

UCUENCA

Facultad de Ciencias Químicas Carrera de Ingeniería Química

Estudio del proceso productivo de la elaboración de ladrillos artesanales basado en la norma INEN 3049

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Químico

Autores:

Michelle Estefanía Bautista Gallegos
CI: 0106679590
estefania962008@hotmail.com

Christian Fernando Roldan Banegas
CI: 0106522626
christianfrb@gmail.com

Tutora

Ing. Quim. Sandra Catalina Peñaherrera Palacios
CI: 0102102142

Cuenca, Ecuador

15 de julio de 2022

Resumen

En este trabajo de titulación se estudió el proceso productivo de la elaboración de ladrillos en la fábrica "Sinincay" para esto se hizo una caracterización de la materia prima, en donde se realizaron pruebas de las arcillas que la fábrica utiliza para la elaboración de los ladrillos, las cuales fueron granulometría, humedad, pH y plasticidad; obteniéndose que la arcilla 2 es la más idónea para la fabricación de ladrillos debido a su alto contenido de finos, menor humedad e índice de plasticidad alto.

Además, se realizó una caracterización de la pasta, en esta etapa se hicieron pruebas como humedad, plasticidad, contracción al secado y a la quema, notándose que la humedad de la pasta es alta y por último se hizo la caracterización del producto final, se realizaron pruebas de dimensionamiento, resistencia mecánica, absorción y succión de los observándose que no cumplen con los valores establecidos por la norma INEN 3049 en la resistencia a la compresión y la absorción de agua.

Se realizó también un estudio de ajuste de proceso aplicando cartas de control individuales para tres parámetros del producto final, se recolectó datos durante varias semanas de los factores que tienen mayor influencia en el proceso con el fin de conocer las posibles causas asignables.

Palabras claves: Ladrillos. Caracterización. Materia prima. Control estadístico. Cartas de control.

Abstract:

In this titling work we studied the production process of making bricks in the Sinincay ceramic factory and for this we made a characterization of the raw material, where tests were carried out on the clays that the factory uses for the production of bricks these tests were particle size, humidity, pH and plasticity obtaining data that helped us to identify the factors that influence the process, in addition a characterization to the paste was made at this stage tests such as moisture, plasticity, shrinkage to drying and burning, and finally the characterization of the final product was made, here sizing tests were performed, resistance, absorption and suction of final bricks based on INEN 3049 standard tests.

In addition, a statistical analysis was performed using control charts of means and ranges, collecting data for several weeks of factors that influence the whole process to know the behavior of these control charts. This helped us to check whether the process is outside or inside the statistical control, control charts were made for some important parameters within the brick making such as shrinkage to drying, burning and absorption in the final product; at the end of the whole development of this titration work it could be observed by the characterization of the raw material, that clay 2 is the one that contains more fine particles which helps the plasticity, but increases the contraction to drying, while clay 3 is the least thin but has a large percentage of water absorption for mesh #40 and #20, the moisture of the paste should not exceed 15.7% plus the burning cycle should be greater than 800°C for three hours, of the final product was found not to meet the dimensioning, compressive strength and water absorption values set by INEN 3049.

Keywords: Bricks. Characterization. Raw material. Statistical control. Control charts.

Índice de Contenido

Resumen	2
INTRODUCCIÓN.....	15
OBJETIVOS.....	16
OBJETIVO GENERAL.....	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
MARCO TEÓRICO Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO.....	17
1.1. Antecedentes	17
1.2. Historia de ladrillo	18
1.3. Definición de ladrillo	18
1.3.1. Clasificación de ladrillos.....	19
1.3.2. Partes del ladrillo.....	21
1.4. Materias primas	22
1.4.1. Arcilla.....	22
1.5. Proceso de elaboración de ladrillos.....	23
1.5.1. Recepción de materias primas.....	23
1.5.2. Dosificación y molienda de las arcillas.....	24
1.5.3. Dosificación de Agua y amasado	25
1.5.4. Moldeado	26
1.5.5. Secado	27
1.5.6. Cocción	28
1.5.7. Almacenamiento	29
1.6. Control estadístico de procesos	30
1.6.1. Cartas de Control.....	30
CAPITULO II: PARÁMETROS DE CONTROL	35
2.1. Caracterización de arcillas	35
2.1.1. Tamaño de partículas.	35
2.1.2. Plasticidad.	36
2.1.3. Contracción	37
2.1.4. Porcentaje de absorción de agua	38
2.2. Caracterización de ladrillos.....	38
2.2.1. Resistencia a la compresión.....	39
2.2.2. Absorción de agua	40
2.2.3. Succión	41

2.2.4. Dimensionamiento de ladrillo.	41
CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS USADOS.....	45
3.1. PARÁMETROS EN LA MATERIA PRIMA	45
3.1.1. Determinación de la humedad porcentual	45
3.1.2. Determinación granulométrica.....	45
3.1.3. Determinación del pH.....	46
3.1.4. Determinación plasticidad.....	47
3.1.5. Determinación de contracción al secado.....	49
3.1.6. Determinación de contracción a la quema y contracción total	50
3.2. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS EN EL PRODUCTO FINAL.....	51
3.2.1. Preparación, preservación de muestras ensayos y piezas ensayadas.....	51
3.2.2. Resistencia a la compresión.....	51
3.2.3. Absorción de agua	52
3.2.4. Ensayo de succión.....	53
3.2.5. Dimensionamiento de ladrillos	54
3.3. Análisis Estadístico cartas de control de medidas individuales	54
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	56
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
Conclusiones	70
Recomendaciones	71
Bibliografía	72
ANEXOS.....	80
Anexo 1. Recolección de datos de parámetros de materia prima	80
Anexo 2. Recolección de datos de parámetros de contracción al secado y a la quema	86
Anexo 3. Recolección de datos de parámetros del producto final	87
Anexo 4. Recolección de datos y cálculos para las cartas de control de contracción de secado, a la quema y absorción de agua.	89
Anexos 6. Datos de funcionamiento del proceso de elaboración de ladrillos	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades físicas de las unidades de mampostería según la norma INEN 3049-2.....	39
Tabla 2 Absorción de Agua según la norma INEN 3049-2	40
Tabla 3 Tiempo recomendado de humedecimiento según la norma INEN 3049-2.....	41
Tabla 4 Número mínimo de celdas o perforaciones según la norma INEN 3049-2.....	42
Tabla 5 Valores mínimos para unidades de perforación horizontal	43
Tabla 6 Ciclo de quema para cocción en el laboratorio de cerámicas	50

Tabla 7 Humedad de las arcillas.....	56
Tabla 8 Análisis Granulométrico de la Arcilla 1, Arcilla 2, Arcilla 3 y de la mezcla de la fábrica .	57
Tabla 9 Resultados de pH.....	58
Tabla 10 Plasticidad	59
Tabla 11 Contracción al secado y a la quema de las placas iniciales y de fábrica	60
Tabla 12 Absorción de agua, espacio poroso, densidad aparente y densidad a granel de la arcilla	61
Tabla 13 Absorción de agua, espacio poroso, densidad aparente y densidad a granel de la mezcla de la fabrica.....	61
Tabla 14 Resultados de la Absorción, succión y resistencia del producto final	62
Tabla 15 Datos para ortogonalidad.....	63
Tabla 16 Descripción del ladrillo.	64
Tabla 17 Límites calculados bajo especificaciones de la NTE INEN 3049 parte 2 (mampostería estructural)	64
Tabla 18 Resultados del Dimensionamiento del producto final	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Unidades de perforación horizontal	19
Figura 2 Unidades de perforación vertical.....	20
Figura 3. Unidades macizas	21
Figura 4 Almacenamiento de materias primas	24
Figura 5 Transporte de materia prima	24
Figura 6 Laminadora	25
Figura 7 Mezcladora	26
Figura 8 Extrusora.....	27
Figura 9 Secado Natural	28
Figura 10 Secador Industrial	28
Figura 11 Entrada de ladrillo al horno.....	29
Figuro 12 Almacenamiento de ladrillos	29
Ilustración 13 Curva Granulométrica	36

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafica 1 Distribución granulométrica de las materias primas y la mezcla de la fábrica	57
Grafica 2 Carta de Plasticidad de la Arcilla 1, Arcilla 2, Arcilla 3 y de la Pasta	59
Grafica 3 Limite Liquido Arcilla 2	84
Grafica 4. Limite Liquido de la Arcilla 3.....	85
Grafica 5 Limite Liquido de la pasta	85

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Michelle Estefanía Bautista Gallegos en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Estudio del proceso productivo de la elaboración de ladrillos artesanales basados en la norma INEN 3049...", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 15 de Julio de 2022



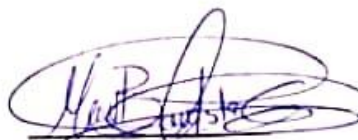
Michelle Estefanía Bautista Gallegos

C.I: 0106679590

Cláusula de Propiedad Intelectual

Michelle Estefanía Bautista Gallegos , autor del trabajo de titulación " Estudio del proceso productivo de la elaboración de ladrillos artesanales basados en la norma INEN 3049" , certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 15 de Julio de 2022



Michelle Estefanía Bautista Gallegos

C.I: 0106679590

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Christian Fernando Roldan Banegas en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "**Estudio del proceso productivo de la elaboración de ladrillos artesanales basado en la norma INEN 3049**", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 15 de julio de 2022



Christian Fernando Roldan Banegas

C.I: 010652262-6

Cláusula de Propiedad Intelectual

Christian Fernando Roldan Banegas autor del trabajo de titulación "**Estudio del proceso productivo de la elaboración de ladrillos artesanales basado en la norma INEN 3049**", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 15 de julio de 2022



Christian Fernando Roldan Banegas

C.I.: 010652262-6

DEDICATORIA

Durante la realización de la tesis existieron momentos cruciales en mi vida en los que pensé que no llegaría a terminarla, pero si no fuera por la motivación, apoyo y fuerza que me daban no hubiera podido realizar esta meta. Por eso quiero dedicar esta tesis a todas las personas que me brindaron su apoyo de manera especial a mis abuelitos aunque ya no estén siempre les recuerdo y estarán muy feliz por este logro, a mi abuelita "Mada" que gracias a ella inicié y decidí seguir esta carrera recordando sus palabras " yo te ayudaré, tienes que estudiar" , también a mi mami " Marias" por desvivirse por mí para que pueda terminar este trabajo, por siempre estar conmigo , también es tu logro mamita siempre he dicho todo es por ti , quiero también dedicar a mi familia Edwin mi esposo que es esa persona que me ha brindado su apoyo, el que tuvo paciencia pero que hoy disfrutamos los dos de este logro y a mis hijos Alejandra y Ezequiel son el pedacito que faltaba para estar al 100% de ustedes y por ustedes es todo lo que yo hago.

Michelle

DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado a María Banegas, mi querida madre que me ha brindado su apoyo, consejos y gran motivación en los momentos más difíciles. Que gracias a ella estoy por culminar mi carrera universitaria y cumplir con una meta más, de las tantas que me faltan. A mi familia por los momentos de felicidad y por brindarme apoyo cuando más lo necesité.

Christian

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, es el que me ha dado la vida y la sabiduría para llegar a ser quien soy, a mis padres de manera especial a mi mamá, un pilar fundamental en mi vida quien ha sido un apoyo en toda mi carrera, a mi esposo y mis hijos por la paciencia y ayuda brindada durante todo el proceso de realización de esta tesis.

Gracias a mi ñaña Heidi que ha hecho las veces de mama para con mis hijos para poder terminar de realizar mi tesis además por ayudarme y enseñarme que nunca voy a estar sola.

Agradezco a mi Universidad y a mi carrera por darme la oportunidad de aprender, conocer y apasionarme de la Ingeniería Química así también a cada uno de mis profesores quienes han aportado con cada uno de sus grandes conocimientos para poder llegar a ser una gran profesional y ser humano.

Quiero agradecer de manera especial a mi tutora Ing. Catalina Peñaherrera quien ha estado pendiente del desarrollo de este trabajo ayudándome con sus conocimientos y teniendo mucha paciencia para el desarrollo de la misma.

A mi compañero de tesis mí amigo Christian, quien ha estado desde el inicio de esta carrera universitaria brindando su compañerismo y amistad siempre, gracias en verdad amigo.

Y finalmente a toda mi familia de sangre y familia política, a todos quienes de una u otra manera ha estado pendiente de mí y de toda mi carrera universitaria con sus palabras y apoyo a toda mi familia gracias de todo corazón.

Michelle

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi agradecimiento a Dios por bendecirme y brindarme con la sabiduría necesaria para seguir creciendo personal y profesionalmente. Agradecer a mis padres María y Miguel M. y a mis hermanos Evelyn y Édisson que siempre me han apoyado y me siguen apoyando.

MI mayor agradecimiento a la Universidad de Cuenca, y a cada uno de los docentes de Ingeniería Química por aportarme sus conocimientos en nuestra formación Profesional. En especial un profundo agradecimiento por el acompañamiento en cada etapa de esta tesis, a la Ingeniera Catalina Peñaherrera.

También agradezco haber conocido y compartido con grandes amigos y compañeros durante toda mi carrera. Desde nivelación y durante todo este proceso, que no ha sido sencillo, agradecer a mi amiga y compañera de tesis Michelle.

Christian

INTRODUCCIÓN

La importancia de realizar este tema en particular radica en que el sector ladrillero del cantón Cuenca está compuesto aproximadamente de 601 ladrilleras, que se dividen en 40 semi-mecanizadas que utilizan algunos equipos para su producción y las restantes son ladrilleras artesanales donde todos los procesos se hacen en forma manual (Venegas, 2018). Se caracterizan por un alto grado de informalidad, donde los parámetros usados en el proceso se determinan de manera muy rudimentaria y en base a la experiencia de los artesanos, sin ningún control sistematizado de los mismos, ni el cumplimiento de las normas nacionales para mampostería.

Se buscó la implementación del monitoreo de los parámetros mínimos, para obtener los indicadores claves a medirse para un control eficaz de la producción, permitiendo analizar las características con la que se está operando, y así establecer diferentes acciones a tomar durante la producción. Lo que permitirá mejorar la productividad, elevar la calidad del producto, disminuir los costos y pérdidas durante el proceso, mejorando sus utilidades y obteniendo productos que cumplan con los estándares actuales necesarios.

Este trabajo de titulación se realizó en la fábrica de ladrillos “Cerámica Sinincay”, ubicada en el sector Sigcho de la parroquia de Sinincay, es una ladrillera semi-mecanizada la cual elabora diferentes productos como ladrillos huecos, tejas, pisos cerámicos, fachaletas, entre otros; para el presente estudio se centró en el principal producto que son los ladrillos huecos, además se dialogó con los dueños de la fábrica y se decidió estudiar a los ladrillos como estructurales ya que se quiere comparar con la norma más exigente en cuanto a ladrillos.

Este trabajo se realizó en tres etapas; en la primera se realizó la caracterización del proceso que incluye las materias primas, el proceso productivo y el producto final, y posteriormente se realizó un diagnóstico de la situación actual de la fábrica. En la segunda fase se realizó un control estadístico mediante cartas de control, para determinar los parámetros del proceso que llevan al no cumplimiento de los estándares finales de la norma INEN 3049. En la última etapa se analiza la relación de los diferentes factores que influyen en los parámetros a controlar y en la obtención del producto final, procurando el cumplimiento de los parámetros establecidos en la normativa INEN para este tipo de productos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Controlar los parámetros básicos de las diferentes etapas en la elaboración de ladrillos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterización de la materia prima por cada lote producido.
- Controlar parámetros en el proceso productivo.
- Controlar parámetros del producto final según la norma INEN 3049.

MARCO TEÓRICO Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

1.1. Antecedentes

A través de la historia se ha visto la importancia que han adquirido los ladrillos y las tejas como materiales indispensables en la construcción y un dominante en cuanto a cantidades mundialmente comercializadas (Sanmartin & Tuba, 2015).

Las demandas actuales de la calidad e innovación sumadas a la competitividad han hecho que hoy en día se establezca un mayor control y se realice mejoras en los procesos de las industrias, empresas y organizaciones. La producción de ladrillos de mampostería no está exenta de aquello, normalmente requiere un control apropiado de las etapas de procesamiento incluida la preparación de las arcillas; las técnicas de moldeo como la extrusión, compactación mecánica o moldeo por inyección, entre otras; el método de secado y el método de cocción; la temperatura y el tiempo de residencia en el horno. (Gömze, L. A., Gömze, L. N., Kurovics, E., & Benedek, G., 2019).

Por lo tanto, es crucial conocer y mejorar las propiedades de los ladrillos, en las que incluye la difícil tarea de la optimización de las arcillas, debido a que se utilizan varias mezclas de diferentes materias primas para encontrar mezclas óptimas, un procedimiento que se basa en gran medida en la experiencia y el conocimiento empírico. En consecuencia, para cada nueva mezcla se debe producir un lote de muestra y someterla a pruebas macroscópicas de materiales para determina sus propiedades físicas (Buchner, T., Kiefer, T., Gaggl, W., Zelaya-Lainez, L., & Füssl, J., 2021).

La importancia que tiene el control estadístico de procesos, el cual está estrechamente ligado con las buenas prácticas de control de calidad, radica en que permite detectar patrones anormales de calidad en el proceso de fabricación.

En Ecuador existen 1.805 fábricas dedicadas a la producción de ladrillos, de este total, 1.730 establecimientos son fábricas de naturaleza artesanal, en Cuenca existen 601 puntos georreferenciados relacionados a la actividad ladrillera, el 93% son ladrilleras artesanales y el resto son semi-mecanizadas.

La ladrillera “Cerámica Sinincay” desde sus inicios ha realizado un trabajo empírico y sin control alguno de los parámetros de su proceso productivo. Además, que sus personeros desconocían que deben de regirse a la norma INEN 3049-2. Por tales motivos la empresa tiene procesos inadecuados de producción, dando lugar a productos con mucha variabilidad y un bajo rendimiento de producción, lo que ha comprometido a la economía de la fábrica.

1.2. Historia de ladrillo

El ladrillo en sus inicios se elaboraba en forma cruda, conocida como adobe. Cuando el adobe era atacado por el agua, se vio la necesidad de desarrollar técnicas de cocción. Los ladrillos de arcilla se encuentran entre los primeros materiales artificiales producidos por el hombre para la construcción, que mostraron ser fáciles de producir, resistentes y duraderos como lo demuestran los numerosos ejemplos que se pueden ver en todo el mundo que soportan siglos de duras condiciones climáticas y guerras (Quesada E. y Costa L., 2016).

Se sabe que el ladrillo se originó en las antiguas civilizaciones del Medio Oriente que tenían sus centros en territorios que hoy corresponden a Irak e Irán aproximadamente, pero que extendían mucho más su influencia y se remontan en el tiempo a más de dos mil quinientos años antes de nuestra era. Desde esa región, las caravanas de pueblos nómades y, sucesivamente, las conquistas de Alejandro Magno, las del Imperio Romano y las rutas comerciales de Marco Polo pusieron en contacto a las diversas culturas y contribuyeron a generalizar el uso del ladrillo.

1.3. Definición de ladrillo

Los ladrillos de arcilla quemados se fabrican después de someter la mezcla de arcillas a procesos de moldeo y secado. Las propiedades de los ladrillos dependen de la naturaleza del material y del proceso (Quesada E. y Costa L., 2016). Su forma más común es de paralelepípedo o prisma rectangular, pero existe una amplia gama de formas y tamaños, variando de acuerdo con sus funciones constructivas, estructurales o arquitectónicas. Con aplicaciones generalmente en muros de albañilería, debido a su forma regular y fácil manejo.

1.3.1. Clasificación de ladrillos

Según la norma INEN 3049, de acuerdo con su uso se clasifican en:

- **Estructurales.** - ladrillos que por su diseño y resistencia pueden permitir la construcción de mampostería estructural o muros que soporten cargas adicionales a su propio peso.
- **No estructurales.** - ladrillos que por su diseño o resistencia no pueden permitir la construcción de mampostería estructural o muros que soporten cargas adicionales a su propio peso.
- **Fachada.** - ladrillos generalmente pequeños, que, por sus características de color, acabado y durabilidad, son aptos para construir muros de fachada en ladrillo a la vista con fines arquitectónicos, que pueden estar expuestos a la intemperie.

A su vez se les clasificaría según sus perforaciones y volumen en: perforación horizontal (PH), perforación vertical (PV) y macizas (M).

Ladrillos de perforación horizontal (PH)

Ladrillos cuyas celdas o perforaciones son paralelas a las caras o superficie en las que se asienta (Fig. 1).

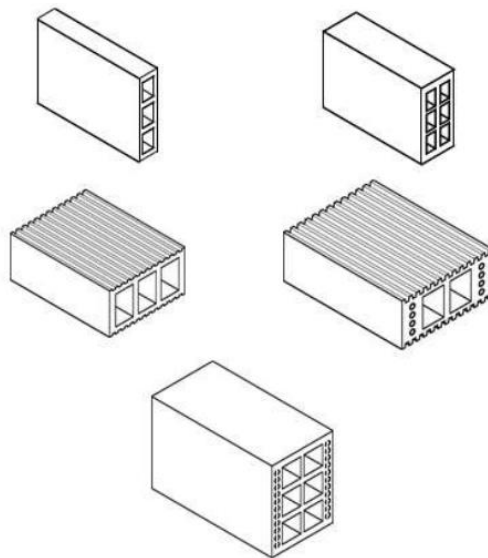


Figura 1 Unidades de perforación horizontal

Fuente: INEN 3049

UCUENCA

Ladrillos de perforación vertical (PV)

Ladrillos cuyas celdas o perforaciones son perpendiculares a las caras o superficies en la cual se asientan como se observa en la figura 2. El área bruta de las celdas y perforaciones no debe ser superior al 60% de la sección a la cara que se asienta. Este tipo de ladrillos se dividen en dos clases de unidades según su uso, que se diferencian únicamente en los requisitos de resistencia a la compresión y en los espesores de paredes y tabiques exteriores, pero se aplican todos los demás requisitos de la norma

Clase I Unidades de perforación vertical que se aplican en sistemas de muro de mampostería estructural en los que demandan mayores resistencias y espesores de pared.

Clase II Unidades de perforación vertical en las que se demanda resistencias y espesores moderados.

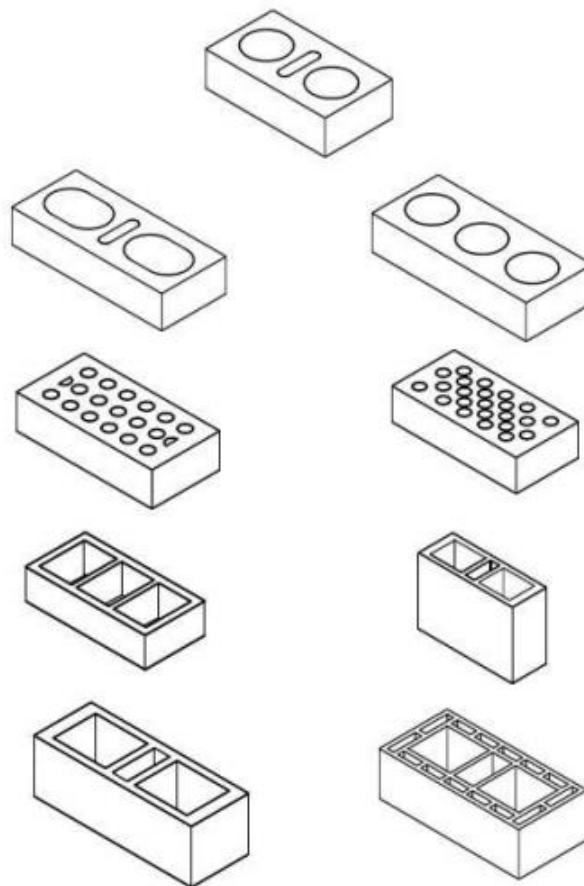


Figura 2 Unidades de perforación vertical

Fuente: INEN 3049

Ladrillos macizos (M)

Son unidades sin perforaciones y si las tienen no deben exceder el 25% del volumen total de la unidad (Fig. 3).

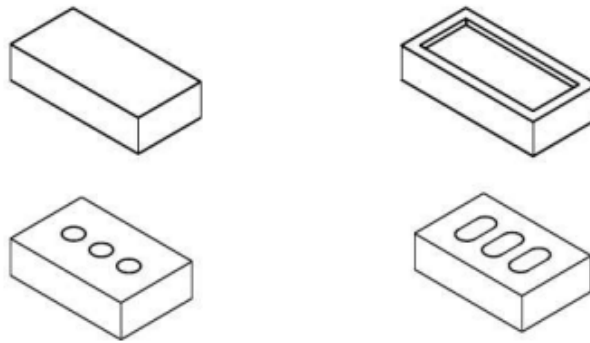


Figura 3. Unidades macizas
Fuente: INEN 3049

1.3.2. Partes del ladrillo

Según la norma, para el dimensionamiento de la mampostería se adoptará las siguientes definiciones.

Altura: dimensión vertical de la pieza en el sentido de colocación.

Ancho: dimensión horizontal perpendicular a su eje longitudinal de alineación

Longitud: dimensión horizontal de la pieza en el sentido del eje de alineación

Paredes exteriores: cada una de las dos caras exteriores de una unidad que constituye los dos lados de un muro. Pueden ser macizas, dobles o perforadas.

Tabiques exteriores: cada una de las caras exteriores de la unidad que está en contacto con el mortero de pega de las juntas

Tabiques interiores: cualquiera de los elementos interiores que mantienen unidas entre sí a las paredes exteriores o que separan las celdas cuando hay más de una dirección del ancho del muro.

1.4. Materias primas

La calidad de los ladrillos se ve afectada significativamente por las características de sus materias primas y métodos utilizados para su fabricación. Para la fabricación de ladrillos se usa, generalmente, una mezcla de varias arcillas. Dichas arcillas no son puras, suelen contener óxidos de hierro los cuales dan el color característico del ladrillo. Además, contienen sílice, carbonato de calcio, etc., que pueden estar presentes en el depósito de las arcillas en diferentes cantidades, provocando que sean más plásticas y otras menos plásticas (Riaz, Khitab y Ahmed, 2019).

En el caso de la fábrica “Cerámica Sinincay” los ladrillos se elaboran a partir de tres tipos de arcilla.

1.4.1. Arcilla.

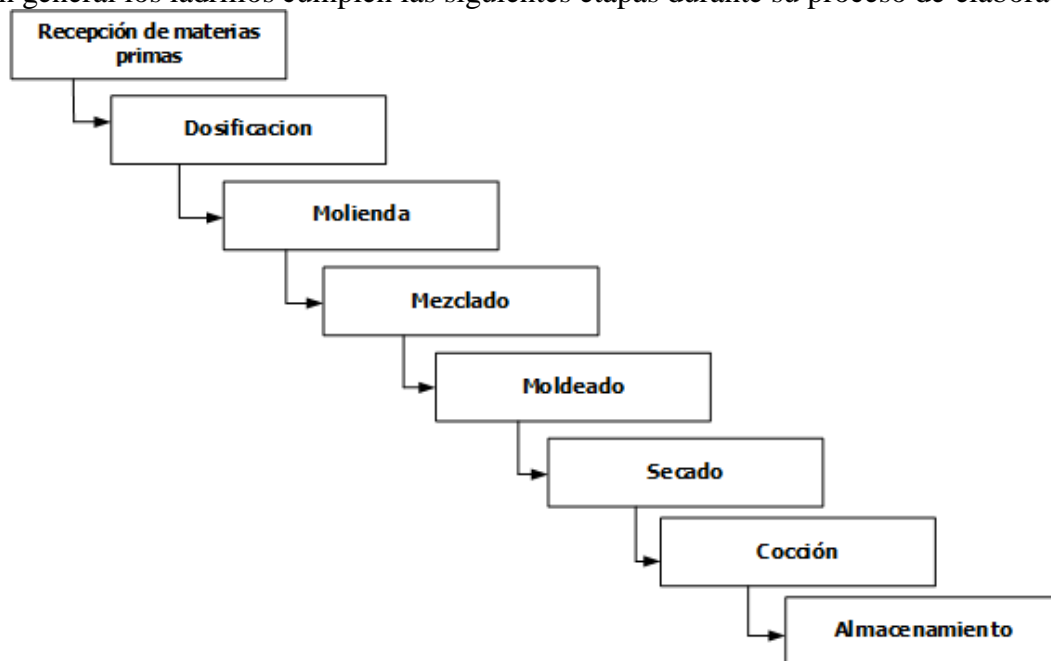
La definición según la Asociación Internacional para el estudio de las arcillas (AIPEA) y de la sociedad de minerales de arcillas (CMS) es la siguiente: “Materia prima natural con una constitución de partida compuesta por minerales de tamaño fino, que se comporta plásticamente con el agua y que endurece al ser secada o calentada” (Guggenheim, Martin, 1995).

Las arcillas son silicatos de aluminio hidratados, que proceden de la descomposición de rocas ígneas como feldspatos o granitos, originada en un proceso natural que dura decenas de miles de años. Tiene diversas coloraciones según el tipo de arcilla y el grado de impurezas que contiene (Alcocer & Gachet, 2007).

En aplicaciones cerámicas, el tipo y la calidad de los productos finales dependen de las características mineralógicas, fisicoquímicas y composición química de la arcilla (Roudouane, Mbey, Bayiga, y Ndjigui, 2020). De ahí radica la importancia de estudiar las diferentes cantidades y clases de arcillas para la elaboración de elementos cerámicos. Estas pueden añadir una fuerte cohesión al producto seco, pero también pueden provocar problemas de fisuración, debido a la contracción durante el proceso de secado (Dormohamadi y Rahimnia, 2020).

1.5. Proceso de elaboración de ladrillos

En general los ladrillos cumplen las siguientes etapas durante su proceso de elaboración.



1.5.1. Recepción de materias primas

Toda fábrica que elabora ladrillos artesanales cuenta con una zona asignada para la recepción de materia prima que generalmente son espacios descubiertos, las arcillas provienen de diferentes lugares, dependiendo de las necesidades de la fábrica pueden ser de un solo tipo o llegar a ser de hasta siete tipos. La exposición a la acción atmosférica (aire, lluvia, sol, etc.) favorece a la descomposición de la materia orgánica que puede estar presente y permite la purificación química del material (Barranzuela & Lescano, 2014).

En la fábrica donde se realizó este trabajo de titulación se utilizan tres tipos de arcillas que son provenientes de Sayausí, Chuiquintad y Tixán, se las recibe a cielo abierto como se observa en la figura 4.



Figura 4 Almacenamiento de materias primas

Fuente: Autores



Figura 5 Transporte de materia prima

Fuente: Autores

1.5.2. Dosificación y molienda de las arcillas

La distribución granulométrica es una variable de suma importancia, dado que de ella va a depender el grado de empaquetamiento de las partículas y, por tanto, las propiedades físico-mecánicas de los cerámicos (porosidad, absorción de agua, resistencia, etc.). Por otro lado, la distribución granulométrica permite predecir el carácter plástico o desgrasante de la arcilla, teniendo en cuenta que el material arcilloso tiene tamaños de partículas pequeños, del orden de unas pocas micras, mientras que la fracción desgrasante o arenosa tiene un tamaño de partícula mucho mayor. (Santos, Malagón, & Córdoba, 2009).

La distribución de las partículas tiene un marcado efecto en la plasticidad de las arcillas. Se ha encontrado que las arcillas de grano muy fino y las de grano muy grueso son menos plásticas que las que contienen simultáneamente granos finos y gruesos, esto se debe a que una distribución de granos de diferentes tamaños permite un empaquetamiento más cerrado y más compacto que proporciona una mayor plasticidad

En la fábrica cada una de las arcillas son transportadas por una retroexcavadora hacia un canchón en donde son mezcladas según las proporciones establecidas, luego pasan a la etapa de molienda que tiene por objetivo reducir el tamaño de la materia prima, se utilizan dos laminadoras que trituran las tres arcillas juntas, en la primera llegan partículas de tamaño aproximado de 40 mm y salen partículas de 10 mm, luego pasan a la segunda laminadora en donde se obtiene una mezcla homogénea de un polvo fino con tamaño de partícula aproximadamente de 2 mm.



Figura 6 Laminadora

Fuente: Autores

1.5.3. Dosificación de Agua y amasado

En esta etapa a la mezcla de arcillas se agrega agua y se homogeniza hasta obtener una masa de consistencia plástica. La mezcla debe estar lo bastante húmeda (en general entre valores de 12 a 15% de humedad) para que se pueda mantener unida cuando se trabaja y así obtener una pasta arcillosa homogénea. La verdadera función del mezclado es la de distribuir el material plástico para que recubra completamente los constituyentes no

plásticos mezclando la arcilla gruesa con la fina. Esto tiene el propósito de facilitar la operación del moldeado. (Bueno & Sanchez, 2008)

Luego de salir de la etapa de molienda las arcillas dosificadas son transportadas por una banda transportadora a una mezcladora de cintas que funciona con 2 tornillos sin fin de forma paralela, de tal forma que la el tornillo a exterior mueve material en una dirección, mientras que el tornillo interior mueve el material en la dirección opuesta, se realiza la humidificación, utilizando baldes de plástico, se le agrega la cantidad de agua establecida por la fábrica y se le bate durante 30 minutos hasta obtener una consistencia plástica.



Figura 7 Mezcladora

Fuente: Autores

1.5.4. Moldeado

La extrusión, es considerada la técnica más comúnmente utilizada para la conformación del ladrillo, en ella una masa de consistencia espesa es forzada mediante la abertura de una matriz, la cual posee las dimensiones de la sección que se desea. Por lo general, la masa plástica de cerámica es forzada a atravesar la matriz por medio de un “husillo” que tiene forma de espiral, operado a través de un motor, donde frecuentemente el aire se elimina en una cámara de vacío a fin de incrementar la densidad. (Bautista, 2021)

En la fábrica se realiza el moldeado mecánico mediante una extrusora de dos metros de longitud que tiene 1 tornillo sin fin además de una bomba de vacío que trabaja a 20 Mpa

y una boquilla intercambiable para dar la forma de acuerdo al tipo de ladrillo que se esté produciendo.



Figura 8 Extrusora
Fuente: Autores

1.5.5. Secado

Esta etapa de proceso tiene como objetivo eliminar el agua proveniente de la fase de moldeado para luego ir a la cocción. El agua que es eliminada de la pasta y que se encuentra libre de ella, se denomina agua de poro; la eliminación mediante el secado afecta el volumen de la pieza en verde. Por consiguiente, el agua de poro se debe eliminar a temperaturas cercanas a las de ebullición, si la misma es extraída en la fase de sinterización o cocción, entonces la alta temperatura superficial de la pieza junto con la pequeña conductividad térmica originará que la fracción final de humedad sea excluida mediante una capa de material ya sinterizada, produciendo un porcentaje alto de porosidad en la pieza (Rodríguez, 2013).

La fábrica cuenta con un secador industrial adaptado junto al horno, en donde se utiliza el calor desprendido de este para secar los ladrillos y mantenerlos calientes, en este caso el tiempo de secado es de 3 a 4 días consiguiendo que los ladrillos ingresen al horno ligeramente calientes lo que hace más eficiente el proceso de cocción, este es el método de secado que comúnmente se usa, pero cuando este secador alcanza su máxima capacidad y no admite más ladrillos, los formados en este momento se los seca de forma natural y tiene una duración de 8 días.



Figura 9 Secado Natural

Fuente: Autores



Figura 10 Secador Industrial

Fuente: Autores

1.5.6. Cocción

La fase de cocción es esencial, pues proporciona a la pieza cerámica resistencia y rigidez, además la arcilla durante el calentamiento se deshidrata, debido a que elimina el agua, la cual forma parte de la estructura cristalina dando inicio a la fusión o vitrificación. Las partículas pequeñas, las elevadas temperaturas de horneado proporcionan mayor nivel de vitrificación, alta densidad y menor porosidad; una densidad alta contribuye al mejoramiento de las propiedades mecánicas, sin embargo, minimiza la calidad aislante del ladrillo (Callister, 1985).

La fábrica cuenta con un horno túnel el cual mide 12 metros de largo, que para este tipo de ladrillos (huecos) trabaja a una temperatura de 700 a 800 °C y utiliza como combustible GLP (gas licuado de petróleo). El ladrillo una vez seco se le coloca en la entrada del horno en una sola capa acomodándoles unos detrás de otros y salen quemados al otro extremo después de aproximadamente una hora de cocción y está listo para su almacenamiento.



Figura 11 Entrada de ladrillo al horno

Fuente: Autores

1.5.7. Almacenamiento

Es la etapa final, los ladrillos quemados se trasladan en carros de transporte hasta el lugar que la fábrica tiene destinado para su almacenamiento apilándoles uno sobre, desde donde son despachados para los puntos de venta.



Figura 12 Almacenamiento de ladrillos

Fuente: Autores

1.6. Control estadístico de procesos

El Control Estadístico de Proceso (CEP) es la rama de calidad que consiste en la colecta, análisis e interpretación de datos, establecimiento de calidades, comparación de desempeños, verificación de desvíos, todo eso para mejorar y controlar la calidad de productos, servicios y diagnóstico de defectos mediante técnicas estadísticas al control de calidad (Pedrera & Da Silva, 2016).

Mediante el control estadístico se puede obtener:

- Productos con mejor calidad ya que permite conocer el comportamiento del proceso y hacer previsiones sobre su desempeño, ese comportamiento es analizado a través de medidas a él asociadas, teniendo en cuenta los conceptos de estabilidad y capacidad.
- Disminución de costos principalmente en función de dos razones: la inspección por muestreo y la reducción de rechazo. La selección de muestras es de tamaño mucho menor que la población, disminuyendo consecuentemente los costos y paradójicamente acaba representando mejor las características de la población, otra ventaja en la reducción de costos es que el número y porcentaje de piezas defectuosas producidas en la fábrica van a disminuir con las mejoras en la línea de producción (Pedrera & Da Silva, 2016).

1.6.1. Cartas de Control

El objetivo básico de una carta de control es observar y analizar el comportamiento de un proceso a través del tiempo. Así, es posible distinguir entre variaciones por causas comunes y especiales (atribuibles), lo que ayudará a caracterizar el funcionamiento del proceso y decidir las mejores acciones de control y de mejora. Cuando se habla de analizar el proceso nos referimos principalmente a las variables de salida (características de calidad), pero las cartas de control también pueden aplicarse para analizar la variabilidad de variables de entrada o de control del proceso mismo (Gutierrez & Salazar, 2009).

Existen dos tipos de cartas de control para variables y para atributos; las cartas de control para variables se aplican a características de calidad de naturaleza continua, las cartas para variables tipo Stewart son: de medias, de rangos, de desviación estándar y de

medidas individuales; mientras que las cartas de atributos monitorean características de la calidad no medible con un instrumento de medición en una escala continua o al menos en una numérica.

La gráfica de control para medias de procesos tiene como objetivo mostrar las fluctuaciones de las medias de la muestra que se presentan dentro de estos límites. Si estas medias caen dentro de los límites establecidos para un proceso (rango de aceptación), se dice que la variación que presenta el proceso sólo es aleatoria. Pero si las medias de la muestra exceden el límite superior de control (LSC) o bien, caen por debajo del límite inferior de control (LIC), entonces el proceso de producción o un servicio está fuera de control, y deberá corregirse, generalmente este tipo de cartas se aplica para procesos industriales de tipo masivo. (Pierdant & Rodriguez, 2009).

Las gráficas de control para rangos (o amplitud) de un producto tienen como objetivo determinar si las variaciones de las muestras se encuentran bajo control o fuera de él. Si los puntos que representan dichas amplitudes se encuentran dentro de los límites superior e inferior, nos permiten concluir que el producto está bajo control. Por el contrario, si una variación queda arriba o debajo de los límites, se concluye que alguna causa asignable afecta la producción presentando una variabilidad notoria (Pierdant & Rodriguez, 2009).

Con la carta de medias se analiza la variación entre las medias de los subgrupos, para así detectar cambios en la media del proceso, mientras que la carta de rangos nos permite detectar cambios en la amplitud de la variación del proceso.

La carta de control de desviación estándar se utiliza cuando se quiere detectar cambios significativos en el proceso cuando el tamaño de la muestra es mayor a 10, nos ayuda a detectar cambios de variabilidad del proceso (Gutierrez & Salazar, 2009).

La carta de control de medidas individuales es un diagrama para variables de tipo continuo, pero en lugar de aplicarse a procesos semimasivos o masivos como es el caso de la carta de medias y rangos, se emplea en procesos lentos, en los cuales para obtener una medición o una muestra de la producción se requieren periodos relativamente largos (Gutierrez & Salazar, 2009).

La determinación de los límites de control se realiza mediante la estimación de la media y de la desviación estándar. Así, se tabulan los datos y se procede a calcular los límites de control para luego elaborar el grafico. Para lo obtención de las cartas de control se utilizará las siguientes fórmulas:

Cálculo de la media

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Donde:

\bar{x} = media

x_i = valor de la variable medida

n = tamaño de la muestra

Cálculo de los rangos móviles

$$\bar{R}_i = x_i - x_{i-1}$$

Donde:

\bar{R} = Rango Móvil

x_i = valor de la variable medida

Cálculo de la media de rangos móviles

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{R}_i}{n - 1}$$

Donde:

\bar{R} = Media de Rango Móvil

\bar{R}_i = Rango móvil de la muestra

n = tamaño de la muestra

Posteriormente el cálculo de los límites de control

$$\sigma_x = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Límites de control para \bar{x}

$$LSC_{\bar{x}} = \bar{x} + 3 * \sigma_x$$

$$LC_{\bar{x}} = \bar{x}$$

$$LIC_{\bar{x}} = \bar{x} - 3 * \sigma_x$$

Límites de control para R

$$LSC_R = D_4 \bar{R}$$

$$LC_R = \bar{R}$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R}$$

Donde:

σ_x es Desviación estándar

LSC es Limite Superior

LC es Límite central

LIC es límite inferior

\bar{x} es el promedio de muestras

\bar{R} es el promedio de rangos móviles

d_2 , D_3 y D_4 son constantes de la tabla de factores críticos de las gráficas de control

Existen diversas causas especiales que se puede identificar con las cartas de control, las mismas que se manifiestan con puntos fuera de los límites de control, o por puntos graficados con un comportamiento no aleatorio. Existen 5 patrones de comportamiento, los cuales indican si el proceso está con causas especiales de variación (Gutierrez H. y de la Vara R.,2009).

- **Patrón 1. Desplazamientos en el nivel de proceso.** Ocurre cuando uno o más puntos están fuera de los límites de control, o cuando existe una tendencia larga y clara a un solo lado de la línea central.
- **Patrón 2. Tendencias en el nivel de proceso.** Consiste en una tendencia bien definida y larga, creciente o decreciente de los valores de los puntos graficados.
- **Patrón 3. Ciclos recurrentes.** Se presenta mediante un comportamiento cíclico de los puntos.
- **Patrón 4. Mucha variabilidad.** Se manifiesta por la presencia de una alta proporción de puntos cerca de los límites, en ambos lados de la línea central o pocos o ningún punto en la parte central de la carta.
- **Patrón 5. Falta de variabilidad.** Cuando prácticamente todos los puntos se concentren en la parte central de la carta.

Para detectar los patrones de comportamiento de causas especiales se realizan las siguientes pruebas (Montgomery, 2014):

- Prueba 1: Un punto a más de 3σ de la línea central.
- Prueba 2: Dos de tres puntos a más de 2σ de la línea central (del mismo lado).
- Prueba 3: Cuatro de cinco puntos a más de 1σ de la línea central (del mismo lado).
- Prueba 4: Ocho o más puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central.
- Prueba 5: Seis puntos consecutivos, todos en orden creciente o decreciente.
- Prueba 6: Quince puntos consecutivos dentro de 1σ de la línea central (en cualquier lado).
- Prueba 7: Catorce puntos consecutivos, alternativamente arriba y abajo.
- Prueba 8: Ocho puntos consecutivos a más de 1σ de la línea central (en cualquiera de los lados).

CAPITULO II: PARÁMETROS DE CONTROL

Para llevar a cabo la estandarización del proceso y su control de calidad, se tiene que analizar diferentes parámetros, desde la adquisición de la materia prima hasta el producto terminado, buscando parámetros adecuados y medibles a la situación actual de la fábrica, involucrando tanto la caracterización de las arcillas y de los ladrillos finales, para estos últimos se tomará en cuenta la Norma INEN 3049-2.

2.1. Caracterización de arcillas

Las propiedades de las arcillas están influenciadas por algunos factores, por lo tanto, son propias y características de cada arcilla.

2.1.1. Tamaño de partículas.

El conocimiento de la granulometría es de gran importancia, porque esta influye sobre las propiedades fundamentales del material, como son la plasticidad, resistencia y durabilidad (Muheise-Araalia, D., & Pavia, S. (2021).

La distribución granulométrica permite predecir el carácter plástico o desengrasante de la arcilla, teniendo en cuenta que el tamaño de las partículas de arcillas es inferior a una micra de diámetro, mientras que las partículas de la fracción desengrasante o arenosa son de un tamaño mucho mayor (Santos J, Malagon V. y Cordova E.,2011).

También de la granulometría de las arcillas depende la superficie específica del ladrillo. Entre mayor empaquetamiento de las partículas, menor será la sección de poros y aumentará esto el contacto entre las partículas, obteniendo mejores propiedades físico-mecánicas (Afanador N., Ibarra A. y Lopez C., 2013). Pero también a una mayor superficie específica, más angosto será el diámetro de capilares en la pieza en verde, lo que dificultara el proceso de secado, mientras que en la cocción más rápidamente y a más baja temperatura vitrificará (Uribe R., Camillo F. y Lascano L., 2021)

Para la determinación granulométrica se utiliza diferentes métodos de tamizaje, para la determinación de arcillas se utiliza el método húmedo-seco ya que permite el control rápido de la variación del material, se utilizan tamices estándar para separar por tamaños y se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas (Valencia & Huertas, 2018). Es habitual representar los datos mediante la gráfica de porcentajes acumulados y una distribución logarítmica normal, como se indica en la siguiente gráfica:

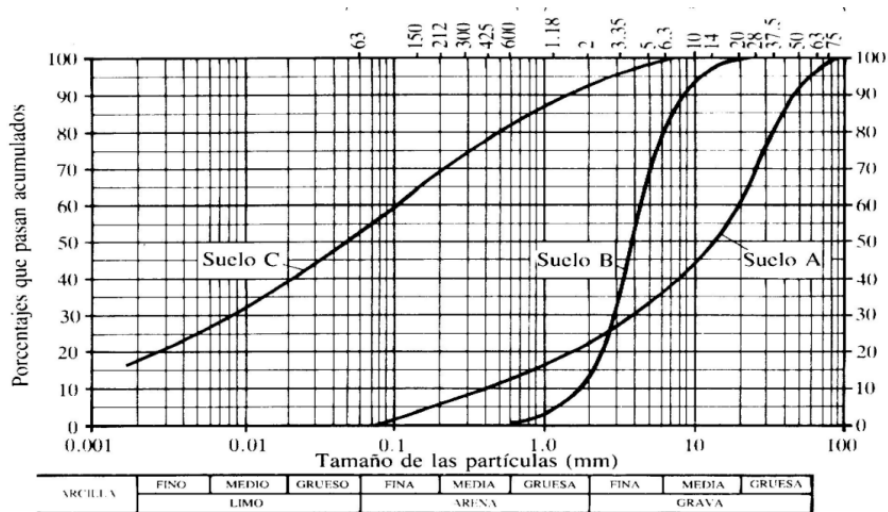


Ilustración 13 Curva Granulométrica
Fuente: Duque G. y Escobar C..

2.1.2. Plasticidad.

La plasticidad se ha definido como la capacidad de un material para cambiar su forma sin presentar roturas a la hora de ser sometido a la acción de una fuerza externa, pero conservando su deformación luego de retirar la aplicación de la fuerza. En materiales arcillosos el contacto con una cantidad limitada de agua, produce un acercamiento entre las partículas a través de fuerzas cohesivas, permitiendo su facilidad de moldeo si tiene buena plasticidad reteniendo el agua en su estructura laminar y aumentando las distancias entre las capas. Pero materiales con baja plasticidad retienen poca cantidad de agua, lo que evita una expansión en su estructura. (Molina, 2019)

Existen varios factores que afectan esta propiedad, no solo se ve afectada por el tamaño o forma de las partículas, sino también por la composición química, el pH, la capacidad de cambio de catión, entre otros. Por lo que es un parámetro más complejo que el propio tamaño de partícula (Moreno J. y Azcárate J.,2018). Singer indica que la arcilla mejora su plasticidad, cuando aumenta el grado de finura, mientras que la adición de granos gruesos la perjudica.

Generalmente, la plasticidad puede ser cuantificada mediante los límites de Atterberg, en el cual se definen: el límite plástico (LL) que es la humedad por debajo del cual el material deja de ser plástico y se vuelve desmenuzable; y el límite líquido (LP) o humedad por encima de la cual el material no tiene suficiente consistencia para ser moldeable, es decir

actúa como fluido (Gines, Feliu, Garcia, & Saenz, 1997). Con la diferencia de estos dos términos se obtiene el Índice de plasticidad (IP).

Una vez determinado el LL, LP y el índice de plasticidad se puede obtener un punto representativo de la plasticidad mediante el uso del gráfico de Casa Grande, el cual relaciona el límite líquido con el índice de plasticidad.

2.1.3. Contracción

Siempre que una pieza cerámica se seca y se quema disminuye su tamaño; por lo tanto, es importante determinar esta medida y se determina como porcentaje de contracción lineal tanto en el secado como en la quema.

Contracción al Secado

El secado de la arcilla se produce a una velocidad controlada por la humedad de la atmósfera que la rodea, cuando la humedad es del 100% nada se seca, pero si la humedad del aire que la rodea es menor del 100%, el agua abandona la arcilla como vapor. Cuando la superficie de la masa de arcilla está ligeramente seca, sale afuera más agua del interior de la masa por atracción capilar. Durante el secado la pieza cerámica pierde agua, debido a esto sufren un encogimiento, dicha agua es perdida gradualmente primero a una velocidad constante para luego hacerlo a una velocidad decreciente. Es una disminución de volumen proporcional al agua eliminada. La contracción al secado está casi siempre relacionada con la estructura del grano de la arcilla y, por ello, también con la plasticidad. Cuando el agua se ha evaporado de entre las partículas y todas las partículas están en contacto, la contracción de secado se termina (Rodhes, 1989).

Contracción a la quema

Debido a los cambios químicos que se producen durante la cochura se registran cambios considerables en el volumen de la arcilla. Estos cambios consisten en expansiones o contracciones rápidas e irregulares que se pueden evidenciar mediante un análisis térmico diferencial, generalmente una pieza de arcilla cocida es más pequeña que una cruda. Debido a esto la porosidad de arcilla disminuye ocasionando que la densidad aumente y se mejore la resistencia mecánica. (Singer, 1971)

2.1.4. Porcentaje de absorción de agua

Es una forma de dimensionar la porosidad en materiales cocidos, se basa en el incremento en la masa de un material seco, cuando es sumergido en agua durante un tiempo determinado; este aumento de masa es debido al agua que se introduce en los poros abiertos del material y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas. Se expresa en porcentaje de la masa seca y es índice de la porosidad del material (Cañas). Esta depende de la consistencia más o menos compacta que adopta el cuerpo cerámico después de la cocción. Las piezas cerámicas que cuecen a baja temperatura tienen un índice más elevado de absorción puesto que son más porosas (Gavilanes & Santellán, 2016).

2.2. Caracterización de ladrillos

Los ladrillos deben ser capaces de soportar las cargas generadas en las estructuras, los efectos de la intemperie, su tamaño debe estar estandarizado, con la finalidad de garantizar una estabilidad dimensional para su uso. Para lo cual se debe regir mediante las normativas vigentes. Para la determinación de parámetros del producto final se utilizó la normativa para mampostería estructural INEN 3049-2 para la identificación de los mismos, y la INEN 3049-5 describe como se debe realizar los ensayos, los cuales son:

- Determinación de masa
- Resistencia a la compresión
- Absorción de agua
- Ensayo de succión
- Medición del tamaño
- Límites de defectos superficiales

2.2.1. Resistencia a la compresión

Es la resistencia al fallo o esfuerzo de compresión máximo bajo la acción de una fuerza de compresión sobre un área que se aplica de forma gradual. Algunos materiales se fracturan a su límite de resistencia de compresión. La resistencia a compresión es la relación directa existente entre la carga aplicada y una determinada área (Parro, 2015).

Los valores de resistencia aumentan conforme aumenta la temperatura de cocción, debido a una mayor vitrificación, disminuye la porosidad lo que aumenta la resistencia mecánica.

Los valores altos señalan una buena calidad de la mampostería, mientras que los valores bajos, nos indica que las unidades producirán una albañilería poco resistente y poco durable (Gallegos y Casabonne, 2005). En la tabla 1 se representa los valores mínimos aceptados por la Norma INEN 3049.

Tabla 1 Propiedades físicas de las unidades de mampostería según la norma INEN 3049-2.

<i>Propiedades físicas de las unidades de mampostería</i>		
Tipo	Resistencia mínima a la compresión Mpa (kgf/cm²)	
	Promedio de 5 unidades	Unidad
PV –Clase I	24,0 (240)	20,0 (200)
PH	5,0 (50)	3,5 (35)
PV –Clase II	18,0 (180)	15,0 (150)
M	20,0 (200)	15,0 (150)
* Para el caso de unidades PV, los valores establecidos corresponden a la Resistencia Neta Mínima a la Compresión.		
* En el caso de las unidades PH y M, los valores corresponden a Resistencia Bruta Mínima a la Compresión.		

Fuente: Norma INEN 3049-2

Clase 1 y clase 2

2.2.2. Absorción de agua

La absorción se utiliza como indicador de la porosidad y de la resistencia mecánica. Frecuentemente, en los productos de barro cocido, se toma como una medida de porosidad, la cual se considera indicativa de posible filtración y tendencia de desintegración. La porosidad se ve afectada por varios factores como el grado de vitrificación, la granulometría y el grado de compactación (Huitz, 2003).

Los valores de absorción de agua y la porosidad aparente no tienen una gran variación son casi constantes en un rango de temperatura entre 800 y 1000 °C. Debido a una baja vitrificación de la arcilla asociada a un tiempo de maduración corto (Roudouane, et al, 2020).

Los valores altos de absorción de agua no son favorables para la fabricación de ladrillos, esto se puede mejorar con la adición de fundentes y con el aumento del tiempo de curado para la formación de la fase vítrea (Roudouane, et al, 2020).

La superficie en exterior de las fachadas de mampostería absorbe agua, la cantidad de agua absorbida va a depender de las propiedades de absorción capilar de los ladrillos y del mortero, hasta que se alcanza la saturación capilar, formando una película de agua sobre la superficie expuesta (Shahreza, Niklewski, y Molnár, 2021).

Según la norma INEN los valores aceptables se presentan en la tabla 2.

Tabla 2 Absorción de Agua según la norma INEN 3049-2

Inmersión en agua fría, 24h, %	
Promedio de 5 unidades	Individual
13	16

Fuente: Norma INEN 3049-2

2.2.3. Succión

Es la capacidad de succión capilar que tiene la superficie de los ladrillos secos, medida durante 1 minuto, esta se expresa en $\text{g/cm}^2/\text{min}$. Tiene que ver con la habilidad para formar una buena unión con el mortero. Si el valor es muy alto se presenta problemas en la construcción del muro, pues el ladrillo absorbe rápidamente el agua del mortero disminuyendo su trabajabilidad y en casos extremos tomando parte del agua necesaria para el fraguado con lo cual se disminuye apreciablemente la resistencia de este.

En la tabla 3 se presenta el tiempo recomendado de humedecimiento previo para la puesta en obra. Para valores superiores a $0,25 \text{ g/cm}^2/\text{min}$, las unidades deben humedecer hasta reducir a menos de $0,10 \text{ g/cm}^2/\text{min}$.

Tabla 3 Tiempo recomendado de humedecimiento según la norma INEN 3049-2

Succión $\text{g/cm}^2/\text{min}$.	Tiempo recomendado de humedecimiento previo
<0,10	Ninguno
<0,15	0,5 a 1 min
0,25	3 a 5 min

Fuente: Norma INEN 3049-2

2.2.4. Dimensionamiento de ladrillo.

2.2.4.1. Paredes y perforaciones

Para el dimensionamiento de ladrillos, se debe tener en cuenta el número de perforaciones que tenga el ladrillo, el espesor de su pared externa y su espesor total, por lo tanto, las paredes como las perforaciones deben cumplir las dimensiones permitidas.

2.2.4.2. Número mínimo de celdas en sentido del ancho del muro

Las unidades de ladrillos cerámicos para mampostería estructural deben tener un número mínimo de celdas o perforaciones, estas se establecen en la tabla 4:

Tabla 4 Número mínimo de celdas o perforaciones según la norma INEN 3049-2

Ancho exterior nominal	Número mínimo de celdas o perforaciones	
	Perforación horizontal	Perforación vertical
Hasta 120 mm	1	1
150 mm	2	1
200 mm	2	2
250 mm	3	2
300 mm	3	3

Fuente: Norma INEN 3049-2

2.2.4.3. Dimensiones de celdas, perforaciones, paredes y tabiques.

Para que un ladrillo de mampostería pueda considerarse de uso estructural los requisitos establecidos en la norma INEN 3049-2 que deben cumplirse son:

- El área total de las celdas y perforaciones de unidad de perforación vertical no debe ser superior al 60% del área bruta.
- Las unidades de perforación horizontal pueden no cumplir un porcentaje máximo de área de celdas y perforaciones, pero debe cumplir con los espesores mínimos de paredes y tabiques, y el número mínimo de celdas en la dirección del ancho del muro.

En la tabla 5 se expresa los valores mínimos en mm a cumplir para unidades de perforación horizontal.

Tabla 5 Valores mínimos para unidades de perforación horizontal

Tipo de unidad	Pared maciza	Pared doble o perforada		Tabiques		
	P	P _e	P _i	t _e	t _i	t _p
Perforación Horizontal (mm)	16	9,5	9,5	16	12,5	12,5

Fuente: Norma INEN 3049-2

2.2.4.4. Tolerancia dimensional

Promedio

Al tomar una muestra de un lote y evaluar sus dimensiones, la diferencia (D) entre la dimensión de fabricación declarada por el fabricante y el promedio de las dimensiones reales resultantes del muestreo, no debe ser superior al valor que se obtenga del cálculo de la siguiente formula:

$$D = \pm 0,25\sqrt{\text{dimensión nominal}}$$

Recorrido

Es la diferencia entre la mayor y menor medida de una dimensión entre piezas individuales. Los valores máximos aceptables se obtienen con las 2 formulas siguientes,

a) para el ancho y altura b) la longitud

$$a) \quad D = 0,3\sqrt{\text{dimensión nominal}}$$

$$b) \quad D = 0,6\sqrt{\text{dimensión nominal}}$$

2.2.4.5. Límites de defectos superficiales.

Todas las unidades deben estar libres de grietas, fisuras, desportillados, cráteres o ampollas, que puedan interferir con la adecuada colocación dentro de la mampostería, pequeñas grietas y fisuras normales e inherentes al proceso de fabricación o desportillados menores debidos a la manipulación, transporte y almacenamiento son permisibles

UCUENCA

Las paredes y tabiques de las unidades estructurales no deben tener grietas que penetren más del 25% de su espesor. La suma de las longitudes de todas las grietas o fisuras que se presenten no debe exceder la longitud horizontal de la unidad.

Un desportillado de unas unidades estructurales no deben exceder el 25% del espesor de la pared y la longitud total de los desportillados contenidos en una cara no deben exceder la mayor dimensión del elemento que los contiene.

CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS USADOS

En este apartado se hallan descritos detalladamente los métodos a utilizar para la caracterización de las diferentes propiedades de las arcillas y pastas. Así como los procedimientos utilizados para la determinación de la resistencia a la compresión y absorción de humedad en ladrillos.

3.1. PARÁMETROS EN LA MATERIA PRIMA

3.1.1. Determinación de la humedad porcentual

Este ensayo se realizó mediante el analizador de humedad *High performance moisture analyzer WBA-110M* con el siguiente procedimiento:

1. Reducir el tamaño de las arcillas con la ayuda de un mortero y pasar por un tamiz No. 20 serie ASTM.
2. Colocar en el analizador de humedad aproximadamente 2 g de arcilla.
3. Secar hasta que el equipo indique peso constante.

Este procedimiento se realizó para los tres tipos de arcillas usadas por la fábrica Sinincay y se lo hizo por duplicado.

3.1.2. Determinación granulométrica

Para la determinación granulométrica se utilizó el método de tamices y se aplicó el método húmedo- seco ya que permite el control rápido de la variación del material, se utilizaron tamices estándar con mallas de diferentes aberturas para separar por tamaños, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas (Valencia & Huertas, 2018).

En este caso se utilizó un juego de tamices de la serie ASTM, el juego de tamices permite un espaciamiento uniforme en la curva granulométrica con la siguiente abertura:

Tamiz No	8	20	40	80	100	200	325
Abertura(mm)	2.36	0.850	0.425	0.180	0.150	0.075	0.045

Se realizó el análisis a cuatro muestras, las tres arcillas que se utilizan y la mezcla que sale de la molienda, debido a que en la fábrica antes de entrar a las laminadoras son previamente mezcladas, siguiendo el procedimiento de Ryan (1987).

Método Húmedo-Seco

1. Tomar 200 g netos de material y colocar en el tamiz más fino de la serie ASTM, que para nuestro caso es el No.325.
2. Lavar suavemente, con las yemas de los dedos, hasta que el agua escurrida salga totalmente limpia.
3. Secar completamente el material retenido.
4. Dejar enfriar y pesar.
5. Colocar el material retenido en la parte superior de los tamices.
6. Tamizar por un tiempo de 15 minutos.
7. Dejar reposar 2 minutos y pesar el material retenido en cada tamiz.
8. Registrar los datos obtenidos y realizar los cálculos respectivos.

3.1.3. Determinación del pH

Cuando se determina el pH de las arcillas debe dedicarse una atención considerable a la preparación de las muestras ya que el pH de la arcilla varía con la relación arcilla/agua y con la magnitud del tiempo que la arcilla ha permanecido en contacto con el agua junto con la velocidad de agitación de la mezcla es importante su determinación ya que el pH influye en el intercambio catiónico y si esta propiedad aumenta las arcillas mejoran la capacidad de atraer cationes que pueden estar presentes en el suelo como el sodio y al combinarse con otros elementos que se pueden encontrar en el agua como cloro se puede tener presencia de electrolitos como el cloruro de sodio afectando a una de las propiedades

más influyentes que es la plasticidad (Gori, 1994). Para determinar el pH se usó el procedimiento recomendado por Singer:

1. Determinar la humedad de cada una de las muestras de arcilla para poder determinar el peso neto.
2. Moler la arcilla con la ayuda de un mortero y pasar por un tamiz No. 20 de la serie ASTM.
3. Tomar 20 g netos de material y colocar sobre la placa de vidrio.
4. Añadir agua destilada de poco a poco, mezclar constantemente con la espátula.
5. Agregar agua destilada, hasta que la muestra casi no pueda permanecer sobre la placa de vidrio.
6. Transferir completamente la muestra a un vaso de precipitación de 100 ml y agregar agua destilada hasta completar 50 ml.
7. Agitar y medir inmediatamente el pH utilizando el potenciómetro.

3.1.4. Determinación plasticidad.

Existen algunos métodos para la determinación de la plasticidad uno de ellos es el método de Atterberg que mide el contenido en humedad al cual una masa presenta un esfuerzo crítico de fluencia o consistencia, determinados; asociando elevados contenidos en humedad con altas plasticidades estas relaciones se pueden establecer debido a que la plasticidad de una pasta o arcilla es normalmente, más elevada cuanto mayor es la superficie específica de las partículas y, por lo tanto mayor su capacidad para rodearse de agua. El método de Atterberg determina el intervalo de humedades en el que una masa arcillosa es moldeable. Para ellos se define un índice de plasticidad como la diferencia de humedades entre el límite líquido y el límite plástico. Ambas humedades se expresan en porcentaje en peso respecto al sólido seco (Singer, 1971). Estos límites se determinaron por el método de Atterberg con el ensayo Casagrande y siguiendo la norma ASTM D4318-05.

3.1.4.1. Limite Líquido

1. Pesar alrededor de 150 g de la muestra previamente tamizada en malla No 40 y colocarla en una cápsula de porcelana.
2. Añadir agua destilada, usando una espátula hasta obtener una masa compacta.
3. Colocar una porción de la muestra preparada en la cuchara y alisar con la espátula.
4. Con la herramienta acanaladora hacer un corte en sentido vertical de forma que la masa quede separada en dos partes.
5. Golpear la cuchara contra su base hasta que la masa dividida se vuelva a unir de 10 a 13mm.
6. Anotar el número de golpes y tomar alrededor de 6g de masa de la cuchara y colocarlo en un porta muestras para enseguida determinar su humedad ya sea en la estufa o en el analizador de humedad hasta obtener un peso constante.
7. Realizar 3 determinaciones: una entre 25 y 35 golpes, otra entre 20 y 30 golpes y la última en 15 a 25 golpes. Esto se consigue variando la cantidad de agua en cada prueba. Se debe realizar por triplicado cada una de las determinaciones y no puede variar en ± 1 golpe para que se acepte este punto, entre cada punto debe existir mínimo 5 golpes de diferencia además no puede tomarse el valor de 25 golpes.

3.1.4.2. Limite Plástico

1. Pesar alrededor de 100 g de la muestra previamente tamizada por el tamiz malla No. 40 de la serie ASTM.
2. Añadir agua destilada, usando una espátula mezclar completamente, hasta obtener una masa homogénea.
3. Tomar de 1,5 a 3 g de la masa y sobre una placa de vidrio formar una cinta de aproximadamente 3 mm de diámetro, haciéndola perder humedad con la mano

hasta el momento que aparezcan unas trizaduras a lo largo de la cinta, esto debe hacerse como máximo en 3 minutos, si no aparecen estas trizaduras debe tomarse otra muestra y formar otra cinta partiendo de una mezcla con menos humedad.

3.1.4.3. Índice de plasticidad.

Se calcula con la siguiente expresión:

$$L_P = W_L - W_P$$

3.1.5. Determinación de contracción al secado

1. Moler las muestras y pasar a través de un tamiz malla No. 20, adicionar agua hasta obtener una masa consistente que pueda ser moldeada.
2. Colocar un molde de yeso para formar placas de 10 cm de largo por 5 cm de ancho y 1 cm de espesor, eliminar el exceso de pasta usando un hilo Nylon humedecido.
3. Realizar una marca de 5 cm en la placa en forma de cruz con ayuda de un calibrador, etiquetar adecuadamente cada placa y dejar secar hasta que se desprenda del molde fácilmente.
4. Secar las placas durante 72 horas al aire libre y durante 24 horas en la estufa a una temperatura de 110 °C.
5. Medir con el calibrador nuevamente las distancias entre las marcas
6. Calcular el porcentaje de contracción utilizando la siguiente expresión.

$$\%C_s = \frac{L_o - L_s}{L_o} * 100$$

Dónde:

$\%C_s$ = Porcentaje de contracción al secado

L_o = Longitud inicial de la marca (cm)

L_s = Longitud final de las marcas luego del secado (cm)

3.1.6. Determinación de contracción a la quema y contracción total

1. Las placas que se secaron y de las que se midió la contracción al secado, se colocaron en el horno y se procedió a quemarlas. Esta determinación se realizó de dos formas, con la mitad de las muestras se realizó la cocción por medio de un ciclo de quema establecido en la fábrica y, para la mitad restante se quemó en el horno del laboratorio. Se planificó realizar un ciclo de quema de 700 °C ya que es la temperatura mínima que se trabaja en la fábrica para poder trabajar en condiciones críticas durante 3 horas y posteriormente un enfriamiento hasta llegar a la temperatura ambiente. El ciclo de quema se muestra en la tabla 6.

Tabla 6 Ciclo de quema para cocción en el laboratorio de cerámicas

Temperatura	Tiempo
T ambiente-570	90 min
570 °C - 600° C	15 min
600 °C – 700 °C	30 min
Mantener a 700 °C	1 hora

2. Luego de la quema y el enfriamiento, se mide nuevamente la longitud de las marcas y se determina el porcentaje de contracción a la quema.

$$\%C_Q = \frac{L_s - L_q}{L_s} * 100$$

Dónde:

$\%C_Q$ = Porcentaje de contracción al quemado

L_q = Longitud de la marca tras el quemado (cm)

L_s = Longitud final de las marcas luego del secado(cm)

$$\%C_Q = \frac{L_o - L_q}{L_o} * 100$$

Dónde:

$\%C_T$ = Porcentaje de contracción al secado

L_o = Longitud inicial de la marca(cm)

L_q = Longitud final de las marcas luego de la quema (cm)

3.2. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS EN EL PRODUCTO

FINAL

Estos ensayos se realizaron siguiendo los métodos establecidos en la norma INEN 3049-5.

El muestreo de los ladrillos debe ser seleccionado de manera aleatoria, tomando 15 ladrillos de un lote de producción de tal forma que sean representativos, para posteriormente realizar los siguientes ensayos.

De acuerdo a la normativa para todos los ensayos los especímenes deben tener una preparación previa especialmente el secado.

3.2.1. Preparación, preservación de muestras ensayos y piezas ensayadas

1. Secar los especímenes a una temperatura de 110 °C y 115 °C en un horno durante 24h, hasta que en dos pesajes sucesivos a intervalos de 2 h no presente una pérdida de masa con una variación mayor al 0,2% del último peso del espécimen determinado.
2. Enfriar las muestras a una temperatura de 24°C ± 8 °C, con una humedad relativa de 30% a 70%, durante 4 horas hasta que la temperatura de la superficie este ±5°C de la temperatura de la cámara.

3.2.2. Resistencia a la compresión

Los especímenes para ladrillos perforados se someten a carga en la misma posición que ocuparía en la mampostería. En caso de restricción, reducir mediante cortes con disco o sierra, manteniendo la totalidad de la altura y ancho original ±2,5 mm, para unidades de perforación vertical se debe garantizar que la pieza resultante del corte debe estar

contenida dentro de una o más celdas, es decir no debe tener salientes, ni reentrantes en el espécimen de ensayo

Se ensayan los especímenes en una posición tal que la carga sea aplicada en la dirección en que van a estar puesto en servicio. Centrar bajo el soporte esférico superior con una tolerancia de 1,6mm.

Posteriormente se debe realizar el cálculo de la compresión de cada espécimen como se indica a continuación:

$$C = \frac{W}{A}$$

Donde:

C es la resistencia del espécimen a la compresión, en $Pax10^4$ (o kgf/cm^2)

W es la carga máxima (de rotura) en N (o kgf), o la indicada por la máquina de ensayo

A es el promedio de las áreas brutas de las superficies superior o inferior del espécimen, en cm^2

3.2.3. Absorción de agua

Ensayo de inmersión de agua durante 24h

1. Secar los especímenes entre 110 °C y 115 °C, en un horno durante 24 h, hasta que en dos pesajes sucesivos a intervalos de 2 h no se presente una variación de pérdida de masa superior al 0,2%
2. Enfriar en una cámara con una temperatura de 24 °C $\pm 8^\circ\text{C}$ con una humedad relativa de 30% y 70%. Se almacenan las unidades separadas entre sí, durante un periodo mínimo de 4 h hasta que la temperatura de la superficie este a $\pm 5^\circ\text{C}$ de la temperatura de la cámara de enfriamiento. O un método alternativo es enfriar mediante un ventilador eléctrico durante un periodo no inferior a 2 h.

3. Sumergir los especímenes, sin inmersión parcial preliminar, en agua limpia entre 15,5 °C y 30 °C durante 24 h, se retira el espécimen, se seca el exceso de agua con un paño húmedo y se pesa, el pesaje de cada espécimen se debe hacer antes de que pasen 300 s de retirado del agua.
4. Calcular el porcentaje de absorción de agua mediante la siguiente expresión.

$$\%absorción = \frac{100 * (W_{ss} - W_s)}{W_s}$$

Donde:

W_s = masa seca del espécimen antes de la inmersión (g)

W_{ss} = masa sumergida en agua del espécimen luego de la inmersión (g)

3.2.4. Ensayo de succión

Este ensayo se realizó a 5 especímenes completos.

1. Secar y enfriar los especímenes de ensayo
2. Se determinó el área de la superficie que está en contacto con el agua.
3. Se niveló la bandeja con ayuda de un nivel de burbuja, y posteriormente se agregó agua 3,25 mm ± 0,25 mm más la profundidad de las estrías.
4. Pesar e identificar los 5 especímenes.
5. Colocar el espécimen a ensayar durante 60s ± 1 s, se coloca nuevamente agua si es necesario. Al finalizar se seca la superficie con un paño húmedo y se determina la masa.

La diferencia de gramos entre la masa inicial y final, es la cantidad en gramos del agua absorbida por el espécimen durante los 60 s. La succión se calcula como:

$$S = G/A/min$$

Donde

S es la succión en g/cm²/min.

G es la diferencia en gramos entre los pesos inicial y final por cada min, en g/min.

A es el área neta en contacto con el agua en cm.²

3.2.5. Dimensionamiento de ladrillos

1. Se midió diez unidades completas y secas. Estas unidades deben ser representativas del lote de producción.
2. Las mediciones de la longitud se realizaron por las cuatro caras desde el punto central de los bordes. Se registran con aproximación de 1 mm y se registra el promedio con 0,5 mm.
3. De manera análoga se procedió con la medición de la altura y el ancho y su posterior promedio con una aproximación de 0,5 mm.
4. Se realizó la medición de los espesores de los tabiques.
5. Con ayuda de una escuadra se midió la desviación de las caras con respecto a la longitud del ladrillo.

3.3. Análisis Estadístico cartas de control de medidas individuales

Para medir el comportamiento del proceso se definió utilizar las cartas de control individuales ya que el proceso de producción es lento y continuo; se realizó la toma de datos de contracción al secado, a la quema y de la absorción de los ladrillos, esto debido a que son parámetros cuya medición es fácil y significativa además que influyen en la calidad del ladrillo y como complemento de las cartas individuales se realizó las cartas de rangos móviles para los tres parámetros con el fin de detectar cambios en la dispersión del proceso. Se realizó un muestreo aleatorio de 70 ladrillos durante 35 días.

Para las cartas de control de contracción al secado y contracción a la quema realizó cuatro mediciones diarias para cada parámetro. Para lo cual seleccionó un ladrillo en la mañana y un ladrillo en la tarde y se midió la longitud del ladrillo en las dos caras donde se asienta el ladrillo, obteniendo dos mediciones por cada ladrillo; Estas mediciones se realizó al

UCUENCA

inicio y final de cada etapa de secado y de la etapa de quema, posteriormente con estos datos se calcula el porcentaje de contracción en cada etapa. Para la carta de control de absorción de agua se realizó dos mediciones cada día, una en la mañana y otra en la tarde; estos datos se pueden observar en el Anexo 4. También se recolecto datos de los factores que influyen en cada una de las etapas del proceso con el fin de diagnosticar las posibles causas atribuibles, esta información se encuentra en el Anexo 5. Los gráficos de control se realizaron con la ayuda de Excel.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Determinación de la Humedad de las arcillas

Tabla 7 Humedad de las arcillas

Tabla de resultados de Humedad	
Tipo de arcilla	Humedad, %
Arcilla 1	11,60
Arcilla 2	14,39
Arcilla 3	17,84
Pasta(Extrusión)	15,60

Fuente: Autores

Como se puede apreciar en los resultados mostrados en la tabla 7, el porcentaje de humedad de arcilla 3 es 17,84%, la cual es superior del porcentaje adecuado para la extrusión de la pasta, siendo esta de 15,6% aproximadamente. Pero también se debe tener en cuenta que su alto porcentaje de humedad puede ser por la composición química de la arcilla.

Debido a que la arcilla 3 representa una relación de volumen de 5/8 con respecto a la dosificación total de arcillas, se debe tener en cuenta la cantidad de agua que aporta, y en tal caso sí se excedería se debería dejar secar a la arcilla. Debido a que un porcentaje de humedad superior tiende a un mayor tiempo de secado y un porcentaje de contracción mayor. Por consiguiente, los ladrillos deben eliminar una mayor cantidad de agua y esto provoca una mayor porosidad del ladrillo, lo que influye directamente en las propiedades de absorción de agua y resistencia de compresión.

Determinación de la Granulometría.

La tabla 11 describe el valor retenido en cada tamiz en gramos y el porcentaje acumulado que pasa por los tamices, la gráfica 1 representa la distribución granulométrica obtenida

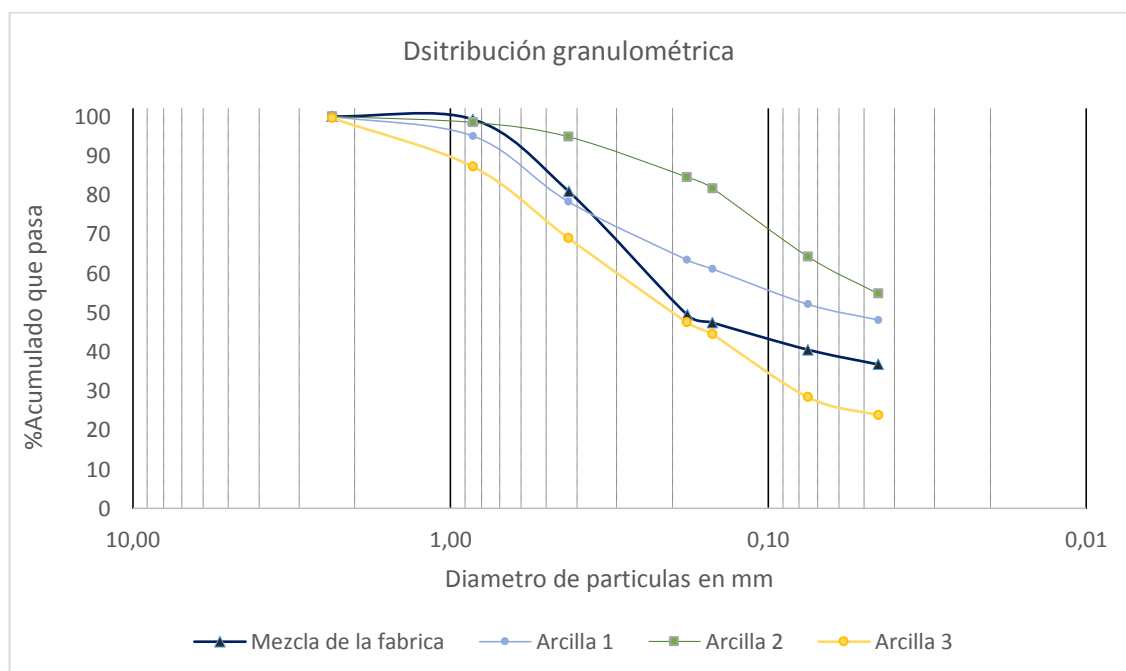
de las tres materias primas, y su mezcla según la dosificación de la fábrica. La recolección de datos y gráficos complementarios de cada una de las arcillas para la realización de esta tabla y gráfica se presenta en el anexo 1.

Tabla 8 Análisis Granulométrico de la Arcilla 1, Arcilla 2, Arcilla 3 y de la mezcla de la fábrica

Tabla de resultados de análisis granulométrico								
# tamiz	Arcilla 1		Arcilla 2		Arcilla 3		Mezcla de la fábrica	
	Retenido, %	Acumulado que pasa, %	Retenido, %	Acumulado que pasa, %	Retenido, %	Acumulado que pasa, %	Retenido, %	Acumulado que pasa, %
8	0,00	100,00	0,00	100,00	0,42	99,58	0,00	100,00
20	5,02	94,98	1,55	98,45	12,43	87,15	0,77	99,24
40	16,76	78,22	3,66	94,79	18,24	68,91	18,35	80,89
80	14,81	63,41	10,29	84,50	21,45	47,46	31,46	49,43
100	2,30	61,11	2,84	81,66	3,04	44,42	2,01	47,42
200	9,02	52,09	17,43	64,23	16,02	28,40	6,91	40,51
325	4,02	48,07	9,48	54,75	4,61	23,79	3,77	36,74
Fondo	48,07		54,75		23,79		36,74	

Nota: Para los ensayos la masa inicial es de 200 g netos.

Fuente: Autores



Grafica 1 Distribución granulométrica de las materias primas y la mezcla de la fábrica

Los resultados del análisis granulométrico, indican que en general la “arcilla 1” y la “arcilla 2” son muestras arcillosas con gran contenido de finos, dando 52,09% y 64,23%, respectivamente de porcentaje acumulado que pasa por la malla 200. Mientras que la “arcilla 3” tiene un contenido de finos de tan solo 28,40%, por lo cual se podría considerar que está compuesta principalmente por limo. La mezcla de estas tres materias primas con la dosificación de la fábrica nos da un contenido de finos de un 40,51%. En la gráfica 1 se observa una correcta distribución de partículas, lo que favorece a la compacidad de la pasta, debido a la coexistencia de partículas grandes y pequeñas.

Los valores obtenidos concuerdan con la influencia de la granulometría en la plasticidad, donde la “arcilla 2” teniendo el valor más alto de contenido de finos, también nos da un índice de plasticidad más alto, siendo de 11,4. Por otro lado, la “arcilla 3” con el menor porcentaje de finos, se obtiene un IP de 8,48.

Determinación de pH en arcillas

Tabla 9 Resultados de pH

Tabla de resultados de pH	
Tipo de arcilla	pH
Arcilla 1	7,14
Arcilla 2	7,05
Arcilla 3	6,49

Fuente: Autores

Los datos de la tabla de pH indican que la arcilla 1 y 2, tienden a ser neutras. Mientras que la arcilla 3 tiene una leve tendencia a ser ácida dando un valor de pH menor a 7, lo cual es propio de las arcillas rojas. Las tres arcillas se encuentran en un rango adecuado de pH para que presenten mayor plasticidad.

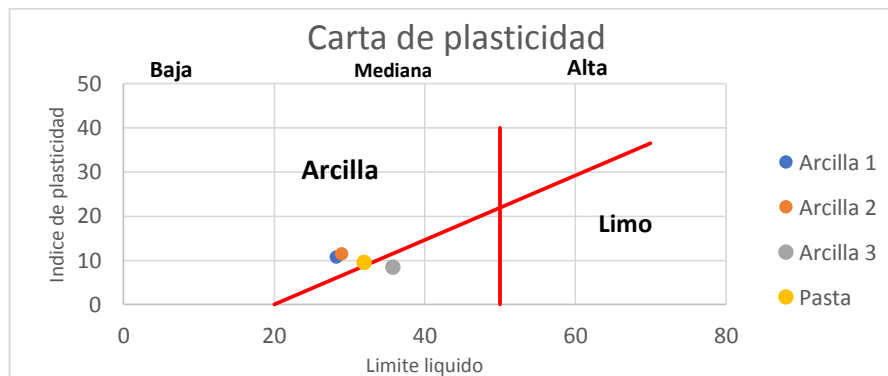
Plasticidad

De los ensayos realizados de plasticidad, mediante el método Atterberg, los resultados obtenidos de los límites que se evidencian en la tabla 9 con su respectiva clasificación obtenida mediante el diagrama de la carta de plasticidad, como se observa en la gráfica 2. Sus respectivos datos y cálculos se presentan en el anexo 1.

Tabla 10 Plasticidad

Tabla de resultados de plasticidad			
Muestra	Limite liquido	Limite plástico	Índice de plasticidad
Arcilla 1	28,29	17,58	10,71
Arcilla 2	28,99	17,59	11,40
Arcilla 3	35,80	27,32	8,48
Pasta	31,99	22,441	9,55

Fuente: Autores



Grafica 2 Carta de Plasticidad de la Arcilla 1, Arcilla 2, Arcilla 3 y de la Pasta

Los resultados del ensayo de plasticidad indican que las arcilla 1, 2 y la mezcla de la pasta son arcillas de mediana plasticidad, mientras que la arcilla 3 se clasifica predominantemente como un limo de mediana plasticidad.

También se observa que la arcilla 3 necesita una mayor cantidad de agua para pasar al estado plástico en comparación con la arcilla 1 y 2, y que su índice de plasticidad es menor debido a que presenta menor cantidad de finos de acuerdo a la tabla 11.

Determinación de la Contracción

Tabla 11 Contracción al secado y a la quema de las placas iniciales y de fábrica

<i>Porcentaje de contracción de secado ensayos iniciales</i>				
Tamiz	Arcilla 1	Arcilla 2	Arcilla 3	Fábrica
Malla 20	5,73	5,36	5,57	5,03
Malla 40	5,03	5,36	5,64	7,17
<i>Porcentaje de contracción a la quema datos iniciales</i>				
Tamiz	Arcilla 1	Arcilla 2	Arcilla 3	Fábrica
Malla 20	0,95	2,36	0,45	1,16
Malla 40	0,64	2,73	0,60	0,97
<i>Porcentaje de contracción total datos iniciales</i>				
Tamiz	Arcilla 1	Arcilla 2	Arcilla 3	Fábrica
Malla 20	6,68	7,72	6,02	6,19
Malla 40	5,67	8,10	6,24	8,14

Fuente: Autores

En la tabla 14 se evidencia que la arcilla 2 tiene un elevado porcentaje de contracción a la quema, aumentando así su porcentaje de contracción total, siendo el mayor valor obtenido de las tres materias primas, esto debido a que posee menor tamaño de partículas que dan lugar a una mayor reacción durante la cocción, con un mayor grado de vitrificación.

Las muestras de la pasta con la dosificación de la fábrica, presenta un porcentaje de contracción total de 8,14% para la malla 40 y un valor menor de contracción para la malla 20 siendo de 6,19%. Esto debido a una mayor cantidad de agua eliminada en la superficie específica de las arcillas. Según Zea las arcillas para la elaboración de ladrillos deben tener una contracción menor a 7% y para Ahmad et al, debe ser menor a 8%. Por lo tanto, se debe trabajar con una granulometría más gruesa (mayor a 40 mallas ASTM) en la mezcla de la pasta, en especial se debe cuidar esto en la arcilla 2.

Porcentaje de absorción de agua y espacio poroso de las arcillas.

En las placas realizadas para la determinación de contracción, posterior a la cocción, se realizó lo ensayos de porcentaje de absorción de agua y espacio poroso en las materias primas. Los valores obtenidos se visualizan en la tabla 12. Mientras que en la tabla 13 se observa los valores de las placas elaboradas con la mezcla de la fábrica.

Tabla 12 Absorción de agua, espacio poroso, densidad aparente y densidad a granel de la arcilla

	% Absorción de agua		Espacio Poroso	
	Malla 20	Malla 40	Malla 20	Malla 40
arcilla 1	19,21	19,33	31,48	31,67
arcilla 2	17,16	17,20	22,44	22,52
arcilla 3	28,78	28,12	35,63	35,26

Fuente: Autores

Tabla 13 Absorción de agua, espacio poroso, densidad aparente y densidad a granel de la mezcla de la fabrica

	%Absorción de gua	Espacio Poroso
Mezcla de la fabrica	19,11	30,21

Fuente: Autores

Una vez realizados los ensayos se observa que no existe una gran variación de estas dos propiedades, en relación al tamiz utilizado. La “arcilla 3” tiene un porcentaje de absorción más alta, esto debido a que tiene una mayor porosidad haciendo que no tenga una resistencia mecánica alta.

CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO TERMINADO

Para la caracterización del producto terminado se tomaron 15 ladrillos al azar de diferentes lotes (5 ladrillos para cada ensayo) los cuales deben estar previamente preparados especialmente se someten a un proceso de secado durante 24h en la estufa de acuerdo a lo establecido en la norma INEN 3049.

Determinación de absorción de agua, succión y resistencia

El análisis de estas propiedades son los de mayor relevancia, debido a que estos parámetros son los regulados por la norma NTE INEN 3049, en la cual indica los valores a cumplir. En la tabla 17 se presentan los resultados obtenidos de cada parámetro, los datos y cálculos registrados para su obtención se presenta en el anexo 3.

Tabla 14 Resultados de la Absorción, succión y resistencia del producto final

Muestra	Resistencia kg/cm ²	% Absorción	Succión (g/cm ² /min)
1	7,3	16,5	0,097
2	7,1	15,5	0,091
3	6,8	16,1	0,102
4	6,4	17,1	0,104
5	5,8	17,1	0,099
Promedio	6,68	16,4	0,099

Fuente: Autores

La calidad de los ladrillos depende de cada uno de las propiedades, por lo tanto, se analizó cada propiedad por separado.

- La resistencia a la compresión da un promedio de 6,68 kgf/cm², no cumpliendo así la especificación de la INEN 3049-2, la cual indica que el promedio mínimo de cinco ensayos realizados debe ser 50 kgf/cm². Además, ninguna de las muestras tampoco alcanzo el valor mínimo por unidad de 35 kg/cm².
- En tanto, el porcentaje de absorción promedio obtenido fue de 16,4%, el cual nos indica que no cumple con la normativa siendo 13% el valor máximo aceptable, e igualmente sucede con los valores individuales teniendo como valor máximo de 16%, donde únicamente la muestra 2 cumple este requisito. Con los valores tan dispersos obtenidos, se ve la importancia de realizar un control estadístico de este parámetro.

- Al obtenerse un valor promedio del ensayo de succión menor a $0,1 \text{ g/cm}^2/\text{min}$, los elementos cerámicos se podrán utilizar en mampostería sin previo humedecimiento antes de su colocación

Dimensionamiento de ladrillos

Los ladrillos que se utilizan para este estudio, son de perforación horizontal con un ancho exterior nominal de 90 mm, tienen 2 perforaciones, según la INEN 3049-2 para las características de estos ladrillos deben tener mínimo una perforación, cumpliendo así con este requisito.

- El porcentaje de área total mínima no es necesaria para ladrillos de perforación horizontal.
- Ninguno de los ladrillos del muestreo presenta defectos superficiales, ni fisuras.
- Los valores obtenidos de la ortogonalidad en cada ángulo de la cara superior del ladrillo no son superiores al 1% de la longitud nominal del ladrillo, la cual sería 2,85 mm, dichos valores cumplen este parámetro. Los datos se presentan en la tabla 15.

Tabla 15 Datos para ortogonalidad

Tabla de recolección de datos para la determinación de la ortogonalidad				
Valor máximo Aceptado				=1%*L =0,01*285 mm =2,85 mm
Nº muestra	Angulo A (mm)	Angulo B(mm)	Angulo C (mm)	Angulo D (mm)
1	1	1	0	1
2	0	0	1	2
3	0	0	1	1
4	0	1	0	1
5	0	1	0	1
6	2	0	0	1
7	1	1	0	2
8	0	1	0	0
9	1	1	2	1
10	0	0	1	1

Fuente: NTE INEN 3049-2

Tabla 16 Descripción del ladrillo.

Parámetro	Descripción
Perforación	Horizontal
Ancho Exterior Nominal	90 mm
Perforaciones Horizontales	2
Porcentaje de área total	No necesario
Defectos Superficiales	No presenta
Ortogonalidad	Cumple

Fuente: NTE INEN 3049-2

En la tabla 20 se presenta los cálculos y resultados obtenidos bajo las especificaciones permitidas para el dimensionamiento de ladrillos en la norma NTE INEN 3049-2. Mientras que en la tabla 21 están los valores obtenidos del dimensionamiento de los 10 ladrillos.

Tabla 17 Límites calculados bajo especificaciones de la NTE INEN 3049 parte 2 (mampostería estructural)

Dimensiones del ladrillo			
	Ancho	Altura	Longitud
Cálculo (D)	$\pm 0,25\sqrt{90}$	$\pm 0,25\sqrt{130}$	$\pm 0,25\sqrt{285}$
Resultado	± 2	± 3	± 4
Valores de rango aceptables (mm)	88 a 92	127 a 133	281 a 289
Recorrido de las dimensiones			
Cálculo (R)	$\pm 0,3\sqrt{90}$	$\pm 0,3\sqrt{130}$	$\pm 0,6\sqrt{285}$
Recorrido (mm)	3	3	10
Dimensiones de paredes y tabiques para ladrillos (PH)			
	Pared (P)	Tabique externo (te)	Tabique interno (ti)
Valor mínimo (mm)	16	16	12,5

Fuente: Autores

Tabla 18 Resultados del Dimensionamiento del producto final

Tabla de resultados del dimensionamiento de ladrillos						
Muestra	Dimensiones			Paredes y tabiques		
	Ancho	Altura	Longitud	P(mm)	te(mm)	ti(mm)
1	90,17	130,38	287,25	9,00	10,00	9,00
2	90,13	129,49	285,75	9,50	10,50	9,00
3	90,70	130,33	288,00	9,75	9,50	10,00
4	90,03	129,86	287,25	9,50	12,00	9,00
5	90,33	130,63	286,25	9,00	10,00	9,00
6	91,07	130,60	283,50	10,00	10,75	10,00
7	90,33	129,58	285,25	9,75	10,00	9,50
8	91,38	130,29	282,25	10,00	9,75	9,50
9	90,56	130,71	286,75	9,25	10,00	9,00
10	90,53	132,44	285,50	9,00	10,25	9,00
Promedio (mm)	90,52	130,43	285,78	9,48	10,28	9,30
Recorrido (mm)	1,35	2,95	5,75			

Fuente: Autores

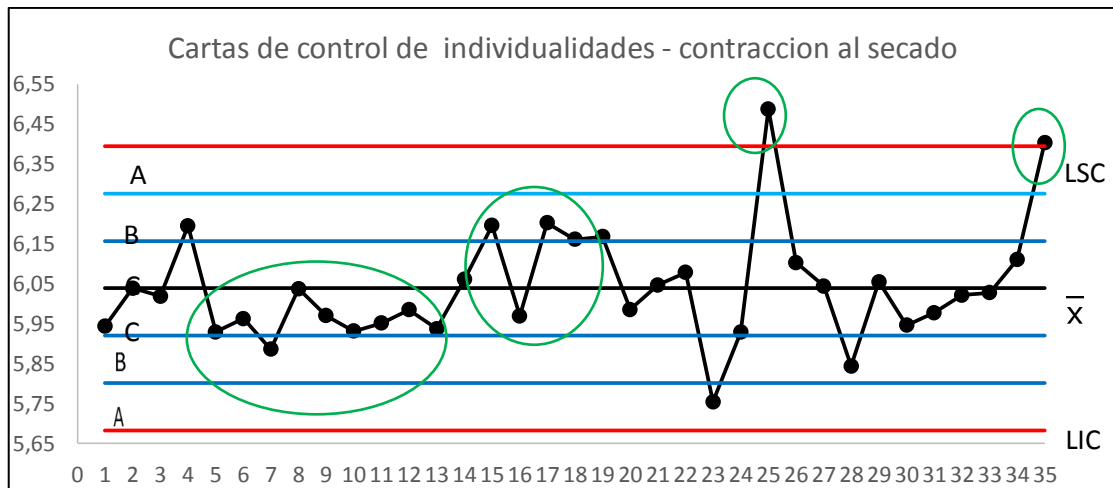
Comparando los resultados de ambas tablas nos indica que los valores obtenidos están dentro del rango permitido, de igual manera cumple las especificaciones del recorrido. Pero se debe tener en cuenta que el recorrido de la altura del ladrillo obtenido es 2,95 mm, estando muy cercano al recorrido máximo permitido de 3 mm.

De la tabla 21 el promedio de las paredes de los ladrillos es de 9,48 mm, el promedio en tabiques externos de 10,28 mm y la media tabiques internos de 9,30 mm están en por debajo de las especificaciones permitidos en la norma, siendo los valores aceptados de 16 mm, 16 mm y 12,5 mm respectivamente. El espesor inferior de las paredes con respecto a las especificaciones de la norma influye en el incumplimiento de la propiedad de resistencia de compresión.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO GRÁFICOS DE CONTROL

A continuación, presentamos las cartas de control individuales de contracción al secado, a la quema y absorción de ladrillos los datos con que fueron elaboradas las cartas de control se encuentran en el Anexo 4.

Carta individual de contracción al secado



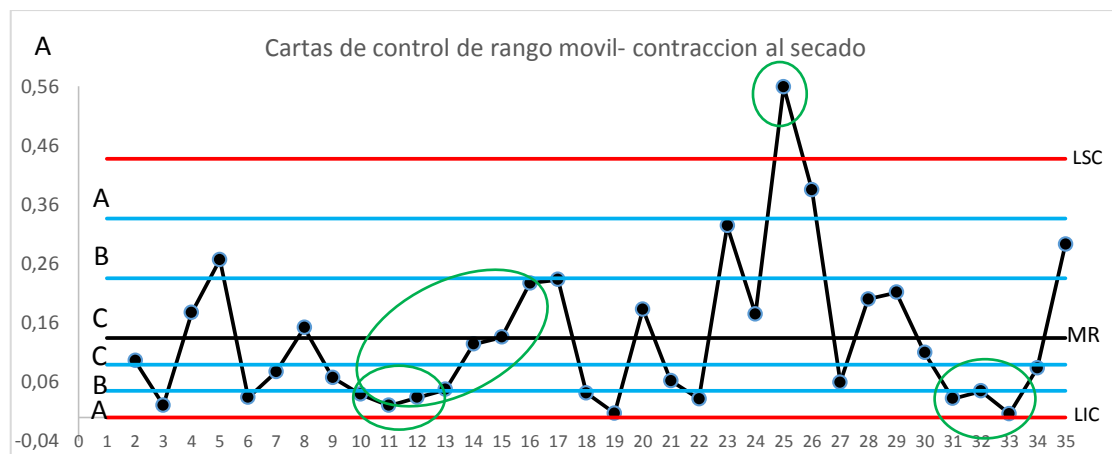
En la siguiente carta de control se puede observar que existen 4 patrones no aleatorios, el primero se presenta desde el punto 5 al punto 13 en donde ocurre un desplazamiento del proceso, debido a la tendencia larga de nueve puntos consecutivos de un solo lado de la línea central, del punto 15 al 19 existe un cambio rápido de proceso es decir cuatro de cinco puntos a más de una sigma de la línea central, el punto 25 está fuera del límite superior de control al igual que el punto 35 este patrón nos indica que existe desplazamientos o cambios en el nivel del proceso ya que en los puntos anteriores a estos puntos se puede observar que el proceso esta correcto pero al llegar a los puntos 24 y 34 el proceso cambia de nivel repentinamente.

El patrón de más de ocho puntos a un lado de la línea central en los puntos 5 al 13, se produce en los días 1 al 9 de octubre. Una contracción menor a la media es debido a un mayor tiempo de molienda, lo que generó una mayor cantidad de finos y a la vez produjo un mayor empaquetamiento de las arcillas dificultando el proceso de secado.

La prueba de cuatro de cinco puntos a más de 1 desviación se presenta en los puntos 15 al 19. En estos días existió un mayor porcentaje de humedad durante el moldeo de los ladrillos, lo que provocó una mayor contracción en el secado de la pieza.

En los puntos 25 y 35 que se encuentran fuera de los límites, no se registró una causa asignable.

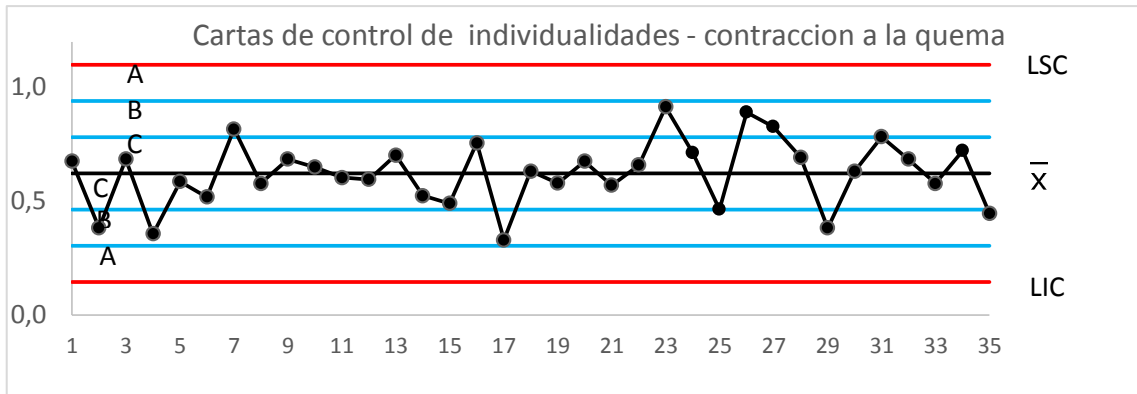
Carta de rangos móviles de contracción al secado



En esta carta de rangos móviles se puede observar 4 patrones no aleatorios, el primero desde el punto 11 al 17 se puede ver siete puntos que van en ascenso teniendo una tendencia en el nivel del proceso. Desde el punto 10 al 13 y desde el 31 al 33 existe dos de tres puntos a más de dos desviaciones estándar. Otro de los patrones no aleatorios se encontró en el punto 25 el cual un punto se sale del límite superior de control.

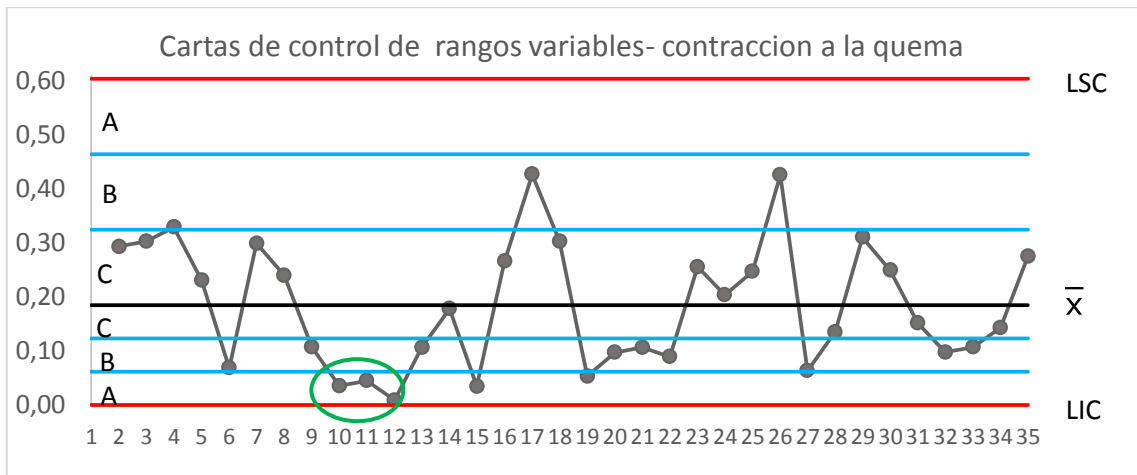
De acuerdo a los datos de los factores que afectan esta etapa del proceso no se encontró ninguna causa asignable para justificar estos patrones aleatorios.

Carta individual de contracción a la quema



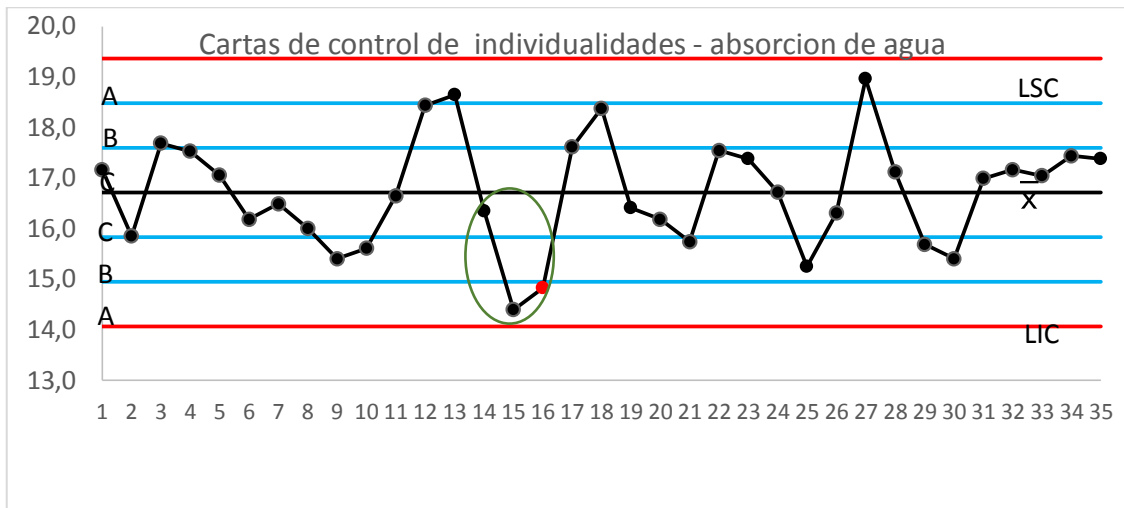
En esta carta no existe ningún patrón no aleatorio sin embargo se puede observar una falta de variabilidad ya que los datos están agrupados cerca del límite central.

Carta de control de rangos móviles de contracción a la quema



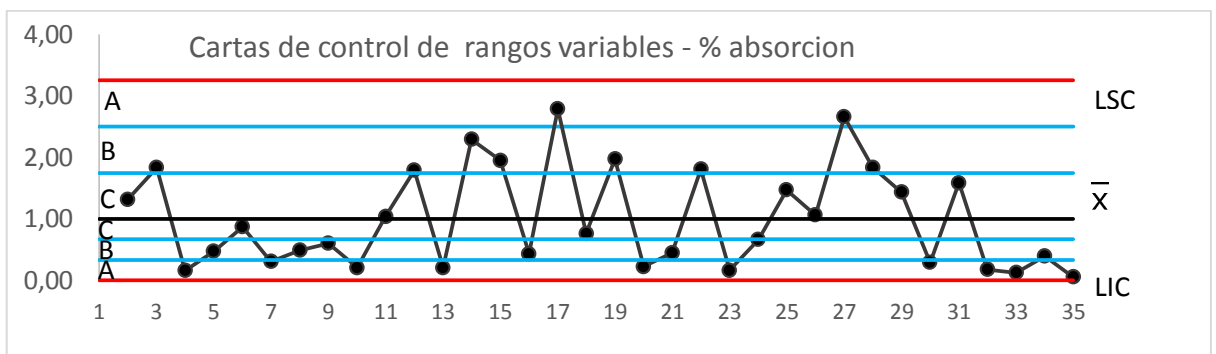
En esta carta se puede observar que existe un patrón no aleatorio. Desde el punto 10 al 12 existe el incumplimiento de la prueba 2 que nos indica dos de tres puntos consecutivos se encuentran a más de dos sigmas. Esto debido a que el tiempo de molienda en cada laminadora en estos tres días se mantuvo estable entre 10 s a 11 s, en comparación con días anteriores y posteriores de molienda, donde el tiempo de molienda esta entre 10s a 13s. Este mismo patrón no aleatorio se le puede observar en la carta de rangos móviles para el secado para los mismos días. El bajo rango de variabilidad en realidad sería muy bueno que se mantenga durante todo el proceso

Carta de control individual de % Absorción de agua



Esta carta de control presenta 1 patrón no aleatorio en el punto 14, 15 y 16 donde están 2 de 3 puntos a más de dos desviaciones estándar. Esto sucedió en los días del 10 al 12 de octubre, en esas fechas el tiempo de molienda fue mayor generando una mayor cantidad de finos, mejorando el empaquetamiento de las arcillas, provocando que exista una menor cantidad de poros en los ladrillos y por lo tanto absorberá menor cantidad de agua. Cabe recalcar que un día antes y dos días después se mantiene un tiempo de molienda mayor a 10 segundos, pero estos días los ladrillos de los ensayos presentaron fisuras, estas fisuras que generan una mayor absorción de agua.

Carta de control de rangos móviles de % absorción de agua



La carta de rangos móviles no presenta ningún patrón no aleatorio.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Con la ejecución de este trabajo de titulación, se lograron establecer los parámetros básicos de control en el proceso de producción de ladrillos estructurales de perforación horizontal en la fábrica de ladrillos "Sinincay".

Después de analizar las materias primas utilizadas en la fábrica "Sinincay", se concluye que las arcillas 1 y 2 presentan mejores características para la elaboración de ladrillos presentando un mayor contenido de finos, un alto índice de plasticidad y una humedad adecuada; mientras que la arcilla 3 presenta un valor de humedad de 17,84 % el cual es superior al rango necesario en proceso de extrusión (15,5% – 15,7%), además presenta una cantidad menor de finos y porosidad excesiva afectado el proceso de producción de ladrillos.

Se determinó que el proceso de contracción al secado y a la quema se ve afectado por las propiedades de la materia prima, además se establece que la medición mediante volumen para la dosificación de la pasta, no es la indicada, debido a que su volumen varía en función del porcentaje de humedad de las materias primas, por tanto esta medida afecta humedad de la pasta que debe estar entre 15,5% – 15,7%, también se debe realizar el control del tiempo y la abertura de las laminadoras durante la molienda; y finalmente el registro y control del tiempo y temperatura de los procesos de secado y cocción.

El control del producto final se realizó de acuerdo a las especificaciones de la norma INEN 3049-2 para lo cual se debe cumplir con las siguientes requisitos: la absorción de agua promedio de 16%, una resistencia a la compresión mínima de 50 kgf/cm² y un dimensionamiento de la mampostería de ancho, altura y longitud respectivamente entre los rangos de 88-92 mm, 127 – 133 mm y 281 a 289 mm, con unas dimensiones mínimas de pared y tabique externo de 16 mm y un tabique interno de 12,5 mm.

Finalmente, después de terminar la caracterización de las materias primas, del proceso, y en el producto final. Se realizó un estudio de ajuste de proceso, para esto se establecieron cartas de control individuales de los parámetros claves del proceso, que se puedan llevar a cabo su medición con las herramientas disponibles en la fábrica, entre los que tenemos; la contracción al secado, contracción a la quema y porcentaje de absorción de agua. Con

el resultado de este estudio de ajuste del proceso, se identificó que existen 2 indicadores claves a los que también se tiene que realizar un seguimiento, estos son el porcentaje de humedad durante la extrusión y la granulometría de las arcillas, ya que estos dos parámetros fueron las causas asignables con mayor frecuencia de los patrones no aleatorios que se identificaron en las cartas de control de individuales y de la carta de rango de variables.

Recomendaciones

- Se debe realizar una nueva dosificación de la pasta teniendo en cuenta las características de las materias primas ya que los límites de especificación según la norma están muy distantes a ser los idóneos.
- El porcentaje de humedad de la pasta durante la extrusión, debe mantenerse entre los rangos de 15.5-15.7.
- La temperatura de cocción tendrá que ser mayor a 800 °C y un tiempo de superior a las 3 horas para mejorar la vitrificación del ladrillo y de esta manera disminuir el porcentaje de absorción de agua y aumentar la resistencia a la compresión.
- Otro factor clave a controlar es el tamaño de grano, el cual debe tener un porcentaje de retenido en la en la malla ASTM # 40 entre a 16-18% y un porcentaje menor al 5% en la malla ASTM #20.
- También se debería adecuar un lugar para la correcta recepción de las materias primas, para que cada una esté en un lugar específico, debidamente señalado y que no se encuentre a la intemperie, ya que debido a las condiciones climáticas las propiedades de los ladrillos varían y esto provocara que no se controle adecuadamente el proceso, y genere productos con alta variación.
- Se recomienda iniciar un nuevo control estadístico mediante las cartas de control, pero esta vez con los 5 parámetros claves identificados; granulometría de las arcillas, porcentaje de contracción al secado, porcentaje de contracción a la quema, porcentaje de humedad durante la extrusión y el porcentaje de absorción, pero esta vez se tiene que aumentar la cantidad de muestras diarias según la cantidad de ladrillos procesados para esas fechas y el tiempo de recolección de datos mínimo debe ser de 3 meses, ya que esto permitirá tener un mayor entendimiento de las condiciones en las que está funcionando la fábrica y obtener

de esta manera una mayor cantidad de datos para un posterior análisis para mejorar el proceso.

Bibliografía

Addeh, A., Khormali, A., & Amiri, G. (2018,). Control chart pattern recognition using RBF neural network with new training algorithm and practical features. ScienceDirect.<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0019057818301666>

Alvarez Guerrero, s. (2014). *Optimización del proceso de mezcla de arcilla para la producción de ladrillos, en el sector artesanal*. Dspace.ucuenca.edu.ec. Retrieved 9 June 2021, from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/5529/1/TESIS.pdf>.

Abbas, S., Saleem, M. A., Kazmi, S. M. S., & Munir, M. J. (2017). Production of sustainable clay bricks using waste fly ash: Mechanical and durability properties. *Journal of Building Engineering*, 14, 7-14. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.09.008>

Afanador N, Ibarra A.; López C. (2013). "Caracterización de arcillas empleadas en pasta cerámica para la elaboración de ladrillos en la zona de Ocaña, Norte de Santander," *Épsilon: Iss. 20* , Article 6. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1178&context=ep>

Barranzuela Lescano, J. (2014). Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la región piura. Retrieved 4 May 2021, from https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1755/ICI_199.pdf

Bautista, C. (2021). Obtenido de dspace.uazuay.edu.ec:
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10544/1/16133.pdf>

Bueno, C., & Sanchez, J. (Octubre de 2008). *bibdigital.epn.edu.ec*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1351/1/CD-2655.pdf>

Buchner, T., Kiefer, T., Gaggl, W., Zelaya-Lainez, L., & Füssl, J. (2021). Automated morphometrical characterization of material phases of fired clay bricks based on Scanning Electron Microscopy, Energy Dispersive X-ray Spectroscopy and Powder X-ray Diffraction. *Construction and Building Materials*, 288, 122909. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122909>

Cañas, J. (s.f.). Obtenido de

<https://www.uca.edu.sv/mecanicaestructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/Densidad%20gravedad%20especifica%20y%20absorcion%20de%20agregados%20finos.pdf>

Callister, W. (1985). *Ciencia e Ingeniería de los materiales*. Reverte. Obtenido de

<https://edupointvirtual.com/wp-content/uploads/2020/03/Ciencia-e-Ingenieria-de-Los-Materiales-Callister.pdf>

Cún Sánchez, M., (2010). Mejoramiento y tecnificación de extrusora para la elaboración de ladrillos artesanales. Escuela Superior Politécnica del Litoral. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/18982/1/D-90348.pdf>.

Chamorro, H., Krenkel, T., & Pereira, E. (1968). Boletines. 7(4). Obtenido de <http://boletines.secv.es/upload/196807393.pdf>

Dao, K., Ouedraogo, M., Millogo, Y., Aubert, J.-E., & Gomina, M. (2018). Thermal, hydric and mechanical behaviours of adobes stabilized with cement. *Construction and Building Materials*, 158, 84-96. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.001>

Dormohamadi, M., & Rahimnia, R. (2020). Combined effect of compaction and clay content on the mechanical properties of adobe brick. *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00402. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00402>

Fernandez.J. (Septiembre de 1962). *Boletines.secv.es*. Obtenido de <http://boletines.secv.es/upload/20120210113459.196201449.pdf>

Gavilanes, C., & Santellán, G. (2016). *Normalización y estandarización de la fabricación de ladrillos y tejas del cantón chambo*. Universidad Nacional de Chimborazo. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1378/1/UNACH-EC-ING-CIVIL-2016-0013.pdf>

Gallegos, H. y Casabonne, C. (2005) Albañilería estructural. Tercera edición. Lima, Perú. Fondo Editorial PUCP

Gines, F., Feliu, C., Garcia, T., & Saenz, V. (Enero de 1997). Analisis de los metodos tradicionales utilizados para evaluar la plasticidad. *Boletin de la sociedad española de Ceramica y vidrio*, 36(1), 25-30. Obtenido de <http://boletines.secv.es/upload/199736025.pdf>

Gömze, L. A., Gömze, L. N., Kurovics, E., & Benedek, G. (2019). Conventional Brick Clays as a Challenge of Materials Science – New Explanation of Drying Sensitivities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 613, 012005. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/613/1/012005>

Guggenheim, S. Y Martin, R. (1995). Definition of Clay and Clay Mineral: Joint Report of the AIPEA Nomenclature and CMS Nomenclature Committees ». *Clays Clay Miner.*, 43, 255-256

Gutierrez, H., & Salazar, R. (2009). *Control de Calidad y Seis Sigma* (Vol. II). Mexico: McGraw-Hill. Obtenido de <https://www.uv.mx/personal/ermeneses/files/2018/05/6-control-estadistico-de-la-calidad-y-seis-sigma-gutierrez-2da.pdf>

Heniegal, A. M., Ramadan, M. A., Naguib, A., & Agwa, I. S. (2020). Study on properties of clay brick incorporating sludge of water treatment plant and agriculture waste. *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00397.

Hernández, Carlos, & Da Silva, Filipe. (2016). Aplicación del control estadístico de procesos (CEP) en el control de su calidad. *Tecnología Química*, 36(1), 104-116. Recuperado en 01 de junio de 2021, de

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852016000100010&lng=es&tlng=es

Huitz, M. (Noviembre de 2003). *biblioteca.usa.edu.gt*. Obtenido de

http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2317_C.pdf

Ibrahim, J. E. F. M., Tihtih, M., & Gömze, L. A. (2021). Environmentally-friendly ceramic bricks made from zeolite-poor rock and sawdust. *Construction and Building Materials*, 297, 123715. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123715>

Molina C. (2019). *Caracterización de las materias primas utilizadas en los soportes de baldosas cerámicas en la empresa Euroceramica*. Universidad de Antioquia. Departamento de ingeniería metalúrgica y de materiales de Medellín. Obtenido de: http://tesis.udea.edu.co/bitstream/10495/16088/1/MolinaCamilo_2020_CaracterizacionMateriasPrimas.pdf

Montgomery, D.C.(2014). Control estadístico de la calidad. Tercera edición. Limusa/wiley

NTE INEN 3049-1, *ladrillos cerámicos. Parte 1: términos y definiciones, clasificación y requisitos de las dimensiones modulares.*

NTE INEN 3049-1:2019, ladrillos cerámicos. Parte 2: unidades de mampostería estructural. Requisitos

Nte inen 3049-5, *ladrillos cerámicos. Parte 5: métodos de ensayo.*

Muheise-Araalia, D., & Pavia, S. (2021). Properties of unfired, illitic-clay bricks for sustainable construction. *Construction and Building Materials*, 268, 121118. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121118>

Ordoñez i, m., & Sinchi s, b. (2010). “plan de negocios para talleres de ladrillo artesanal e industrial en la parroquia de Sinincay sector Sigcho.”. Retrieved 5 may 2021, from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/1154/1/tad1007.pdf>

Peihua Qiu (2018) Algunas perspectivas sobre el control de procesos estadísticos no paramétricos, *Journal of Quality Technology*, 50: 1, 49-65, DOI: [10.1080 / 00224065.2018.1404315](https://doi.org/10.1080/00224065.2018.1404315)

C. Navarro-Navarro, A. Gutierrez, E. Sarmiento, A. Troncoso Palacio “Capacidad de Proceso: Una herramienta de decisión Empresarial en el armado de vallas metálicas”, *BILO*, vol. 2, no. 1, 2020. DOI: <http://doi.org/10.17981/bilo.2.1.2020.9>

Pierdant, A., & Rodriguez, J. (Agosto de 2009). *Scielo*. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/polcul/n32/n32a9.pdf>

Quesada E., D., Costa, L. (2016). Use of bottom ash from olive pomace combustion in the production of eco-friendly fired clay bricks. *Waste Management*, 48, 323-333. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.042>

Riaz, M. H., Khitab, A., & Ahmed, S. (2019). Evaluation of sustainable clay bricks incorporating brick kiln dust. *Journal of Building Engineering, Consultada en:* <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85062345591&doi=10.1016%2fj.jobe.2019.02.017&partnerID=40&md5=b9a6d17cbbc ed0c7643125e9b85074ce> DOI: 10.1016/j.jobe.2019.02.017

Rivera, D. (Agosto de 2011). *probayestadistica.cimat.mx*. Obtenido de <https://probayestadistica.cimat.mx/sites/default/files/PDFs/TE446RiveraGarcia.pdf>

Ryan, W. (1987). *Whitewares: production, testing and quality control includes inde.*

(R. Freer, Ed.) *Institute of ceramics text book series* .

Rodríguez, L. & Torrecillas, Ramón. (2011). Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, ISSN 0366-3175, Vol. 41, N°. 5, 2002, pags. 459-470. 41. 10.3989/cyv.2002.v41.i5.665. n el documento actual.

Rodriguez, C. (1 de Mayo de 2013). Obtenido de

<https://www.semanticscholar.org/paper/Estudio-de-propiedades-de-magnesia-sinterizada-de-y-Rodr%C3%ADguez/44780ac00a78a203f1d217fc1fa980c34239a676#related-papers>

Roudouane, H. T., Mbey, J. A., Bayiga, E. C., & Ndjigui, P. D. (2020). Characterization and application tests of kaolinite clays from Aboudeia (southeastern Chad) in fired bricks making. *Scientific African*, 7, e00294. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00294>

Rodhes, D. (1989). *Ceramica.name*. (E. Ceac, Ed.) Obtenido de

http://ceramica.name/vistas/archivos/1.1_Arcilla.pdf

Santos J., Malagón P. y Córdoba E. (2011). Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de barichara, SANTANDER. *DYNA*, 78(167), 50-58. Retrieved April 03, 2022, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532011000300006&lng=en&tlng=es.

Shahreza, S. K., Niklewski, J., & Molnár, M. (2021). Experimental investigation of water absorption and penetration in clay brick masonry under simulated uniform water spray exposure. *Journal of Building Engineering*, 43, 102583. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102583>

Singer, F. (1971). *Ceramica Industrial*. Bilbao: Ediciones Urmo.

Torres, J. (22 de Agosto de 2019). *Dialnet*. doi:doi.org/10.18041/1794-

4953/avances.1.5130

Venegas, A. (2018). *dspace*. Obtenido de

<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/29319/1/MscArqAndr%C3%A9Venegas.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Recolección de datos de parámetros de materia prima

Datos del % humedad (%)

Tipo de arcilla	MEDICIÓN	MEDICIÓN	Promedio
	1	2	
Arcilla 1	11,65	11,55	11,60
Arcilla 2	14,46	14,32	14,39
Arcilla 3	17,84	17,83	17,84

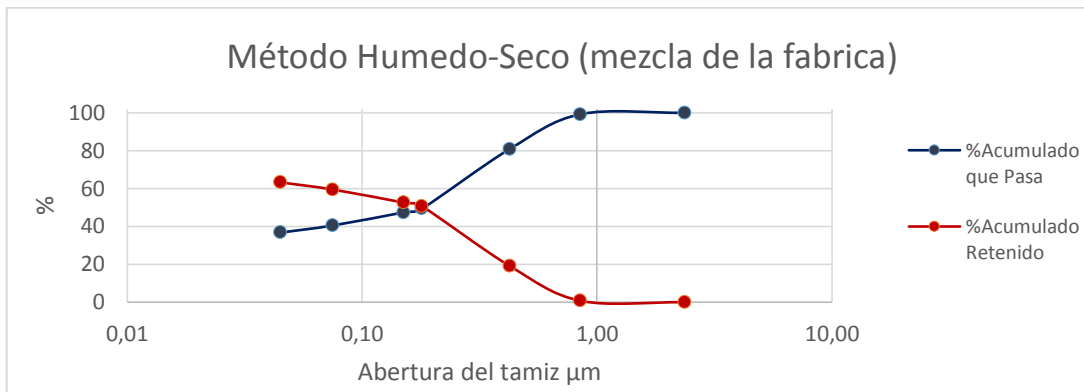
Datos del pH

Tipo de arcilla	MEDICIÓN	MEDICIÓN	Promedio
	1	2	
Arcilla 1	7,13	7,14	7,14
Arcilla 2	7,06	7,04	7,05
Arcilla 3	6,49	6,48	6,49

Análisis granulométrico por el método del tamiz

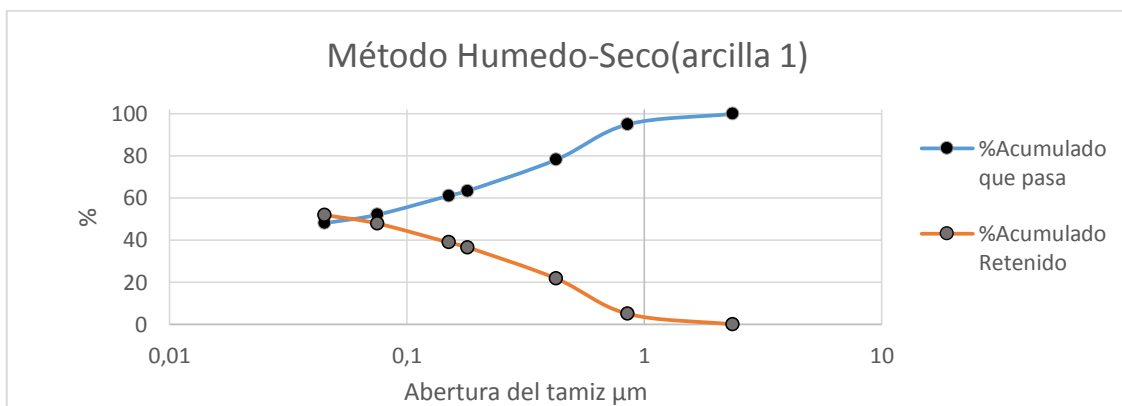
Ensayo N° 1 Mezcla de la fabrica

Masa inicial		206,2 g	Masa Seca		200
# tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	%Retenido parcial	Acumulado	%Acumulado que pasa
8	2,36	0,00	0,00	0,00	100,00
20	0,85	1,53	0,77	0,77	99,24
40	0,43	36,69	18,35	19,11	80,89
80	0,18	62,92	31,46	50,57	49,43
100	0,15	4,02	2,01	52,58	47,42
200	0,08	13,82	6,91	59,49	40,51
325	0,05	7,54	3,77	63,26	36,74
Fondo		73,48	36,74	100,00	0,00



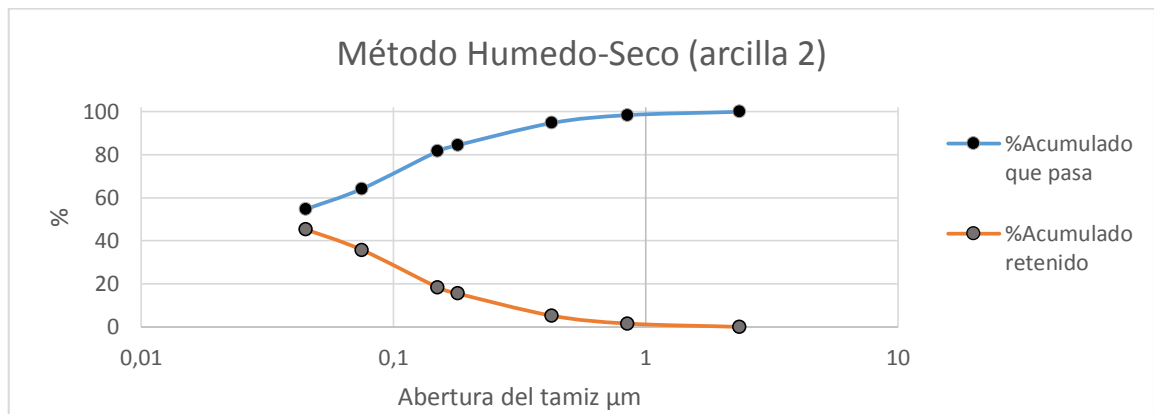
Ensayo N° 2 Arcilla 1

Masa inicial		207,02 g	Masa Seca		200
# tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	%Retenido parcial	%Acumulado Acumulado	%Acumulado que pasa
8	2,36	0	0	0	100
20	0,85	10,04	5,02	5,02	94,98
40	0,425	33,52	16,76	21,78	78,22
80	0,18	29,62	14,81	36,59	63,41
100	0,15	4,6	2,3	38,89	61,11
200	0,075	18,04	9,02	47,91	52,09
325	0,045	8,04	4,02	51,93	48,07
Fondo		96,14	48,07	100	0



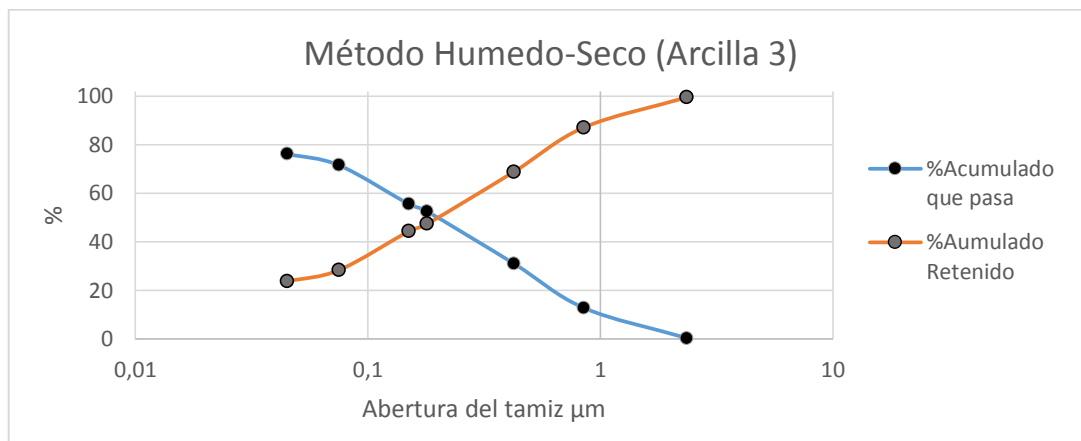
Ensayo N° 3 Arcilla 2

Masa inicial		209,52 g		Masa Seca		200	
# tamiz	Abertura (µm)	Peso retenido (g)	%Retenido		%Acumulado que pasa		
			parcial	Acumulado			
8	2,36	0	0	0	100		
20	0,85	3,1	1,55	1,55	98,45		
40	0,425	7,32	3,66	5,21	94,79		
80	0,18	20,58	10,29	15,50	84,50		
100	0,15	5,68	2,84	18,34	81,66		
200	0,075	34,86	17,43	35,77	64,23		
325	0,045	18,96	9,48	45,25	54,75		
Fondo		109,5	54,75	100,00	0,00		



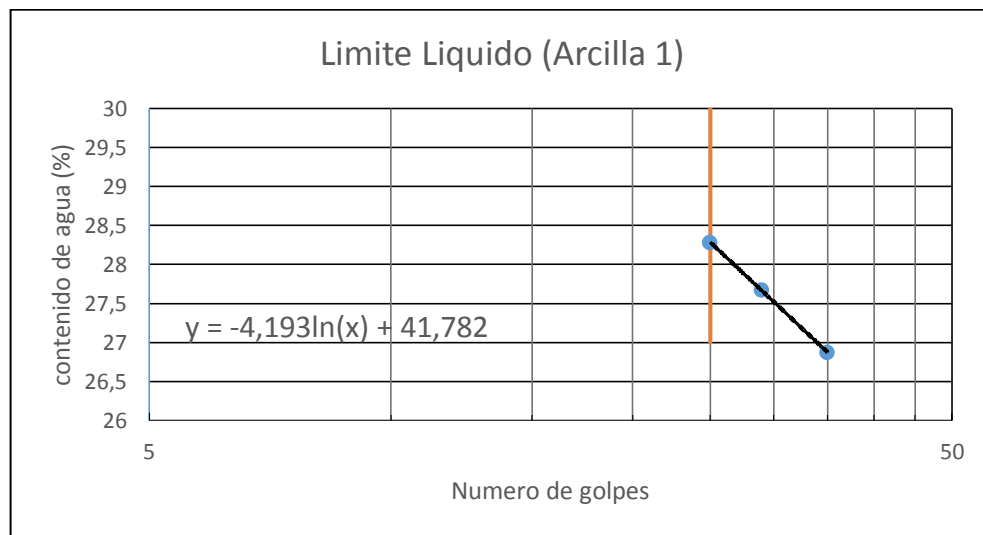
Ensayo N° 4 Arcilla 3

Masa inicial		208,66 g		Masa Seca		200	
# tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	%Retenido		%Acumulado que pasa		
			parcial	Acumulado			
8	2,36	0,84	0,42	0,42	99,67		
20	0,85	24,86	12,43	12,85	87,15		
40	0,425	36,48	18,24	31,09	68,91		
80	0,18	42,9	21,45	52,54	47,46		
100	0,15	6,08	3,04	55,58	44,42		
200	0,075	32,04	16,02	71,60	28,40		
325	0,045	9,22	4,61	76,21	23,79		
Fondo		47,58	23,79	100,00	0,00		

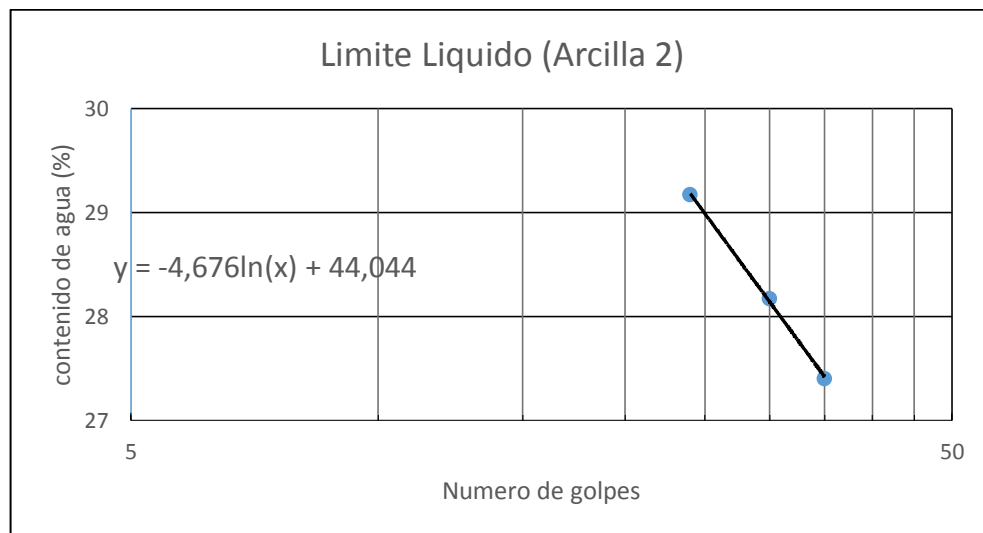


Datos de y cálculos de plasticidad

Datos y cálculos de la obtención de limite liquido				
	Toma de datos	Numero de golpes	Porcentaje de Humedad (%)	Limite líquido (%)
Arcilla 1	Golpe 1	35	26,87	28,29
	Golpe 2	29	27,67	
	Golpe 3	25	28,28	
Arcilla 2	Golpe 1	35	27,40	28,99
	Golpe 2	30	28,17	
	Golpe 3	24	29,17	
Arcilla 3	Golpe 1	34	33,41	35,80
	Golpe 2	30	34,20	
	Golpe 3	24	36,18	
Pasta de la fabrica	Golpe 1	31	29,93	31,99
	Golpe 2	24	32,40	
	Golpe 3	18	35,10	

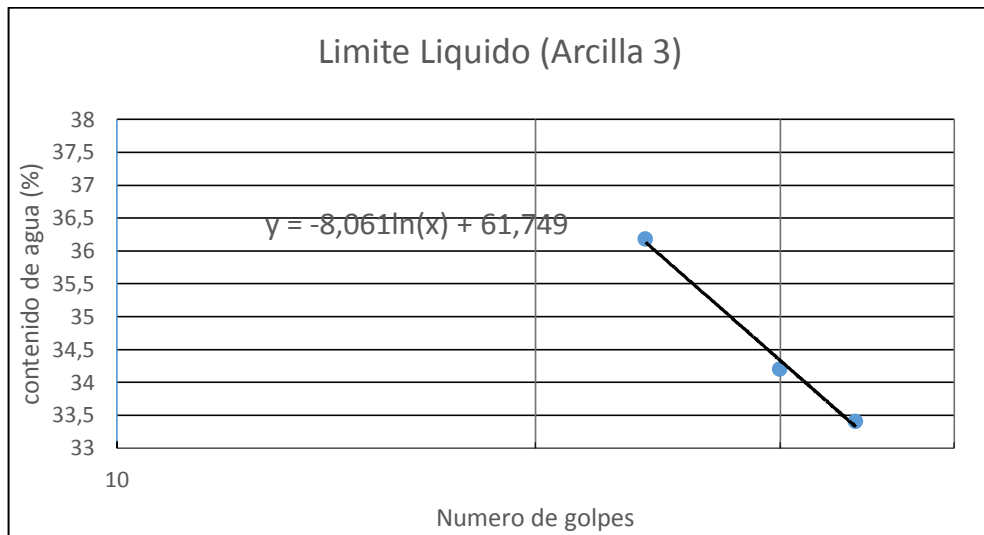


Fuente: Autores



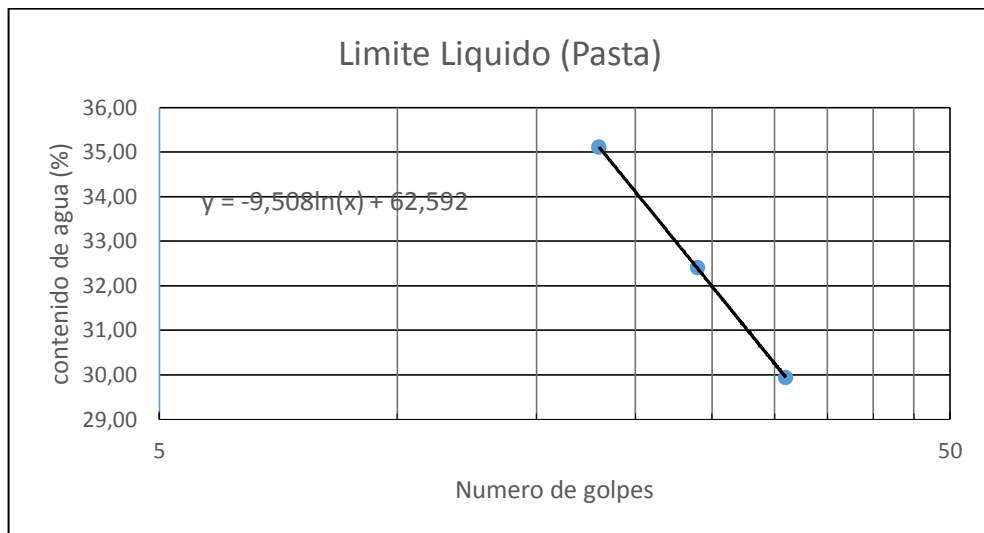
Grafica 3 Limite Líquido Arcilla 2

Fuente: Autores



Grafica 4. Limite Líquido de la Arcilla 3

Fuente: Autores



Grafica 5 Limite Líquido de la pasta

Datos del Índice de plasticidad			
Muestra	Limite líquido	Limite plástico	Índice de plasticidad
Arcilla 1	28,62	17,58	11,04
Arcilla 2	33,47	26,46	7,01
Arcilla 3	26,57	20,76	5,81
Pasta	34,69	20,84	13,85

Anexo 2. Recolección de datos de parámetros de contracción al secado y a la quema

Datos de los ensayos iniciales de contracción de secado											
ARCILLA 1 (Malla 40)			ARCILLA 2(Malla 40)			ARCILLA 3(Malla 40)			Mezcla de la fábrica (Malla 40)		
Dato 1	Dato 2	Promedio	Dato 1	Dato 2	Prom.	Dato 1	Dato 2	Prom.	Dato 1	Dato 2	Prom.
4,74	4,75	4,75	4,63	4,64	4,64	4,77	4,73	4,75	4,66	4,61	4,64
4,75	4,75	4,75	4,75	4,72	4,74	4,71	4,71	4,71	4,62	4,61	4,62
4,78	4,72	4,75	4,83	4,82	4,83	4,70	4,69	4,69	4,68	4,67	4,68
		4,75			4,73			4,72			4,64
ARCILLA 1 (Malla 20)			ARCILLA 2(Malla 20)			ARCILLA 3(Malla 20)			Mezcla de la fábrica (Malla 20)		
Dato 1	Dato 2	Prom.	Dato 1	Dato 2	Prom.	Dato 1	Dato 2	Prom.	Dato 1	Dato 2	Prom.
4,71	4,71	4,71	4,63	4,64	4,64	4,75	4,73	4,74	4,77	4,75	4,76
4,72	4,72	4,72	4,75	4,72	4,74	4,69	4,69	4,69	4,77	4,72	4,75
4,68	4,74	4,71	4,83	4,82	4,83	4,75	4,73	4,74	4,74	4,74	4,74
		4,71			4,73			4,72			4,75

Datos de las mediciones iniciales de contracción a la quema											
ARCILLA 1 (Malla 40)			ARCILLA 2 (Malla 40)			ARCILLA 3 (Malla 40)			Mezcla de la fábrica (Malla 40)		
Dato 1	Dato 2	Prom.	Dato 1	Dato 2	Prom.	Dato 1	Dato 2	Prom.	Dato 1	Dato 2	Prom.
4,71	4,71	4,71	4,60	4,60	4,60	4,74	4,67	4,70	4,58	4,55	4,57
4,73	4,72	4,72	4,61	4,60	4,61	4,69	4,68	4,69	4,53	4,55	4,54
4,73	4,72	4,72	-	-	-	4,68	4,68	4,68	4,68	4,69	4,69
		4,72			4,60			4,69			4,60
ARCILLA 1 (Malla 20)			ARCILLA 2 (Malla 20)			ARCILLA 3 (Malla 20)			Mezcla de la fábrica (Malla 20)		
Dato 1	Dato 2	Prom.	Dato 1	Dato 2	Prom.	Dato 1	Dato 2	Prom.	Dato 1	Dato 2	Promedio
4,67	4,67	4,67	4,61	4,61	4,61	4,70	4,70	4,70	4,71	4,71	4,71
4,69	4,69	4,69	4,62	4,62	4,62	-	-	-	4,69	4,71	4,70
4,65	4,65	4,65	4,63	4,63	4,63	4,71	4,70	4,71	4,65	4,69	4,67
		4,67			4,62			4,70			4,69

Anexo 3. Recolección de datos de parámetros del producto final

Tabla de datos y cálculo del %absorción		
Masa seca (g)	Masa saturada (g)	% Absorción
2161,75	2518,35	16,5
2154,05	2487,45	15,5
2237,88	2597,63	16,1
2272,07	2659,53	17,1
2235,8	2619,18	17,1
Promedio		16,4

Tabla de datos y cálculos de succión				
Masa inicial (g)	Masa final (g)	Agua Absorbida (g)	Área(cm ²)	S(g/cm ² /min)
2315,81	2340,83	25,02	257,556	0,097
2261,95	2285,72	23,77	261,216	0,091
2223,16	2249,47	26,31	258,621	0,102
2311,61	2338,42	26,81	258,579	0,104
2225,34	2250,93	25,59	258,174	0,099
Promedio				0,099

Tabla de recolección de datos para el dimensionamiento de ladrillos															
N°	Alto					Ancho					Longitud				
	Dato 1	Dato 2	Dato 3	Dato 4	Prom.	Dato 1	Dato 2	Dato 3	Dato 4	prom	Dato 1	Dato 2	Dato 3	Dato 4	Prom.
1	90	90	90,5	90	90,17	129	130	131	131,5	130,38	287	288	287	287	287,25
2	90,6	90	90,4	90	90,13	129	129,95	130	129	129,49	286	287	285	285	285,75
3	90,6	90,6	91	90,5	90,70	130	130	130,5	130,8	130,33	289	288	288	287	288,00
4	90,5	89,9	90,2	90	90,03	129,82	130,2	129,5	129,9	129,86	283	296	285	285	287,25
5	90,5	90	91	90	90,33	131,5	130	130,5	130,5	130,63	285	287	287	286	286,25
6	90,5	91,4	90,6	91,2	91,07	131	130	131	130,4	130,60	283	283	283	285	283,50
7	89,9	90	90,4	90,6	90,33	130,2	130,1	129	129	129,58	284	286	286	285	285,25
8	91,6	92,6	89,95	91,6	91,38	131,2	130,1	129,93	129,93	130,29	281	282	283	283	282,25
9	90,65	90,68	90	91	90,56	131,39	130,42	129,75	131,27	130,71	285	289	287	286	286,75
10	90	90,6	90,4	90,6	90,53	130,2	130,25	130,2	139,12	132,44	284	285	285	288	285,50

Tabla de recolección de datos de tabiques y paredes de ladrillos							
N°	P (Paredes)			te (Tabiques externos)			ti (t. interno)
	MEDICIÓN 1	MEDICIÓN 2	Prom	MEDICIÓN 1	MEDICIÓN 2	Prom	MEDICIÓN 1
1	9	9	9	10	10	10	9
2	10	9	9,5	10	11	10,5	9
3	10	9,5	9,75	9	10	9,5	10
4	10	9	9,5	12	10,5	12	9
5	9	9	9	10	10	10	9
6	10	10	10	10,5	11	10,75	10
7	9,5	10	9,75	9,5	10,5	10	9,5
8	10	10	10	9,5	10	9,75	9,5
9	9	9,5	9,25	10	10	10	9
10	9	9	9	10	10,5	10,25	9

Tabla de recolección de datos para la determinación de la ortogonalidad				
N° muestra	Angulo A	Angulo B	Angulo C	Angulo D
1	1	1	0	1
2	0	0	1	2
3	0	0	1	1
4	0	1	0	1
5	0	1	0	1
6	2	0	0	1
7	1	1	0	2
8	0	1	0	0
9	1	1	2	1
10	0	0	1	1

Anexo 4. Recolección de datos y cálculos para las cartas de control de contracción de secado, a la quema y absorción de agua.

Contracción de secado

		Medida Inicial				Medida Final			
		Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4
27/09/2021	1	29,93	29,93	29,88	29,89	28,1	28,1	28,17	28,15
28/09/2021	2	29,88	29,89	29,9	29,89	28,13	28,11	28,1	28
29/09/2021	3	29,91	29,92	29,9	29,9	28,11	28,1	28,1	28,12
30/09/2021	4	29,9	29,89	29,91	29,9	27,98	28,11	27,99	28,11
01/10/2021	5	29,87	29,88	29,92	29,91	28,15	28,12	28,11	28,11
02/10/2021	6	29,89	29,89	29,9	29,9	28,11	28,13	28,1	28,11
03/10/2021	7	29,9	29,91	29,9	29,9	28,14	28,12	28,17	28,14
04/10/2021	8	29,89	29,89	29,9	29,91	27,99	28,12	28,1	28,16
05/10/2021	9	29,91	29,9	29,9	29,89	28,11	28,11	28,13	28,11
06/10/2021	10	29,87	29,88	29,9	29,89	28,11	28,1	28,13	28,11
07/10/2021	11	29,91	29,9	29,91	29,92	28,14	28,13	28,1	28,15
08/10/2021	12	29,91	29,92	29,91	29,9	28,11	28,12	28,14	28,11
09/10/2021	13	29,9	29,89	29,9	29,89	28,11	28,13	28,1	28,14
10/10/2021	14	29,91	29,9	29,9	29,91	28,13	28,12	27,98	28,14
11/10/2021	15	29,89	29,9	29,89	29,91	27,98	28,11	28,11	27,98
12/10/2021	16	29,89	29,9	29,9	29,92	28,11	28,11	28,12	28,13
13/10/2021	17	29,91	29,9	29,92	29,9	28,11	28	28	28,1
14/10/2021	18	29,9	29,91	29,9	29,91	28,12	27,98	28,16	27,99
15/10/2021	19	29,91	29,91	29,91	29,92	28,1	27,95	28,12	28,1
16/10/2021	20	29,9	29,91	29,89	29,93	28,11	28,11	28,1	28,15
17/10/2021	21	29,9	29,89	29,89	29,88	28,1	28,11	27,98	28,14
18/10/2021	22	29,91	29,9	29,91	29,89	28,1	28,13	28,13	27,98
19/10/2021	23	29,9	29,89	29,89	29,89	28,24	28,11	28,24	28,1
20/10/2021	24	29,88	29,9	29,9	29,91	28,17	28,1	28,12	28,11
21/10/2021	25	29,89	29,91	29,91	29,9	27,98	27,94	27,95	27,98
22/10/2021	26	29,91	29,9	29,91	29,89	28,1	28	28,11	28,1
23/10/2021	27	29,9	29,92	29,89	29,91	28,13	27,98	28,14	28,14
24/10/2021	28	29,9	29,9	29,9	29,91	28,14	28,17	28,13	28,18
25/10/2021	29	29,91	29,89	29,89	29,88	28,1	28,12	28	28,11
26/10/2021	30	29,9	29,88	29,91	29,89	28,1	28,12	28,13	28,12
27/10/2021	31	29,91	29,9	29,9	29,91	28,14	28,12	28,11	28,1
28/10/2021	32	29,89	29,9	29,88	29,9	28,14	28,1	28,13	28
29/10/2021	33	29,89	29,91	29,9	29,92	28,1	28,11	28,1	28,1
30/10/2021	34	29,91	29,91	29,92	29,89	28,1	28,1	28,14	27,98

31/10/2021	35	29,91	29,9	29,91	29,9	27,99	27,99	27,98	28
------------	----	-------	------	-------	------	-------	-------	-------	----

Cálculo de contracción						
Fecha		Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Promedio
27/9/2021	1	6,11	6,11	5,72	5,82	5,94
28/9/2021	2	5,86	5,96	6,02	6,32	6,04
29/9/2021	3	6,02	6,08	6,02	5,95	6,02
30/9/2021	4	6,42	5,96	6,42	5,99	6,20
1/10/2021	5	5,76	5,89	6,05	6,02	5,93
2/10/2021	6	5,96	5,89	6,02	5,99	5,96
3/10/2021	7	5,89	5,98	5,79	5,89	5,89
4/10/2021	8	6,36	5,92	6,02	5,85	6,04
5/10/2021	9	6,02	5,99	5,92	5,96	5,97
6/10/2021	10	5,89	5,96	5,92	5,96	5,93
7/10/2021	11	5,92	5,92	6,05	5,92	5,95
8/10/2021	12	6,02	6,02	5,92	5,99	5,98
9/10/2021	13	5,99	5,89	6,02	5,85	5,94
10/10/2021	14	5,95	5,95	6,42	5,92	6,06
11/10/2021	15	6,39	5,99	5,96	6,45	6,20
12/10/2021	16	5,96	5,99	5,95	5,98	5,97
13/10/2021	17	6,02	6,35	6,42	6,02	6,20
14/10/2021	18	5,95	6,45	5,82	6,42	6,16
15/10/2021	19	6,05	6,55	5,98	6,08	6,17
16/10/2021	20	5,99	6,02	5,99	5,95	5,99
17/10/2021	21	6,02	5,96	6,39	5,82	6,05
18/10/2021	22	6,05	5,92	5,95	6,39	6,08
19/10/2021	23	5,55	5,96	5,52	5,99	5,75
20/10/2021	24	5,72	6,02	5,95	6,02	5,93
21/10/2021	25	6,39	6,59	6,55	6,42	6,49
22/10/2021	26	6,05	6,35	6,02	5,99	6,10
23/10/2021	27	5,92	6,48	5,85	5,92	6,04
24/10/2021	28	5,89	5,79	5,92	5,78	5,84
25/10/2021	29	6,05	5,92	6,32	5,92	6,06
26/10/2021	30	6,02	5,89	5,95	5,92	5,95
27/10/2021	31	5,92	5,95	5,99	6,05	5,98
28/10/2021	32	5,85	6,02	5,86	6,35	6,02
29/10/2021	33	5,99	6,02	6,02	6,08	6,03
30/10/2021	34	6,05	6,05	5,95	6,39	6,11
31/10/2021	35	6,42	6,39	6,45	6,35	6,40

Cálculos para las cartas de control de individualidades de la contracción al secado									
Dato	%C	R	3 o	2o	2o	Media	o-	2o-	3o-
1	5,94		6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
2	6,04	0,096	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
3	6,02	0,020	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
4	6,20	0,177	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
5	5,93	0,267	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
6	5,96	0,034	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
7	5,89	0,077	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
8	6,04	0,152	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
9	5,97	0,067	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
10	5,93	0,039	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
11	5,95	0,020	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
12	5,98	0,033	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
13	5,94	0,047	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
14	6,06	0,123	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
15	6,20	0,135	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
16	5,97	0,227	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
17	6,20	0,233	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
18	6,16	0,041	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
19	6,17	0,007	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
20	5,99	0,183	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
21	6,05	0,062	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
22	6,08	0,031	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
23	5,75	0,324	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
24	5,93	0,175	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
25	6,49	0,559	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
26	6,10	0,385	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
27	6,04	0,059	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
28	5,84	0,200	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
29	6,06	0,211	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
30	5,95	0,109	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
31	5,98	0,031	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
32	6,02	0,044	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
33	6,03	0,006	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
34	6,11	0,083	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
35	6,40	0,293	6,39	6,28	6,16	6,04	5,92	5,80	5,68
	6,039	0,134							

Cálculo de carta de rango variable								
Dato	R	LSR	2o	1o		o-	2o-	LIR
1	0	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
2	0,10	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
3	0,02	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
4	0,18	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
5	0,27	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
6	0,03	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
7	0,08	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
8	0,15	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
9	0,07	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
10	0,04	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
11	0,02	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
12	0,03	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
13	0,05	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
14	0,12	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
15	0,14	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
16	0,23	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
17	0,23	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
18	0,04	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
19	0,01	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
20	0,18	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
21	0,06	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
22	0,03	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
23	0,32	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
24	0,17	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
25	0,56	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
26	0,38	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
27	0,06	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
28	0,20	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
29	0,21	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
30	0,11	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
31	0,03	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
32	0,04	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
33	0,01	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
34	0,08	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0
35	0,29	0,44	0,34	0,23	0,13	0,09	0,04	0

Contracción de quema

Datos para la elaboración de las cartas de control									
		Medida Inicial				Medida Final			
		1	2	3	4	1	2	3	4
27/9/2021	1	28,1	28,1	28,17	28,15	27,94	27,93	27,98	27,91
28/9/2021	2	28,13	28,11	28,1	28	27,99	27,98	27,97	27,97
29/9/2021	3	28,11	28,1	28,1	28,12	27,89	27,93	27,91	27,93
30/9/2021	4	27,98	28,11	27,99	28,11	27,92	27,98	27,93	27,96
1/10/2021	5	28,15	28,12	28,11	28,11	27,94	27,93	27,98	27,98
2/10/2021	6	28,11	28,13	28,1	28,11	27,99	27,97	27,98	27,93
3/10/2021	7	28,14	28,12	28,17	28,14	27,94	27,89	27,94	27,88
4/10/2021	8	27,99	28,12	28,1	28,16	27,93	27,89	27,98	27,92
5/10/2021	9	28,11	28,11	28,13	28,11	27,93	27,91	27,91	27,94
6/10/2021	10	28,11	28,1	28,13	28,11	27,91	27,91	27,94	27,96
7/10/2021	11	28,14	28,13	28,1	28,15	27,92	27,98	27,96	27,98
8/10/2021	12	28,11	28,12	28,14	28,11	27,96	27,95	27,95	27,95
9/10/2021	13	28,11	28,13	28,1	28,14	27,93	27,90	27,98	27,88
10/10/2021	14	28,13	28,12	27,98	28,14	27,98	27,89	27,98	27,93
11/10/2021	15	27,98	28,11	28,11	27,98	27,89	27,95	27,91	27,88
12/10/2021	16	28,11	28,11	28,12	28,13	27,92	27,87	27,98	27,85
13/10/2021	17	28,11	28	28	28,1	27,94	27,98	27,96	27,96
14/10/2021	18	28,12	27,98	28,16	27,99	27,90	27,82	27,93	27,89
15/10/2021	19	28,1	27,95	28,12	28,1	27,91	27,85	27,97	27,89
16/10/2021	20	28,11	28,11	28,1	28,15	27,96	27,89	27,97	27,89
17/10/2021	21	28,1	28,11	27,98	28,14	27,98	27,91	27,90	27,90
18/10/2021	22	28,1	28,13	28,13	27,98	27,97	27,91	27,91	27,81
19/10/2021	23	28,24	28,11	28,24	28,1	27,99	27,78	27,97	27,92
20/10/2021	24	28,17	28,1	28,12	28,11	27,97	27,91	27,93	27,89
21/10/2021	25	27,98	27,94	27,95	27,98	27,89	27,80	27,81	27,83
22/10/2021	26	28,1	28	28,11	28,1	27,80	27,85	27,83	27,83
23/10/2021	27	28,13	27,98	28,14	28,14	27,92	27,79	27,92	27,83
24/10/2021	28	28,14	28,17	28,13	28,18	27,99	27,91	27,98	27,96
25/10/2021	29	28,1	28,12	28	28,11	27,99	27,98	27,98	27,95
26/10/2021	30	28,1	28,12	28,13	28,12	27,99	27,91	27,98	27,88
27/10/2021	31	28,14	28,12	28,11	28,1	28,00	27,86	27,95	27,78
28/10/2021	32	28,14	28,1	28,13	28	27,92	27,88	27,91	27,89
29/10/2021	33	28,1	28,11	28,1	28,1	27,94	27,95	27,96	27,91
30/10/2021	34	28,1	28,1	28,14	27,98	27,94	27,89	27,90	27,78
31/10/2021	35	27,99	27,99	27,98	28	27,88	27,77	27,86	27,95

Cálculo de % de contracción a la quema						
Dato	1	2	3	4	%C	R
1	0,57	0,60	0,67	0,85	0,68	
2	0,50	0,46	0,46	0,11	0,38	0,29
3	0,78	0,60	0,68	0,68	0,68	0,30
4	0,21	0,46	0,21	0,53	0,36	0,33
5	0,75	0,68	0,46	0,46	0,59	0,23
6	0,44	0,57	0,43	0,64	0,52	0,07
7	0,71	0,82	0,82	0,92	0,82	0,30
8	0,21	0,82	0,43	0,85	0,58	0,24
9	0,64	0,71	0,78	0,60	0,68	0,11
10	0,71	0,68	0,68	0,53	0,65	0,04
11	0,78	0,53	0,50	0,60	0,60	0,04
12	0,53	0,60	0,68	0,57	0,60	0,01
13	0,64	0,82	0,43	0,92	0,70	0,11
14	0,53	0,82	0,00	0,75	0,52	0,18
15	0,32	0,57	0,71	0,36	0,49	0,03
16	0,68	0,85	0,50	1,00	0,76	0,27
17	0,60	0,07	0,14	0,50	0,33	0,43
18	0,78	0,57	0,82	0,36	0,63	0,30
19	0,68	0,36	0,53	0,75	0,58	0,05
20	0,53	0,78	0,46	0,92	0,68	0,10
21	0,43	0,71	0,29	0,85	0,57	0,11
22	0,46	0,78	0,78	0,61	0,66	0,09
23	0,89	1,17	0,96	0,64	0,91	0,26
24	0,71	0,68	0,68	0,78	0,71	0,20
25	0,32	0,50	0,50	0,54	0,46	0,25
26	1,07	0,54	1,00	0,96	0,89	0,43
27	0,75	0,68	0,78	1,10	0,83	0,06
28	0,53	0,92	0,53	0,78	0,69	0,13
29	0,39	0,50	0,07	0,57	0,38	0,31
30	0,39	0,75	0,53	0,85	0,63	0,25
31	0,50	0,92	0,57	1,14	0,78	0,15
32	0,78	0,78	0,78	0,39	0,68	0,10
33	0,57	0,57	0,50	0,68	0,58	0,11
34	0,57	0,75	0,85	0,71	0,72	0,14
35	0,39	0,79	0,43	0,18	0,45	0,27

Cálculos para las cartas de control de individualidades de la contracción a la quema									
Dato	%C	R	3 o	2o	2o	Media	o-	2o-	3o-
1	0,68	0	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
2	0,38	0,29	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
3	0,68	0,30	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
4	0,36	0,33	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
5	0,59	0,23	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
6	0,52	0,07	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
7	0,82	0,30	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
8	0,58	0,24	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
9	0,68	0,11	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
10	0,65	0,04	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
11	0,60	0,04	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
12	0,60	0,01	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
13	0,70	0,11	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
14	0,52	0,18	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
15	0,49	0,03	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
16	0,76	0,27	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
17	0,33	0,43	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
18	0,63	0,30	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
19	0,58	0,05	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
20	0,68	0,10	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
21	0,57	0,11	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
22	0,66	0,09	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
23	0,91	0,26	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
24	0,71	0,20	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
25	0,46	0,25	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
26	0,89	0,43	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
27	0,83	0,06	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
28	0,69	0,13	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
29	0,38	0,31	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
30	0,63	0,25	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
31	0,78	0,15	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
32	0,68	0,10	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
33	0,58	0,11	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
34	0,72	0,14	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
35	0,45	0,27	1,10	0,94	0,78	0,62	0,46	0,30	0,15
	0,622	0,18							

Cálculo de carta de rango variable de contracción a la quema								
Dato	R	LSR			R			LIR
1		0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
2	0,29	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
3	0,30	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
4	0,33	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
5	0,23	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
6	0,07	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
7	0,30	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
8	0,24	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
9	0,11	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
10	0,04	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
11	0,04	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
12	0,01	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
13	0,11	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
14	0,18	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
15	0,03	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
16	0,27	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
17	0,43	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
18	0,30	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
19	0,05	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
20	0,10	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
21	0,11	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
22	0,09	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
23	0,26	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
24	0,20	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
25	0,25	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
26	0,43	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
27	0,06	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
28	0,13	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
29	0,31	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
30	0,25	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
31	0,15	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
32	0,10	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
33	0,11	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
34	0,14	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
35	0,27	0,60	0,46	0,32	0,18	0,12	0,06	0,00
	0,18							

Porcentaje de absorción de agua en ladrillos

Datos para la elaboración de las cartas de control					
		Peso Seco	Peso Húmedo	% Absorción	Promedio
27/9/2021	1	4,65	5,45	17,20	17,17
	2	4,67	5,47	17,13	
28/9/2021	3	4,66	5,48	17,60	15,85
	4	4,68	5,34	14,10	
29/9/2021	5	4,67	5,48	17,34	17,69
	6	4,66	5,5	18,03	
30/9/2021	7	4,67	5,49	17,56	17,53
	8	4,63	5,44	17,49	
1/10/2021	9	4,65	5,43	16,77	17,06
	10	4,73	5,55	17,34	
2/10/2021	11	4,66	5,4	15,88	16,18
	12	4,67	5,44	16,49	
3/10/2021	13	4,62	5,43	17,53	16,49
	14	4,66	5,38	15,45	
4/10/2021	15	4,65	5,36	15,27	16,00
	16	4,66	5,44	16,74	
5/10/2021	17	4,67	5,39	15,42	15,40
	18	4,68	5,4	15,38	
6/10/2021	19	4,65	5,4	16,13	15,61
	20	4,64	5,34	15,09	
7/10/2021	21	4,65	5,43	16,77	16,65
	22	4,66	5,43	16,52	
8/10/2021	23	4,67	5,44	16,49	18,44
	24	4,66	5,61	20,39	
9/10/2021	25	4,63	5,5	18,79	18,64
	26	4,65	5,51	18,49	
10/10/2021	27	4,66	5,49	17,81	16,35
	28	4,77	5,48	14,88	
11/10/2021	29	4,65	5,44	16,99	14,40
	30	4,83	5,4	11,80	
12/10/2021	31	4,73	5,39	13,95	14,83
	32	4,65	5,38	15,70	
13/10/2021	33	4,65	5,45	17,20	17,62
	34	4,66	5,5	18,03	
14/10/2021	35	4,63	5,48	18,36	18,38
	36	4,62	5,47	18,40	
15/10/2021	37	4,73	5,47	15,64	16,41
	38	4,66	5,46	17,17	
16/10/2021	39	4,62	5,39	16,67	16,18

UCUENCA

	40	4,65	5,38	15,70	
17/10/2021	41	4,75	5,44	14,53	15,74
	42	4,66	5,45	16,95	
18/10/2021	43	4,65	5,44	16,99	17,55
	44	4,64	5,48	18,10	
19/10/2021	45	4,65	5,5	18,28	17,38
	46	4,67	5,44	16,49	
20/10/2021	47	4,67	5,45	16,70	16,72
	48	4,66	5,44	16,74	
21/10/2021	49	4,65	5,34	14,84	15,25
	50	4,66	5,39	15,67	
22/10/2021	51	4,63	5,39	16,41	16,31
	52	4,63	5,38	16,20	
23/10/2021	53	4,62	5,48	18,61	18,96
	54	4,61	5,5	19,31	
24/10/2021	55	4,62	5,48	18,61	17,12
	56	4,67	5,4	15,63	
25/10/2021	57	4,68	5,4	15,38	15,69
	58	4,69	5,44	15,99	
26/10/2021	59	4,68	5,39	15,17	15,40
	60	4,67	5,4	15,63	
27/10/2021	61	4,65	5,4	16,13	16,99
	62	4,65	5,48	17,85	
28/10/2021	63	4,67	5,48	17,34	17,17
	64	4,65	5,44	16,99	
29/10/2021	65	4,63	5,47	18,14	17,05
	66	4,64	5,38	15,95	
30/10/2021	67	4,64	5,44	17,24	17,44
	68	4,65	5,47	17,63	
31/10/2021	69	4,65	5,46	17,42	17,38
	70	4,67	5,48	17,34	

Cálculos para las cartas de control de individualidades de absorción de agua									
Dato	% Abs	R	3 o	2o	2o	Media	o-	2o-	3o-
1	17,17		19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
2	15,85	1,318	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
3	17,69	1,836	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
4	17,53	0,159	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
5	17,06	0,472	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
6	16,18	0,871	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
7	16,49	0,308	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
8	16,00	0,488	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
9	15,40	0,602	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
10	15,61	0,207	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
11	16,65	1,041	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
12	18,44	1,788	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
13	18,64	0,205	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
14	16,35	2,295	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
15	14,40	1,953	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
16	14,83	0,431	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
17	17,62	2,789	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
18	18,38	0,763	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
19	16,41	1,972	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
20	16,18	0,223	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
21	15,74	0,443	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
22	17,55	1,807	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
23	17,38	0,162	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
24	16,72	0,664	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
25	15,25	1,468	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
26	16,31	1,055	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
27	18,96	2,654	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
28	17,12	1,837	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
29	15,69	1,435	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
30	15,40	0,287	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
31	16,99	1,588	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
32	17,17	0,178	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
33	17,05	0,122	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
34	17,44	0,392	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
35	17,38	0,056	19,36	18,48	17,60	16,71	15,83	14,95	14,06
	16,714	0,996							

Calculo de carta de rango variable								
Dato	R	LSR			R			LIR
1		3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
2	1,32	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
3	1,84	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
4	0,16	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
5	0,47	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
6	0,87	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
7	0,31	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
8	0,49	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
9	0,60	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
10	0,21	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
11	1,04	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
12	1,79	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
13	0,21	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
14	2,29	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
15	1,95	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
16	0,43	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
17	2,79	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
18	0,76	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
19	1,97	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
20	0,22	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
21	0,44	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
22	1,81	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
23	0,16	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
24	0,66	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
25	1,47	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
26	1,05	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
27	2,65	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
28	1,84	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
29	1,44	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
30	0,29	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
31	1,59	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
32	0,18	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
33	0,12	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
34	0,39	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
35	0,06	3,25	2,50	1,75	1,00	0,66	0,33	0,00
36	1,00							

Anexos 6. Datos de funcionamiento del proceso de elaboracion de ladrillos

Tabla de recoleccion de datos de funcionamiento de la fabrica artesanal de ladrillos (1/2)																																	
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15			
		27-sep		28-sep		29-sep		30-sep		01-oct		02-oct		03-oct		04-oct		05-oct		06-oct		07-oct		08-oct		09-oct		10-oct		11-oct			
Proceso	Fecha	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
recepccion de materia prima	Ingreso de nuevo lote	Arcilla 1			X																												
		Arcilla 2																X															
		Arcilla 3											X																				
	Materia Organica	Arcilla 1			X													X															
		Arcilla 2				X									X														X				
		Arcilla 3					X																X										
Dosificacion	N° palas	Arcilla 1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
		Arcilla 2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
		Arcilla 3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	Balde	Agua	5	3	5	4	0	0	0	5	4	4	4	5	3	3	3	0	0	1	1	1	1	5	3	3	3	0	2	1	1	1	1
Molienda	Molino 1	Tiempo (s)	10	10	10	10	10	11	11	11	11	10	10	11	11	10	10	11	12	13	13	10	10	10	10	10	10	11	11	12	11	12	11
		Abertura(mm)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	Molino 2	Tiempo (s)	10	10	10	10	11	12	11	10	11	10	10	11	12	12	12	12	11	11	11	10	10	10	11	10	11	10	11	10	10	12	
		Abertura(mm)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,6	1	1	1	1	1	1	1
	calibracion	Calibracion	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Mezclado	tiempo	60	60	50	60	70	70	60	70	60	70	50	70	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60		
Moldeado	Presion bomba (Mpa)	20	20	20	18	19	19	18	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
	Adicion agua (jarras)	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	2	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1		
	Humedad	15,4	16,0	15,8	14,9	14,9	15,0	15,7	15,5	15,8	15,0	14,9	15,2	15,8	15,8	15,8	15,8	14,9	15,8	15,8	15,4	15,0	15,2	15,5	15,5	15,8	15,8	15,8	15,4	15,3	15,0		
Secado	tiempo secado natural (h)	192	192	192	216	192	192	192	216	192	192	192	216	192	192	192	192	192	192	216	192	192	192	192	192	192	192	192	216	192	192	192	
	tiempo secado artificial (h)	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	
Coccion	Tiempo de Coccion	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2	2	2	
	Temperatura de Coccion	700	750	800	700	750	800	700	750	700	700	750	800	800	800	750	800	800	800	850	850	800	750	750	750	750	800	800	800	800	750	750	
	Grietas (Si/No)			X																													

Tabla de recolección de datos de funcionamiento de la fabrica artesanal de ladrillos (2/2)

16		17		18		19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33		34		35					
12-oct	13-oct	14-oct	15-oct	16-oct	17-oct	18-oct	19-oct	20-oct	21-oct	22-oct	23-oct	24-oct	25-oct	26-oct	27-oct	28-oct	29-oct	30-oct	31-oct	12-oct	13-oct	14-oct	15-oct	16-oct	17-oct	18-oct	19-oct	20-oct	21-oct	22-oct	23-oct	24-oct	25-oct	26-oct	27-oct	28-oct	29-oct	30-oct	31-oct				
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
			X																																								
X													X																														
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
4	1	1	1	1	0	0	0	2	1	1	1	1	5	5	0	0	0	0	3	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	1	1		
12	11	12	11	12	11	10	10	9	9	10	11	11	10	9	10	12	12	11	12	10	10	11	10	10	11	10	12	12	10	10	11	11	10	10	11	10	10	10	10	10	10		
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
11	10	10	11	10	11	10	12	12	12	10	10	12	12	10	10	10	11	11	10	12	12	10	10	10	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si		
50	60	70	60	40	60	70	80	60	60	70	70	60	60	60	70	70	60	60	50	50	60	60	60	70	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60		
20	20	20	20	20	20	18	18	18	18	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19		
1	1	1	0	0	0	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0		
16,1	16,0	15,8	15,8	15,8	15,7	15,8	14,9	16,1	16,2	16,5	16,0	15,8	16,0	16,1	15,8	15,7	15,4	15,0	14,9	15,3	15,2	15,3	15,6	15,8	15,9	15,8	15,8	15,9	16,0	16,1	16,2	15,8	15,9	15,9	15,4	15,3	15,3	15,7	15,8	15,8			
192	192	192	216	192	192	192	192	192	216	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192		
72	72	72	72	72	72	92	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72		
2	2,5	2,5	2,8	3	3	2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2	2	2	2	2	2	2	2,5			
750	750	750	750	750	700	800	800	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850		
		X			X				X			X					X				X																						