cloruro Estañoso | SM 4500-P D | <5 mg/Kg PO4 |
| 4 - HIERRO | 06-ABR-2016 | A.A de Llama | EPA 3050B-SM 3111B | 244 mg/Kg Fe |
| 5 - HUMEDAD | 06-ABR-2016 | Gravimétrico | IGAG, 6 Ed. 2006 | 50.99 % |
| 6 - MAGNESIO | 06-ABR-2016 | A.A de Llama | EPA 3050B-SM 3111B | 206 mg/Kg Mg |
| 7 - PUREZA COMO ÓXIDO DE CALCIO | 06-ABR-2016 | Titulométrico H2SO4 | ---- | 92.78 % |
| 8 - SULFATOS | 06-ABR-2016 | Turbidimétrico | NTC 5402 | <2 mg/Kg S |
| FIN DEL REPORTE | | | | |
| OBSERVACIONES: Muestra puntual recolectada por el cliente. | | | | |
| Referencia (SM): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22d Edition. 2012. | | | | |
| Referencia (EPA): Environmental Protection Agency. | | | | |
| Referencia (NTC): Norma Técnica Colombiana | | | | |
| El presente documento no podrá ser reproducido total ni parcialmente y es válido únicamente si tiene el sello seco. | | | | |



3.3 ESPECIFICACIONES DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS.

En la tabla 5, se observa la composición de la “arcilla” utilizada para producir de ladrillos en la empresa Ovindoli, la cual por normativa de la empresa se va trabajar como siempre lo han venido haciendo y teniendo en cuenta nuestro producto de interés.

Tabla 5. Composiciones del Ladrillo

| Materia Prima | Composición |
|---------------|-------------------------------------|
| Arcilla | 40% |
| Limo | 40% |
| Arena | 20% |
| Cal | Composiciones a trabajar máximo 80% |

3.4 CONDICIONES GENERALES DE OPERACIÓN

La ladrillera Ovindoli S.A se encuentra ubicada a escasos 50 km al norte de Bogotá, en el municipio de Cogua, Cundinamarca, en el parque minero-industrial, la cantera es mostrada en la siguiente figura (**figura 3**). Así mismo, en la **tabla 6** se muestran las condiciones de operación de las principales operaciones unitarias.



Figura 3. Ubicación de la Cantera Ovindoli S.A

Tabla 6. Condiciones de operación de la planta

| DESCRIPCIÓN | VALOR |
|--------------------------------------|--------------------|
| Capacidad de procesamiento | 10.000 kg/día |
| Cantidad de ladrillos por lote | 2500 ladrillos/día |
| Humedad de amasadora | 22%-26% |
| Presión de operación de extrusora | Vacío |
| Temperatura de secado en cuartos | 105 °C |
| Tiempo de secado en cuartos | 24 horas |
| Temperatura de secado natural | ambiente |
| Tiempo de secado natural | 1 a 2 semanas |
| Temperatura de cocción horno Hoffman | 985 °C |
| Tiempo de cocción en horno Hoffman | 4 días |

3.5 BALANCE DE MASAS Y PROPORCIONES DE MEZCLA.

Teniendo en cuenta el trabajo a desarrollar, se llevaron a cabo diferentes proporciones y/o porcentajes de mezcla entre la cal/arcilla con el fin de acertar en la mejor opción según sus ensayos de calidad, los resultados en el balance de masa de la mezcla se encuentran reportados en el ANEXO A.

3.5.1 Preparación de la mezcla.

Para la elaboración de cada lote de probetas:

Se hicieron mezclas arcilla/cal de diferentes proporciones, teniendo en cuenta que, a cada lote de probetas elaborado en un día diferente se le media el porcentaje de humedad a la arcilla (**Figura 4**) con la fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso humedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}}$$





Figura 4. *Perdida de agua en la arcilla*

- ❖ Posteriormente, como se quiere trabajar en base seca se hizo el cálculo respectivo para así agregar los componentes a mezclar.
- ❖ Después de hacer la mezcla en seco en un recipiente (**Figura 5**), se agregó agua hasta que la mezcla obtuvo una humedad entre 20% y 25% necesarios para suministrar a la extrusora (**Figura 6**), se terminó de amasar en húmedo hasta que quedo uniforme la mezcla.



Figura 5. *Momento de mezcla seca*



Figura 6. Momento de mezcla húmeda

- ❖ Según la literatura la mezcla final siempre tendrá 20% de arena para que tenga la combinación entre plasticidad y capacidad de compactación más rápida

3.6 ELABORACIÓN DE LA PROBETA FINAL.

Para la elaboración de las probetas, ya se debe tener la mezcla humedecida y en perfecta homogenización para poder ser agregada a la extrusora, esta desarrolla la presión suficiente para que supere la resistencia al flujo de la hilera abierta, de modo que el perfil emerja de la hilera de forma continua. (“Maquinaria de extrusión - Plástico,” n.d.).

- ❖ La máquina extrusora usada para el desarrollo de este proyecto se muestra en la **figura 7 y 8**.



Figura 7. Extrusora Ovindoli S.A.



Figura 8. Extrusora Ovindoli S.A.

- ❖ Este proceso se parece al indicado en la **figura 1** pero a escala piloto, en la **figura 9** se ve el producto final al salir de la extrusora, se observa que el procedimiento de cortado de moldes es idéntico al de escala industrial. A continuación, se van acomodando en una placa de cerámica como se indica en la **figura 10**.



Figura 9. Probetas en sección de corte.



Figura 10. Ubicación de probetas en la placa de cerámica

- ❖ Seguidamente se llevan al cuarto de secado (**figura 11**), El secado de un cuerpo arcilloso crudo es el mecanismo por el cual se elimina el agua que lo humedece. El secado es necesario para que la cocción del cuerpo cerámico se realice adecuadamente. El mecanismo de secado es muy similar para los distintos cuerpos arcillosos. No obstante, a una determinada velocidad de secado, los efectos que se generan sobre cada cuerpo pueden ser muy diferentes entre cada uno de ellos, dependiendo de su naturaleza química y cristalográfica, de su granulometría y de su historia previa antes de llegar al secadero (“Secado,” n.d.). El tiempo de secado es de 24 horas contando el tiempo desde el momento que se cierran las puertas; los cuartos alcanzan una temperatura final de 100 °C.

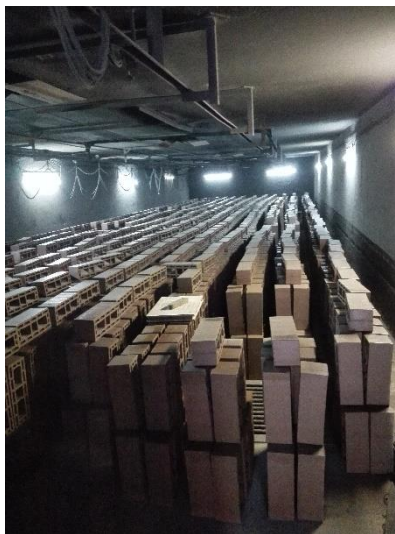


Figura 11. Cuarto de secado.

- ❖ Finalmente, se abren los cuartos por tiempo de 1 hora para que se refresque y el choque térmico en los bloques no genere agrietamientos, entonces, son llevados a la mufla (**figura 12**) donde simula la temperatura del Horno Hoffman a 985 °C por 24 horas, es poco tiempo debido a que estas probetas no tienen tanto material como un mortero real, además que están acompañados de 2500 ladrillos y su tiempo necesariamente tiene que ser 4 días.



Figura 12. Mufla

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Con el fin de encontrar la viabilidad de este estudio, se desarrollaron diferentes pruebas las cuales son estrictamente necesarias debido a que están regidas por las normas ASTM C67-17 y de ellas depende la calidad del producto. Se trabajaron concentraciones del 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 40%, 60%, 80% de cal con respecto a la arcilla.

4.1 Absorción

Se evalúan dos puntos importantes: **absorción** y **coeficiente de saturación**.

Esta característica está relacionada con la durabilidad del material, así pues, hace referencia a la capacidad de retener una sustancia (agua) en estado líquido.

Para ello se ensayaron 42 especímenes que se secaron previamente y se realizaron pruebas de sumersión tanto en frío como en caliente tal y como se muestra en la **figura 13**. Las unidades fueron sumergidas en agua fría durante un periodo de 5 y 24 horas en agua potable. Cumplido este periodo, cada una de las unidades fue retirada y se limpió el agua superficial con un paño, pesándola a continuación siempre dentro de los cinco minutos siguientes luego de haber sido retirados. Estos mismos especímenes en el estado de saturación en el que fueron retirados, son utilizados para la prueba de sumersión en agua caliente.

Los especímenes se sumergieron en agua limpia potable cuidando que el agua circulara libremente por todos los especímenes. Se calentó hasta el punto de ebullición en una hora y se hirvió por el tiempo especificado de 5 horas, dejando enfriar posteriormente a temperatura ambiente. Cada espécimen fue retirado y se limpió el agua superficial de cada uno de ellos, pesándolos dentro de los cinco minutos después de retirarlos del agua.





Figura 13. Prueba de absorción

En la absorción se incluyen los resultados de los ensayos realizados a las unidades sumergidas tanto en agua fría como en agua caliente, se pueden ver en el **ANEXO B**.

Tabla 7. Valores de absorción de los porcentajes estudiados.

| ABSORCIÓN | PORCENTAJES DE CAL (%) | | | | | |
|----------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 |
| Abs. En frío Promedio | 32,7% | 35,2% | 21,1% | 22,2% | 24,4% | 30,9% |
| Abs. En Caliente Promedio | 34,0% | 35,6% | 21,3% | 22,5% | 26,2% | 33,0% |

La NTC 4017 esta basada en la ASTM C67-17 y establece un límite de absorción en frío del 22%. De acuerdo con este dato, se observa que de los valores obtenidos el porcentaje del 20% de cal es el único que no excede y el valor del 25% de cal tiene una leve desviación del límite (**ver Tabla 7**). Aunque en general los resultados para todos los casos son elevados como se muestra en la figura 14, la línea verde representa el porcentaje límite de absorción según la norma y las únicas dos mezclas que están dentro de la normal son la del 20% y 25% respectivamente. Este comportamiento es habitual en las unidades artesanales, debido a que, durante el proceso de moldeo mecánico en la extrusora, es posible que se origine una masa con mayor porosidad y con un rango de variación amplio que dependerá del grado de compactación que se le dé a la mezcla.

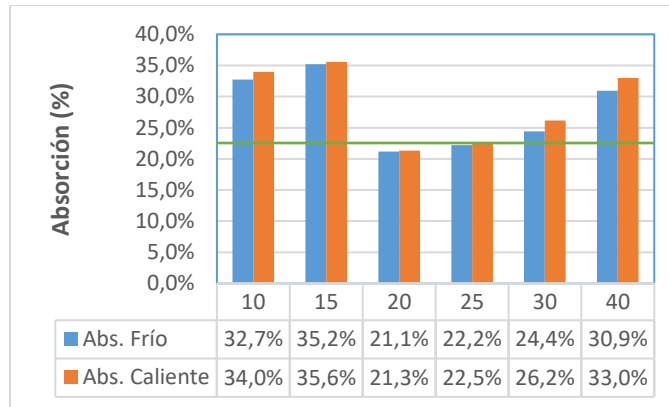


Figura 14. Valores promedio de absorción

Podría decirse que la capacidad de absorción se relaciona con la propiedad de porosidad de las unidades de arcilla, que aparentemente depende de la naturaleza de las adiciones y el proceso de moldeo.

Con los resultados obtenidos para la absorción, se calculan los resultados para obtener el coeficiente de saturación, los cuales se resumen en la tabla 8.

Tabla 8. Valores coeficiente de saturación promedio.

| COEF. SATURACION | PORCENTAJES DE CAL (%) | | | | | |
|----------------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 |
| Coef. Saturación promedio | 0,9657 | 0,9901 | 0,9906 | 0,9869 | 0,9347 | 0,9381 |

El coeficiente de saturación se considera como una medida de la durabilidad del ladrillo cuando se encuentra sometido a la acción de la intemperie, a mayor coeficiente de saturación, mayor será la cantidad de agua que absorbe rápidamente el ladrillo y consecuentemente inferior su resistencia a la intemperie (“Ladrillo,” n.d.).

Así un ladrillo con un coeficiente de saturación menor de 0,8 es poco absorbente y es utilizable para cualquier clima o condición de intemperismo. Analizando la tabla 8, en todos los ensayos el

coeficiente de saturación es superior a 0,8, esto quiere decir que el material es muy absorbente y solo es utilizable cuando se protege de la intemperie mediante recubrimiento adecuado como tarrajeo de pasta de cemento.

Se muestran solo los resultados hasta el 40% de cal debido a que los porcentajes superiores no pasaron la prueba, se deslizaron en el proceso de absorción de agua tal y como se muestra en la **figura 15**, por esta razón no aparece reportado ningún resultado en pruebas de calidad de ellos.



Figura 15. Ladrillos desleídos por el agua.

4.2 Succión.

En una bandeja, se agregó agua hasta que el nivel de esta sea de 3mm, hecho esto se procedió a colocar el espécimen de ensayo sobre la bandeja contando como tiempo cero el momento de contacto del ladrillo con el agua (**ver Figura 16**). Durante el periodo de contacto de 1 minuto el nivel del agua se mantenía agregando agua con una botella si era necesario. Finalizado el tiempo de 1 minuto, el espécimen es retirado y se seca el agua superficial con un paño húmedo, volviéndolo a pesar dentro los siguientes 2 minutos.



Figura 16. *Ensayo de succión.*

En los ensayos solo se incluyen los resultados trabajados en agua fría y se pueden observar en el **ANEXO B.2.**

Los resultados de los ensayos realizados a las unidades muestreadas se observan en la Tabla 9.

Tabla 9. *Valores de succión obtenidos según el porcentaje de cal*

| SUCCIÓN | PORCENTAJES DE CAL (%) | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 |
| S prom (gr/cm²) | 0,2999 | 0,2952 | 0,2365 | 0,2539 | 0,2429 | 0,4145 |
| S min (gr/cm²) | 0,2725 | 0,2725 | 0,2026 | 0,1935 | 0,2233 | 0,3964 |
| S max (gr/cm²) | 0,3175 | 0,3175 | 0,2660 | 0,3105 | 0,2957 | 0,4536 |

Se encuentran resultados bastantes favorables para el uso de cal en este material, el límite permitido por la norma ASTM C67-17 es de 0,45 gr/cm², por lo que no va ser necesario saturarlos antes de su uso.

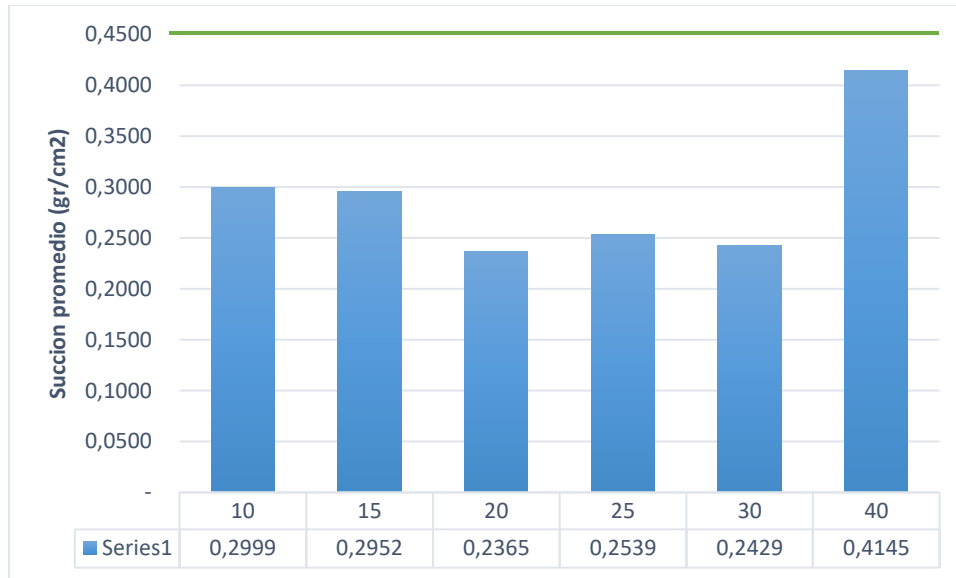


Figura 17. Valores de succión según los porcentajes estudiados

De la figura 17, la línea verde representa el límite permitido según la norma, se puede observar claramente que el proceso de compactación no hace la diferencia y que es más bien la selección y preparación de la materia prima la que puede hacer la diferencia en los valores de succión, en este caso la cal mejora la propiedad de succión, haciendo que su velocidad inicial de absorción en la cara de asiento sea mínima, puede que su absorción sea alta pero la velocidad en que va absorber el agua es baja, haciendo que su tiempo total de absorción sea mucho mayor y no ocasionando daño en su estructura rígida.

En este orden de ideas, el ensayo del 20%, 25% y 30% obtuvieron los resultados más bajos optando por seguir observando y analizando cuál de estos 3 representa la mejor opción de implementar en una futura producción a escala.

4.3 Eflorescencia

Para este ensayo se requirieron 1 par de cada porcentaje de Cal trabajado en las pruebas anteriores, se secaron en el horno de 100°C a 110°C por un periodo de 24 horas. Cada par se escogió de manera que tenían en lo posible la misma apariencia.



Se colocó un espécimen de cada uno de los 6 pares, con un extremo parcialmente sumergido en agua destilada en aproximadamente 25mm por 7 días en contenedores tal y como se muestra en la figura 18, separados cada uno de los especímenes con un espaciamiento de 3cm. Durante estos 7 días se verificaba diariamente el nivel del agua, agregando si era necesario agua haciendo uso de un frasco lavador con agua destilada.

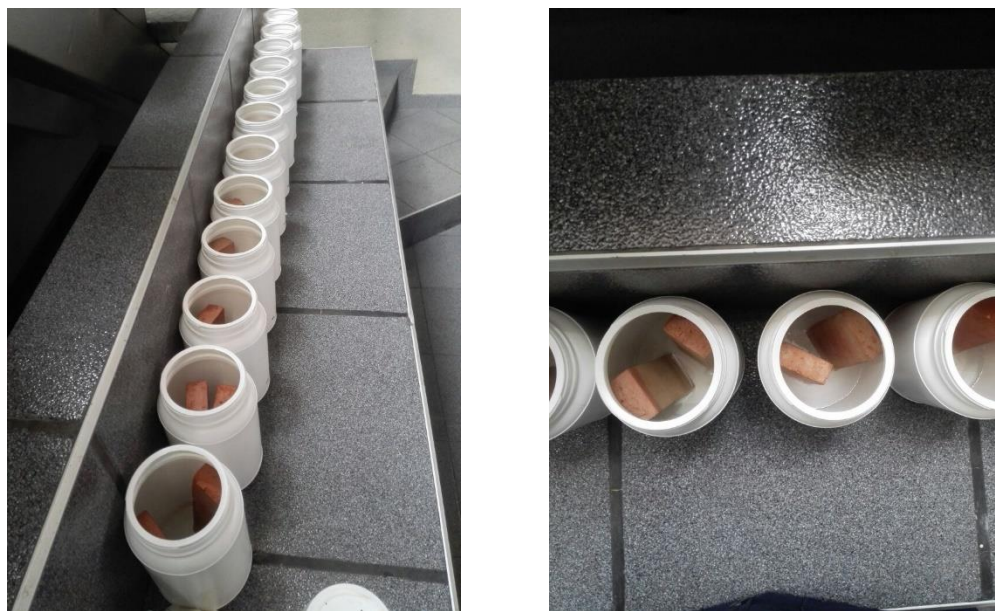


Figura 18. Prueba de Eflorescencia

Terminado este período de una semana, las unidades fueron retiradas y puestas a secar nuevamente por un periodo de 24 horas, luego del cual se examinó y comparó cada par.

La norma nos dice que cuando en estas condiciones no se observa ninguna diferencia, informe la calificación como "no eflorescente". Cuando se observe una diferencia perceptible debido a la eflorescencia en estas condiciones, informe la calificación como "eflorescente". En este orden de ideas la **tabla 10** nos muestra los diferentes resultados.

Tabla 10. Resultados Prueba Eflorescencia

| Porcentaje Estudiado | Eflorescencia apreciada |
|-----------------------------|--------------------------------|
| 10% | No Eflorescencia |
| 15% | No Eflorescencia |
| 20% | No Eflorescencia |
| 25% | Eflorescencia |
| 30% | Eflorescencia |
| 40% | Eflorescencia |

Se pudo observar que no hubo eflorescencia en las muestras del 20% y una muy leve eflorescencia en la probeta del 25% pero de igual manera, la norma establece que el más mínimo cambio de tonalidad se referencie. Hasta el momento la concentración del 20% ha sido la más estable durante todos los ensayos.

A pesar de que esta propiedad no está normada como requisito, el objetivo principal a la eflorescencia es su efecto sobre la apariencia de la albañilería, mas no en la durabilidad ni en la resistencia cuando la eflorescencia apreciada es escasa. Por el contrario, si la eflorescencia es severa, las sales solubles que cristalizan en la superficie del ladrillo comienzan a desintegrarlo llevando a pérdidas de resistencia.

Si la unidad forma parte de un muro y no llega nunca a entrar en contacto con agua, las sales contenidas en la unidad no tienen efecto en la resistencia a la compresión ni en la durabilidad. Sin embargo, si el muro se humedece, la formación de las sales puede producir fisuramiento y rompimiento de la unidad con la consecuente pérdida de masa o la pérdida de integridad por agrietamiento lo que afecta la resistencia a la compresión.



4.4 Resistencia a la Compresión.

La NTC 4017 especifica que la resistencia a la compresión de albañilería es su propiedad más importante, pues no sólo define el nivel de su calidad estructural sino también el nivel de su resistencia a la intemperie o a cualquier otra causa de deterioro. De todos los principales componentes de la resistencia a la compresión de la albañilería, los pertinentes a una norma de ladrillo son la resistencia a la compresión y su geometría.

A saber, la NTC establece para cada tipo de ladrillo la resistencia a la compresión como se observa en las **Tablas 2 y 3**, descritas en el capítulo 2.5 de este libro.

Las pruebas de resistencia a la compresión se hicieron en la **Máquina Universal Shimadzu 600 KN e Instron serie 2000** de la Universidad de Pamplona. Para ello, se tomaron 2 probetas de cada porcentaje para hacer la prueba por duplicado, se lijaron para que en lo posible quedaran planas y así algún imperfecto no dañara la prueba; según la norma ASTM C67-17 la velocidad de carga se especifica con un máximo de $1.27 \frac{mm}{min}$, por consiguiente, se procedió a trabajar por debajo de la mínima a $1 \frac{mm}{min}$.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos para cada porcentaje de Cal trabajado y pasado cada una de los ensayos de calidad en este caso le daremos prioridad a los porcentajes 20% y 25% de Cal.

Tabla 11. Valores de resistencia a la compresión (N/mm^2)

| RESISTENCIA | PORCENTAJES DE CAL (%) | | | |
|-------------------|------------------------|----------|----------|---------|
| | 20 | 25 | 30 | 40 |
| σ promedio | 173,5335 | 159,3430 | 70,7114 | 87,8288 |
| σ prueba 1 | 187,5380 | 150,3090 | 140,6470 | 79,6984 |
| σ prueba 2 | 159,5290 | 168,3770 | 0,7758 | 95,9592 |



Aunque el estudio es para trabajar ladrillo estructural vertical #5 que es un ladrillo hueco, se debe referenciar que las pruebas de resistencia a la compresión se hicieron con probetas macizas.

De la tabla 3.11 se observa una tendencia a valores que oscilan entre 70 N/mm² y 190 N/mm², así como un valor atípico de 0.7758 N/mm² en la probeta del 30% debido a que tenía una pequeña curvatura y obligo a fisurarse y la maquina se detuviera arrojando ese valor, estos valores observados están por encima de la mínima según las normas para ladrillo macizo. Se puede hablar de que la cal aporta cierta propiedad de resistencia al esfuerzo en los ladrillos de mampostería estructural.

En la Figura 19 se observa los valores obtenidos promedio de la prueba de resistencia a la compresión muy por encima del mínimo según la norma, denotada en la línea verde.

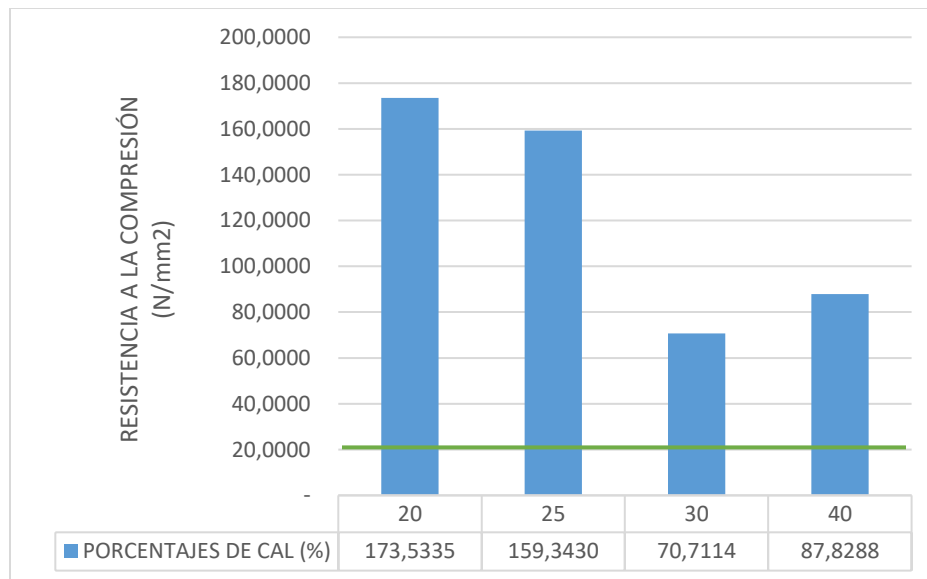


Figura 19. Valores de resistencia a la compresión

Dado que la resistencia a la compresión es el resultado directo de la cocción. Se comprueba que, si bien se ha mejorado la calidad del ladrillo gracias a los procesos de preparación y moldeo con

Cal, todavía se requiere afinar el proceso de cocción haciendo la adaptación de la curva de cocción a las características de la materia prima, para así saber si hay influencia en la cantidad de cal agregada dependiendo del tipo de combustible usado en la cocción.

En conclusión, el tema técnico de este estudio es **viable** según lo presentado y analizado en este documento, lo más importante es tener claro que el uso de esta Cal en los morteros artesanales genera una gran influencia y mejora las características del mismo, generando mayor durabilidad y resistencia del material.

Teniendo en cuenta lo anterior, se analizará el aspecto económico con el porcentaje del 20% de Cal en el ladrillo, para ello se costeará el proyecto que se viene trabajando en la empresa TAUROQUIMICA S.A y se comparara con el propuesto por este estudio para así darle finalidad con un soporte sólido a esta investigación.

En la producción de ladrillos, diario, se utilizan 10.000 kg de Arcilla para producir un lote 20.000 unidades de bloque estructural vertical #5, así pues, se necesitarán 2.000 kg de Cal por cada lote de producción que al año son 720.000 kg necesarios en la producción de ladrillos.

En la tabla 12 se muestra la utilidad de trabajar con el proyecto Verb Kalk, básicamente es el suministro y la venta de Cal a empresas de curtiembres del país, así mismo el uso de ella en la sección de la planta Pelambre de la producción de cueros en la empresa TAUROQUIMICA S.A.

Tabla 12. Rubro y presupuesto en la producción, comercialización y venta del Producto Verb Kalk

| Rubro | Presupuesto por kilo (\$ CO) |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| Costo Verb Kalk | \$50 |
| Flete de transporte a maquila | \$38 |
| Lonas de segunda | \$10 |
| Maquila | \$150 |



| | |
|------------------|-----------------|
| Lona Verb Kalk | \$30 |
| Venta por Kilo | \$450 |
| Total Producción | \$1.601.280.000 |
| Total Ventas | \$2.592.000.000 |
| Ganancias | \$990.720.000 |

La empresa Praxair produce acetileno por reacción química y su subproducto es una lechada de Cal, dejan escurriendo el producto hasta un 40% de humedad y se compra a un precio de \$50 el kilo, es transportado a la maquila donde se deja secar en lonas de segunda; siguiendo el proceso, es triturado a un tamaño de malla 400 y empacado en lona Verb Kalk para su comercialización y venta. Esto le cuesta a la empresa \$278 por kilo desde que sale de Praxair hasta que es dejado en la bodega de la empresa TAUROQUIMICA S.A; por consiguiente, la utilidad de este producto anual es de \$ 990'720.000, tomando en cuenta que se venda la misma cantidad de Cal que será utilizada en la producción de ladrillos 5'760.000 kg.

La tabla 13 muestra el rubro y presupuesto que están involucrados en el proyecto Verb Build.

Tabla 13. Rubro y presupuesto en la producción, comercialización y venta del Producto Verb Build

| Propuesta Económica de Proyecto | |
|---------------------------------|-------------------------|
| Rubro | Presupuesto (mill \$CO) |
| 4.1. RECURSO HUMANO | |
| 4.1.1. Horas Hombre | 1,5 |
| 4.1.2. Capacitación | 0 |
| 4.1.3. Viajes | 0,5 |
| 4.1.4. Salidas de Campo | 0 |
| 4.2. MATERIALES | |
| 4.2.1. Equipos | 0,2 |
| 4.2.2. Software | 0 |
| 4.2.3. Mercadeo | 15,5 |
| 4.2.4. Material de Difusión | 8 |



| | |
|---|---------|
| 4.2.5. Otros | 1 |
| 4.3. SERVICIOS | |
| 4.3.1. maquila | 540 |
| 4.3.2. laboratorios de calidad | 1 |
| 4.4. OTROS | |
| 4.4.1. transporte de cal | 4,5 |
| 4.4.2. Costo Cal hidratada (20% humedad) | 3,8 |
| 4.4.3. Transporte Cogua-Bogotá | 18 |
| 4.4.4. Bodegaje | 2 |
| 4.4.5. Otros | 15 |
| Total, Producción mensual | 611,0 |
| Total, Producción anual | 7332 |
| Precio de Venta Por unidad de ladrillo | 1500 |
| Cantidad Ladrillos Producidos por año | 7200000 |
| Total, Ventas | 9360 |
| Ganancias | 2028 |

La tabla presenta los gastos para un año de producción y venta de ladrillos, teniendo en cuenta que, ya está descontada la estrategia publicitaria y la comisión de los vendedores del total de ganancias, así como, el alquiler de la maquila por manos de la ladrillera OVINDOLI S.A; el valor de utilidad aun es bastante grande.

A continuación, se analizaran los dos proyectos por el método del Valor Presente Neto (NPV) o en otras palabras, la posición de cada acumulada descontada al final del proyecto dispuesto en el libro Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes (Richard Turton, Richard C. Bailie, Wallace B. Whiting, 2013) y con ayuda de la herramienta Excel.

Para el cálculo del NPV se tiene en cuenta los costos de manufactura e ingresos de las tablas 12 y 13, la inversión es de cero debido a que se va pagar por la producción de los ladrillos a la ladrillera y ese mismo valor ya está involucrado en el precio del costo de manufactura. Con el fin de dar



viabilidad a uno de los dos en el ámbito económico, se muestran a continuación la tabla 14 y 15 con los resultados de los dos proyectos:

Tabla 14. NPV para el Proyecto Verb Kalk

| Proyecto Verb Kalk | | | |
|--------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| Años | Flujo Neto (mill \$CO) | Flujo Caja Descontado | Flujo de Caja Descontado Acumulado |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 990,72 | 884,57 | 884,57 |
| 2 | 990,72 | 789,80 | 1674,37 |
| 3 | 990,72 | 705,17 | 2379,54 |
| 4 | 990,72 | 629,62 | 3009,16 |
| 5 | 990,72 | 562,16 | 3571,32 |

| | |
|--------------|---------|
| tasa interés | 0,12 |
| NPV | 3571,32 |

Tabla 15. NPV para el proyecto Verb Build

| proyecto Verb Build | | | |
|---------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| | flujo neto (mill \$CO) | Flujo Caja descontado | flujo de caja descontado acumulado |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 2028 | 1810,71 | 1810,71 |
| 2 | 2028 | 1616,71 | 3427,42 |
| 3 | 2028 | 1443,49 | 4870,91 |
| 4 | 2028 | 1288,83 | 6159,74 |
| 5 | 2028 | 1150,74 | 7310,49 |

| | |
|--------------|-------------|
| tasa interés | 0,12 |
| NPV | 7310,486138 |



En cada propuesta se proyectó un tiempo de vida de 5 años y se encuentra un ítem de Flujo de Caja Descontado, a este flujo de caja ya se le ha descontado en su valor la tasa de interés al pasar de los años.

El criterio de caja nos dice que al comparar alternativas de inversión mutuamente excluyentes, elija la alternativa con el mayor valor presente neto positivo, en este caso ambos dieron positivos pero el de mayor valor se encuentra presente en la **tabla 15** y es el proyecto Verb Build; un resultado bastante alto digno de un proyecto de bastante flujo de dinero y que si fuera un proyecto de implementación seguro tendría un porcentaje alto de que tan eficiente estamos usando este dinero para la inversión.

En conclusión, este estudio de factibilidad según los resultados para la producción y comercialización de ladrillos de Cal resulta viable, el siguiente paso es esperar a que la empresa ponga en marcha el estudio.



5. CONCLUSIONES

Este trabajo tiene carácter exploratorio y proporciona una idea general de cómo se realiza el trabajo de fabricación de ladrillos y la influencia de la Cal en los morteros. Para tener datos específicos sobre la influencia de la Cal en diferentes arcillas se necesitaría un estudio estadístico con un mayor número de muestreo de unidades y zonas de producción.

Las variaciones que se han identificado en el proceso de producción artesanal no son determinantes en la resistencia a la compresión, pues los resultados obtenidos son bajos. De acuerdo con los resultados del presente estudio, no se ve una clara influencia de los distintos modos de cocción sobre los resultados. Aunque se ve que los procesos previos de selección y preparación de la materia prima son importantes. Por teoría se tiene que el proceso de compactación influye en los resultados obtenidos en el ensayo de succión, dependiendo si es artesanal o semi-industrial. Debería haber diferencia en los resultados de ambos tipos, pero no la hay. De esto se deduce que el proceso de compactación no es suficientemente eficiente para garantizar una mejora en la succión.

Aunque por la prueba de absorción las probetas del 20% y del 25% de Cal son más impermeables que las demás unidades, ninguno garantiza la durabilidad ante la intemperie. Ambos requerirán recubrimiento para garantizar la integridad del muro. Se necesitará un tarrajeo para los porcentajes de Cal con mayor absorción, mientras que los demás necesitaran un semi-tarrajeo.

El proceso de producción, especialmente las condiciones de secado y cocción están necesariamente asociados a las características de la materia prima con la Cal. No es posible estandarizar el proceso si no se conoce bien los componentes mineralógicos de la materia prima, porque esto lleva a



obtener resultados diversos en la calidad de las unidades. Esto depende del interés de la ladrillera para llevar acabo estos estudios.



6. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta que el estudio fue a nivel macro, recomiendo trabajar a nivel micro, debido a que hay ciertas sustancias en la mineralogía de diferentes arcillas que influyen bastante en su composición fisicoquímica, por consiguiente, la Cal a alturas bastante grandes puede alterar la formación de silicatos aluminicos y cálcicos importantes en la creación de redes tridimensionales tetraédricas.

Importante trabajar en extrusoras al vacío tal cual como se trabaja a escala industrial. El vacío para evitar la presencia de burbujas de aire en la masa, pues éstas producen la rotura de las piezas al calentarse en la cocción (Incremento de volumen del aire al aumentar la temperatura, que al estar restringida causa un aumento de presión), y esto conlleva, a que las pruebas de calidad no obtengan los mejores resultados.



8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Construdata.com. (n.d.). Retrieved from <http://www.construdata.com/BancoConocimiento/L/ladrillosresena/ladrillosresena.asp>
- American Society for Testing and Materials. (2011). ASTM C67-11 - Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile (pp. 1–12). <https://doi.org/10.1520/C0067-11>
- Amigó, J. R. (2012). Algunas consideraciones sobre la cal y sus morteros. *II Jornadas FICAL: Barcelona, 2011*, 6–16. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/11616>
- ANDALUZA DE CALES, S. A., CAL DE CASTILLA, S. A., CALCINOR, S. A., CALESTEP, S. L., CAL GOV, S. A., & CALERAS GUIPUZCOANAS, S. A. (2015). *LOS MORTEROS DE CAL AÉREA APAGADA Y DE SUS MEZCLAS CON YESO Y CON CEMENTO*.
- Baracchini, P. (2007). *Guide à la mise en place du management environnemental en entreprise selon ISO 14001*. Presses polytechniques et universitaires romandes. Retrieved from https://books.google.com.co/books/about/Guide_à_la_mise_en_place_du_management.html?id=5pqt5Zq66VEC&redir_esc=y
- Espinosa, & Celestino, P. (1859). *MANUAL DE CONSTRUCCIONES DE ALBAÑILERÍA*. Retrieved from <https://www.iberlibro.com/MANUAL-CONSTRUCCIONES-ALBAÑILERÍA-P-C-Espinosa/10880695346/bd>
- Estrada, A. M., Luzardo, F. M., Veitia Rodríguez, E., Flores, O. B., Bonet, O. F., & Basulto, L. C. (2010). POTENCIALIDADES PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUALES LÍQUIDOS EN LA PRODUCCIÓN DE ACETILENO, XXX(3). Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/4455/445543771004.pdf>
- Guarniz, A. (2010). *Producción de Ladrillos*. Retrieved from <https://es.slideshare.net/alexanderguarniz/produccion-de-ladrillos-5907811>
- La Cal. Pequeña guía de la cal en la construcción – EcoHabitar. (n.d.). Retrieved August 4, 2017, from <http://www.ecohabitar.org/la-cal-pequena-guia-de-la-cal-en-la-construccion/>



- La cal a lo largo de la historia | Lhoist - Minerales y productor de cal. (n.d.). Retrieved August 4, 2017, from <http://www.lhoist.com/es/la-cal-lo-largo-de-la-historia>
- La cal hidráulica | sobre la cal. (2016). Retrieved from <https://sobrelacal.wordpress.com/que-es-la-cal/tipos-de-cal/la-cal-hidraulica/>
- Ladrillo. (n.d.). Retrieved November 17, 2017, from <https://es.slideshare.net/RussellRenojoBenito/ladrillo-19789359>
- Ladrillos | Cómo se fabrican los ladrillos. (n.d.). Retrieved August 4, 2017, from <http://ladrillos.es/como-se-fabrican-los-ladrillos/>
- Lee, S.-Y., & Rhee, S.-K. (2005). From end-of-pipe technology towards pollution preventive approach: the evolution of corporate environmentalism in Korea. *Journal of Cleaner Production*, 13(4), 387–395. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2003.10.010>
- Maquinaria de extrusión - Plástico. (n.d.). Retrieved October 31, 2017, from <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/5001-Maquinaria-de-extrusion.html>
- mineral products association. (2011). *Specifying Sustainable Concrete*. London: The Concrete Centre. Retrieved from www.mineralproducts.org
- Nemerow, N. L. (1995). *Zero pollution for industry: waste minimization through industrial complexes*. Wiley.
- Osorno Henao Ciencias, H., & suelos Director Raúl Darío Zapata Profesor, geomorfología. (2012). Trabajo de grado MITOS Y REALIDADES DE LAS CALES Y ENMIENDAS EN COLOMBIA. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/6834/1/70660741.2012.pdf>
- Richard Turton, Richard C. Bailie, Wallace B. Whiting, J. A. S. (2013). *Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes Third Edition*. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Secado. (n.d.).
- Silva, B. A., Ferreira Pinto, A. P., & Gomes, A. (2014). Influence of natural hydraulic lime content on the properties of aerial lime-based mortars. *Construction and Building Materials*, 72, 208–218. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.010>
- Técnica, N. (2005). NTC 4017.



VEIGA, M. d. R., FRAGATA, A., VELOSA, A. L., MAGALHÃES, A. C., & MARGALHA, G. (2010). Lime-Based Mortars: Viability for Use as Substitution Renders in Historical Buildings. *International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration*, vol 4(July 2013), 177–195. <https://doi.org/10.1080/15583050902914678>



ANEXOS

ANEXO A. PREPARACIÓN DE CADA MUESTRA Y BALANCE DE MASAS.

| Ensayo 10% cal | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------|------------|--|----------------------------------|-------------------|------------------|
| "arcilla" Ovindoli (gr) | 4.500 | | | Mezcla "Arcilla" Ovindoli | Porcentaje | Peso (gr) |
| porcentaje de humedad | 12,34% | | | arcilla | 40% | 1.800 |
| arcilla seca (gr) | 4.005,84 | | | limo | 40% | 1.800 |
| | | | | arenas | 20% | 900 |
| cantidad de cal seca (gr) | 445,093 | 10% | | total | 100% | 4.500 |
| porcentaje humedad cal | 7,42% | | | | | |
| cantidad de cal humeda (gr) | 478,119 | | | Mezcla Arcilla-Cal | Porcentaje | Peso (gr) |
| total mezcla seca (gr) | 4.450,93 | | | arcilla | 35,31% | 1.800 |
| total mezcla humeda (gr) | 4.978,12 | | | limo | 35,31% | 1.800 |
| arenas 20% total de cal | 119,530 | | | arenas | 20,00% | 1.019,53 |
| | | | | cal | 9,38% | 478,119 |
| MEZCLA TOTAL (gr) | 5.097,65 | | | total | 100% | 5.097,65 |

| Ensayo 15% cal | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------|------------|--|----------------------------------|-------------------|------------------|
| "arcilla" Ovindoli (gr) | 4.500 | | | Mezcla "Arcilla" Ovindoli | Porcentaje | Peso (gr) |
| porcentaje de humedad | 13,47% | | | arcilla | 40% | 1.800 |
| arcilla seca (gr) | 3.965,91 | | | limo | 40% | 1.800 |
| | | | | arenas | 20% | 900 |
| cantidad de cal seca | 699,867 | 15% | | total | 100% | 4.500 |
| porcentaje humedad cal | 7,42% | | | | | |
| cantidad de cal humeda (gr) | 751,797 | | | Mezcla Arcilla-Cal | Porcentaje | Peso (gr) |
| total mezcla seca (gr) | 4.665,78 | | | arcilla | 33,09% | 1.800 |
| total mezcla humeda (gr) | 5.251,80 | | | limo | 33,09% | 1.800 |
| arenas 20% total de cal | 187,949 | | | arenas | 20,00% | 1.087,95 |
| | | | | cal | 13,82% | 751,797 |
| MEZCLA TOTAL (gr) | 5.439,75 | | | total | 100% | 5.439,75 |



| Ensayo 20% cal | | | | | | |
|-----------------------------|----------|-----|--|---------------------------|------------|-----------|
| "arcilla" Ovindoli (gr) | 4.500 | | | Mezcla "Arcilla" Ovindoli | Porcentaje | Peso (gr) |
| porcentaje de humedad | 12,61% | | | arcilla | 40% | 1.800 |
| arcilla seca (gr) | 3.996,09 | | | limo | 40% | 1.800 |
| | | | | arenas | 20% | 900 |
| cantidad de cal seca | 999,023 | 20% | | total | 100% | 4.500 |
| porcentaje humedad cal | 7,42% | | | | | |
| cantidad de cal humeda (gr) | 1073,151 | | | Mezcla Arcilla-Cal | Porcentaje | Peso (gr) |
| total mezcla seca (gr) | 4.995,12 | | | arcilla | 30,81% | 1.800 |
| total mezcla humeda (gr) | 5.573,15 | | | limo | 30,81% | 1.800 |
| arenas 20% total de cal | 268,288 | | | arenas | 20,00% | 1.168,29 |
| | | | | cal | 18,37% | 1073,151 |
| MEZCLA TOTAL (gr) | 5.841,44 | | | total | 100% | 5.841,44 |

| Ensayo 25% cal | | | | | | |
|-----------------------------|----------|-----|--|---------------------------|------------|-----------|
| "arcilla" Ovindoli (gr) | 4.000 | | | Mezcla "Arcilla" Ovindoli | Porcentaje | Peso (gr) |
| porcentaje de humedad | 12,10% | | | arcilla | 40% | 1.600 |
| arcilla seca (gr) | 3.568,24 | | | limo | 40% | 1.600 |
| | | | | arenas | 20% | 800 |
| cantidad de cal seca | 1189,414 | 25% | | total | 100% | 4.000 |
| porcentaje humedad cal | 7,42% | | | | | |
| cantidad de cal humeda (gr) | 1277,669 | | | Mezcla Arcilla-Cal | Porcentaje | Peso (gr) |
| total mezcla seca (gr) | 4.757,66 | | | arcilla | 28,59% | 1.600 |
| total mezcla humeda (gr) | 5.277,67 | | | limo | 28,59% | 1.600 |
| arenas 20% total de cal | 319,417 | | | arenas | 20,00% | 1.119,42 |
| | | | | cal | 22,83% | 1277,669 |
| MEZCLA TOTAL (gr) | 5.597,09 | | | total | 100% | 5.597,09 |



| Ensayo 30% cal | | | | | | |
|-----------------------------|----------|-----|--|---------------------------|------------|-----------|
| "arcilla" Ovindoli (gr) | 3.000 | | | Mezcla "Arcilla" Ovindoli | Porcentaje | Peso (gr) |
| porcentaje de humedad | 13,63% | | | arcilla | 40% | 1.200 |
| arcilla seca (gr) | 2.640,15 | | | limo | 40% | 1.200 |
| | | | | arenas | 20% | 600 |
| cantidad de cal seca | 1131,492 | 30% | | total | 100% | 3.000 |
| porcentaje humedad cal | 7,42% | | | | | |
| cantidad de cal humeda (gr) | 1215,449 | | | Mezcla Arcilla-Cal | Porcentaje | Peso (gr) |
| total mezcla seca (gr) | 3.771,64 | | | arcilla | 26,55% | 1.200 |
| total mezcla humeda (gr) | 4.215,45 | | | limo | 26,55% | 1.200 |
| arenas 20% total de cal | 303,862 | | | arenas | 20,00% | 903,86 |
| | | | | cal | 26,89% | 1215,449 |
| MEZCLA TOTAL (gr) | 4.519,31 | | | total | 100% | 4.519,31 |

| Ensayo 40% cal | | | | | | |
|-----------------------------|----------|-----|--|---------------------------|------------|-----------|
| "arcilla" Ovindoli (gr) | 3.000 | | | Mezcla "Arcilla" Ovindoli | Porcentaje | Peso (gr) |
| porcentaje de humedad | 14,94% | | | arcilla | 40% | 1.200 |
| arcilla seca (gr) | 2.610,06 | | | limo | 40% | 1.200 |
| | | | | arenas | 20% | 600 |
| cantidad de cal seca | 1740,038 | 40% | | total | 100% | 3.000 |
| porcentaje humedad cal | 7,42% | | | | | |
| cantidad de cal humeda (gr) | 1869,149 | | | Mezcla Arcilla-Cal | Porcentaje | Peso (gr) |
| total mezcla seca (gr) | 4.350,10 | | | arcilla | 22,49% | 1.200 |
| total mezcla humeda (gr) | 4.869,15 | | | limo | 22,49% | 1.200 |
| arenas 20% total de cal | 467,287 | | | arenas | 20,00% | 1.067,29 |
| | | | | cal | 35,03% | 1869,149 |
| MEZCLA TOTAL (gr) | 5.336,44 | | | total | 100% | 5.336,44 |



| Ensayo 60% cal | | | | | | |
|-----------------------------|----------|-----|--|---------------------------|------------|-----------|
| "arcilla" Ovindoli (gr) | 750 | | | Mezcla "Arcilla" Ovindoli | Porcentaje | Peso (gr) |
| porcentaje de humedad | 12,40% | | | arcilla | 40% | 300 |
| arcilla seca (gr) | 667,26 | | | limo | 40% | 300 |
| | | | | arenas | 20% | 150 |
| cantidad de cal seca | 1000,890 | 60% | | total | 100% | 750 |
| porcentaje humedad cal | 7,42% | | | | | |
| cantidad de cal humeda (gr) | 1075,156 | | | Mezcla Arcilla-Cal | Porcentaje | Peso (gr) |
| total mezcla seca (gr) | 1.668,15 | | | arcilla | 14,33% | 300 |
| total mezcla humeda (gr) | 1.825,16 | | | limo | 14,33% | 300 |
| arenas 20% total de cal | 268,789 | | | arenas | 20,00% | 418,79 |
| | | | | cal | 51,35% | 1075,156 |
| MEZCLA TOTAL (gr) | 2.093,94 | | | total | 100% | 2.093,94 |

| Ensayo 80% cal | | | | | | |
|-----------------------------|----------|-----|--|---------------------------|------------|-----------|
| "arcilla" Ovindoli (gr) | 300 | | | Mezcla "Arcilla" Ovindoli | Porcentaje | Peso (gr) |
| porcentaje de humedad | 12,99% | | | arcilla | 40% | 120 |
| arcilla seca (gr) | 265,51 | | | limo | 40% | 120 |
| | | | | arenas | 20% | 60 |
| cantidad de cal seca | 1062,041 | 80% | | total | 100% | 300 |
| porcentaje humedad cal | 7,42% | | | | | |
| cantidad de cal humeda (gr) | 1140,844 | | | Mezcla Arcilla-Cal | Porcentaje | Peso (gr) |
| total mezcla seca (gr) | 1.327,55 | | | arcilla | 6,95% | 120 |
| total mezcla humeda (gr) | 1.440,84 | | | limo | 6,95% | 120 |
| arenas 20% total de cal | 285,211 | | | arenas | 20,00% | 345,21 |
| | | | | cal | 66,10% | 1140,844 |
| MEZCLA TOTAL (gr) | 1.726,06 | | | total | 100% | 1.726,06 |



ANEXO B 1. ENSAYO DE ABSORCIÓN.

| TABLA B 1.1 CAL AL 10% BASE SECA | | | | | | |
|----------------------------------|----------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| Muestra | Peso (g) | | | Absorción en agua fría (%) | Absorción en agua caliente (%) | Coeficiente de Saturación |
| | Seco | Saturado (24hrs) en agua fría | Satur. (5hrs) en agua caliente | | | |
| M1 | 153,9 | 206,2 | 206,8 | 34% | 34% | 0,989 |
| M3 | 154,1 | 200,7 | 209,7 | 30% | 36% | 0,838 |
| M4 | 152,6 | 205,3 | 205,6 | 35% | 35% | 0,994 |
| M5 | 155,1 | 207,1 | 207,8 | 34% | 34% | 0,987 |
| M7 | 154,9 | 206,4 | 206,8 | 33% | 34% | 0,992 |
| M9 | 156,4 | 204,8 | 205,1 | 31% | 31% | 0,994 |
| Promedio | | | | 33% | 34% | 0,966 |

| TABLA B 1.2. CAL AL 15% BASE SECA | | | | | | |
|-----------------------------------|----------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| Muestra | Peso (g) | | | Absorción en agua fría (%) | Absorción en agua caliente (%) | Coeficiente de Saturación |
| | Seco | Saturado (24hrs) en agua fría | Satur (5hrs) en agua caliente | | | |
| M2 | 154,6 | 205,5 | 206,1 | 33% | 33% | 99% |
| M3 | 154,1 | 208,3 | 209 | 35% | 36% | 99% |
| M4 | 152,6 | 205,1 | 205,6 | 34% | 35% | 99% |
| M5 | 155,1 | 206,7 | 207,2 | 33% | 34% | 99% |
| M6 | 154,2 | 205,5 | 205,9 | 33% | 34% | 99% |
| M10 | 143,4 | 203,9 | 204,4 | 42% | 43% | 99% |
| Promedio | | | | 35% | 36% | 0,990 |

| TABLA B 1.3. CAL AL 20% BASE SECA | | | | | | |
|-----------------------------------|----------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| Muestra | Peso (g) | | | Absorción en agua fría (%) | Absorción en agua caliente (%) | Coeficiente de Saturación |
| | Seco | Saturado (24hrs) en agua fría | Satur (5hrs) en agua caliente | | | |
| M1 | 172,4 | 209,6 | 210,2 | 22% | 22% | 0,984 |
| M2 | 171,9 | 208,6 | 209 | 21% | 22% | 0,989 |
| M4 | 171,6 | 208,1 | 208,5 | 21% | 22% | 0,989 |
| M5 | 174,5 | 211,4 | 211,7 | 21% | 21% | 0,992 |
| M7 | 175,6 | 211,9 | 212,2 | 21% | 21% | 0,992 |



| | | | | | | |
|----|-------|-------|-----------------|-----|-----|-------|
| M8 | 172,5 | 208,5 | 208,6 | 21% | 21% | 0,997 |
| | | | Promedio | 21% | 21% | 0,991 |

TABLA B 1.4. CAL AL 25% BASE SECA

| Muestra | Peso (g) | | | Absorción en agua fría (%) | Absorción en agua caliente (%) | Coeficiente de Saturación |
|---------|----------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| | Seco | Saturado (24hrs) en agua fría | Satur (5hrs) en agua caliente | | | |
| M1 | 169,9 | 209,5 | 210,2 | 23% | 24% | 0,983 |
| M2 | 166,9 | 204,7 | 205,2 | 23% | 23% | 0,987 |
| M3 | 170,5 | 208,9 | 209,6 | 23% | 23% | 0,982 |
| M4 | 167,6 | 204,9 | 205,2 | 22% | 22% | 0,992 |
| M6 | 169,9 | 205,9 | 206,2 | 21% | 21% | 0,992 |
| M9 | 168,4 | 204,1 | 204,6 | 21% | 21% | 0,986 |
| | | | Promedio | 22% | 22% | 0,987 |

TABLA B 1.5. CAL AL 30% BASE SECA

| Muestra | Peso (g) | | | Absorción en agua fría (%) | Absorción en agua caliente (%) | Coeficiente de Saturación |
|---------|----------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| | Seco | Saturado (24hrs) en agua fría | Satur (5hrs) en agua caliente | | | |
| M1 | 157,6 | 196,2 | 199,3 | 24% | 26% | 0,926 |
| M2 | 155,3 | 194,3 | 197,3 | 25% | 27% | 0,929 |
| M4 | 153,7 | 191,2 | 194,8 | 24% | 27% | 0,912 |
| M7 | 153,8 | 190,8 | 193,4 | 24% | 26% | 0,934 |
| M8 | 156,5 | 194,3 | 196 | 24% | 25% | 0,957 |
| M9 | 156,6 | 194,8 | 196,8 | 24% | 26% | 0,950 |
| | | | Promedio | 24% | 26% | 0,935 |

TABLA B 1.6. CAL AL 40% BASE SECA

| Muestra | Peso (g) | | | Absorción en agua fría (%) | Absorción en agua caliente (%) | Coeficiente de Saturación |
|---------|----------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| | Seco | Saturado (24hrs) en agua fría | Satur (5hrs) en agua caliente | | | |
| M1 | 144,5 | 188,9 | 191,9 | 31% | 33% | 0,937 |
| M2 | 144,9 | 190,2 | 193,6 | 31% | 34% | 0,930 |
| M5 | 144,2 | 189,7 | 192,9 | 32% | 34% | 0,934 |
| M8 | 144,7 | 190,8 | 192,3 | 32% | 33% | 0,968 |



| | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|------------|------------|--------------|
| M9 | 146,1 | 190,1 | 193,7 | 30% | 33% | 0,924 |
| M10 | 146,5 | 190,6 | 193,7 | 30% | 32% | 0,934 |
| Promedio | | | | 31% | 33% | 0,938 |

ANEXO B2. ENSAYO DE SUCCIÓN.

| TABLA B2.1. CAL AL 10% BASE SECA | | | | | | |
|----------------------------------|-----------|----------|-----|------|-------------------|------------|
| Muestra | Psec (gr) | Psat(gr) | A | L | Área | S |
| M2 | 153,9 | 168,5 | 3,7 | 12,3 | 45,51 | 0,32080861 |
| M3 | 154,1 | 169,4 | 3,7 | 12,6 | 46,62 | 0,32818533 |
| M4 | 152,6 | 165,5 | 3,7 | 12,4 | 45,88 | 0,28116827 |
| M5 | 155,1 | 168,9 | 3,9 | 12,4 | 48,36 | 0,2853598 |
| M6 | 154,9 | 170,1 | 3,9 | 12,3 | 47,97 | 0,31686471 |
| M10 | 156,4 | 169,2 | 3,9 | 12,3 | 47,97 | 0,26683344 |
| Promedio | | | | | 0,29987003 | |

| TABLA B2.2. CAL AL 15% BASE SECA | | | | | | |
|----------------------------------|-----------|----------|-----|------|-------------------|------------|
| Muestra | Psec (gr) | Psat(gr) | A | L | Área | S |
| M2 | 166,9 | 179,3 | 3,7 | 12,3 | 45,51 | 0,27246759 |
| M3 | 168,7 | 183,5 | 3,7 | 12,6 | 46,62 | 0,31746032 |
| M4 | 166,8 | 181,3 | 3,7 | 12,4 | 45,88 | 0,31604185 |
| M5 | 167,8 | 181 | 3,9 | 12,4 | 48,36 | 0,27295285 |
| M6 | 167,1 | 180,9 | 3,9 | 12,3 | 47,97 | 0,2876798 |
| M10 | 166,2 | 180,8 | 3,9 | 12,3 | 47,97 | 0,30435689 |
| Promedio | | | | | 0,29515988 | |

| TABLA B2.3. CAL AL 20% BASE SECA | | | | | | |
|----------------------------------|-----------|----------|-----|------|-------------------|------------|
| Muestra | Psec (gr) | Psat(gr) | A | L | Área | S |
| M2 | 173,1 | 182,9 | 3,9 | 12,4 | 48,36 | 0,20264682 |
| M3 | 172,1 | 184,6 | 3,9 | 12,3 | 47,97 | 0,26057953 |
| M4 | 171,7 | 182,6 | 3,9 | 12,3 | 47,97 | 0,22722535 |
| M5 | 174,9 | 187,4 | 3,7 | 12,7 | 46,99 | 0,26601405 |
| M6 | 176 | 187,4 | 3,7 | 12,7 | 46,99 | 0,24260481 |
| M10 | 172,8 | 182,9 | 3,7 | 12,4 | 45,88 | 0,22013949 |
| Promedio | | | | | 0,23653501 | |



| TABLA B2.3. CAL AL 25% BASE SECA | | | | | | |
|----------------------------------|-----------|----------|------|------|--------|-------------------|
| Muestra | Psec (gr) | Psat(gr) | A | L | Área | S |
| M2 | 171 | 180,6 | 4 | 12,4 | 49,6 | 0,19354839 |
| M3 | 167,6 | 181,6 | 4 | 12,3 | 49,2 | 0,28455285 |
| M4 | 170,9 | 186,3 | 4 | 12,4 | 49,6 | 0,31048387 |
| M5 | 168,1 | 180,5 | 3,95 | 12,2 | 48,19 | 0,2573148 |
| M6 | 169,9 | 181,3 | 3,95 | 12,2 | 48,19 | 0,2365636 |
| M10 | 168,9 | 180,6 | 3,95 | 12,3 | 48,585 | 0,24081507 |
| Promedio | | | | | | 0,25387976 |

| TABLA B2.5. CAL AL 30% BASE SECA | | | | | | |
|----------------------------------|-----------|----------|-----|------|-------|------------------|
| Muestra | Psec (gr) | Psat(gr) | A | L | Área | S |
| M2 | 164,3 | 175,1 | 3,9 | 12,4 | 48,36 | 0,22332506 |
| M3 | 164,1 | 177,2 | 3,9 | 12,2 | 47,58 | 0,27532577 |
| M4 | 168,6 | 182,9 | 3,9 | 12,4 | 48,36 | 0,29569892 |
| M5 | 165,5 | 177,8 | 3,9 | 12,4 | 48,36 | 0,25434243 |
| M6 | 165,1 | 173,5 | 3,9 | 12,4 | 48,36 | 0,17369727 |
| M10 | 159,6 | 170,7 | 3,9 | 12,1 | 47,19 | 0,23521933 |
| Promedio | | | | | | 0,2429348 |

| TABLA B2.6. CAL AL 40% BASE SECA | | | | | | |
|----------------------------------|-----------|----------|------|-------|--------|-------------------|
| Muestra | Psec (gr) | Psat(gr) | A | L | Área | S |
| M2 | 144,4 | 165,6 | 3,8 | 12,3 | 46,74 | 0,45357296 |
| M3 | 144,9 | 165 | 3,8 | 12,2 | 46,36 | 0,43356342 |
| M4 | 144,2 | 165 | 3,9 | 12,3 | 47,97 | 0,43360434 |
| M5 | 144,6 | 162,9 | 3,8 | 12,15 | 46,17 | 0,39636127 |
| M6 | 146,1 | 164,4 | 3,8 | 12,15 | 46,17 | 0,39636127 |
| M10 | 146,4 | 163,8 | 3,85 | 12,1 | 46,585 | 0,37351079 |
| Promedio | | | | | | 0,41449567 |

