	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO		F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA		Dependencia	Aprobado	Pág.
		SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(77)

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	CARLOS ALBERTO PAYARES PEREZ		
FACULTAD	INGENIERÍAS.		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERÍA MECÁNICA.		
DIRECTOR	EDWIN E. ESPINEL BLANCO		
TÍTULO DE LA TESIS	ESTUDIO DE LA RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS FINALES DE LOS BLOQUES CERÁMICOS PARA MAMPOSTERÍA Y LOS PERFILES DE TEMPERATURA PRESENTADOS EN EL HORNO DURANTE SU COCCIÓN EN LA LADRILLERA OCAÑA		
<b>RESUMEN</b> (70 palabras aproximadamente)			
<p>Con el estudio realizado en la etapa de cocción de bloques de arcilla en la empresa LADRILLERA OCAÑA se mostró el comportamiento de cada una de las variables que intervienen en el proceso las cuales ayudaron a la toma de decisiones buscando mejorar la eficiencia en el horno como tal. En este proyecto se consideró, entre otros el estudio previo de las propiedades de los materiales sobre los que se trabaja, también se realizaron ensayos en la planta física de la empresa y los laboratorios de la Universidad para determinar la curva óptima de cocción y propiedades físicas finales de bloques de arcilla que mejorara la calidad del producto.</p>			
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
PÁGINAS: 77	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM: 1



**ESTUDIO DE LA RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS FINALES  
DE LOS BLOQUES CERÁMICOS PARA MAMPOSTERÍA Y LOS PERFILES DE  
TEMPERATURA PRESENTADOS EN EL HORNO DURANTE SU COCCIÓN EN  
LA LADRILLERA OCAÑA**

**CARLOS ALBERTO PAYARES PÉREZ**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA  
OCAÑA  
2014**

**ESTUDIO DE LA RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS FINALES  
DE LOS BLOQUES CERÁMICOS PARA MAMPOSTERÍA Y LOS PERFILES DE  
TEMPERATURA PRESENTADOS EN EL HORNO DURANTE SU COCCIÓN EN  
LA LADRILLERA OCAÑA**

**CARLOS ALBERTO PAYARES PÉREZ**

**Proyecto presentado como requisito para optar por el título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director  
EDWIN ESPINEL BLANCO  
Esp. Gerencia de Mantenimiento  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA  
OCAÑA  
2014**

## TABLA DE CONTENIDO

<u>INTRODUCCION</u>	12
<u>1 TÍTULO</u>	13
<u>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	13
<u>1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</u>	14
<u>1.3 OBJETIVOS</u>	14
1.3.1 General	14
1.3.2 Específicos	14
<u>1.4 JUSTIFICACIÓN</u>	15
<u>1.5 DELIMITACIONES</u>	16
1.5.1 Geográfica	16
1.5.2 Temporales	16
1.5.3 Conceptual	16
1.5.4 Operativa	16
<u>2 MARCO REFERENCIAL</u>	17
<u>2.1 ANTECEDENTES</u>	17
<u>2.2 MARCO CONCEPTUAL</u>	18
<u>2.3 MARCO TEÓRICO</u>	20
<u>2.4 MARCO LEGAL</u>	25
<u>3 DISEÑO METODOLÓGICO</u>	34
<u>3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN</u>	34
<u>3.2 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION</u>	34
<u>3.3 FASES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN</u>	34
3.2.1 FASE I. Indagación del tema	34
3.2.2 FASE II. Moldeamiento de la propuesta	34
3.2.3 FASE III. Presentación de la propuesta	34
3.2.4 FASE IV. Socialización de la propuesta	34
<u>4. ANÁLISIS DEL HORNO HOFFMAN DE LA LADRILLERA Y SU MÉTODO DE QUEMA</u>	36
<u>4.1. GENERALIDADES DEL HORNO HOFFMAN</u>	36
4.1.1. Funcionamiento de los hornos Hoffman	36
4.1.2. Eficiencia en hornos Hoffman	37
<u>4.2. HORNO HOFFMAN DE LA LADRILLERA OCAÑA</u>	38
4.2.1. Funcionamiento y quema de ladrillo en el horno Hoffman de la ladrillera Ocaña	38
<u>5. PERFILES DE TEMPERATURA DEL HORNO HOFFMAN DE LA LADRILLERA OCAÑA</u>	40
<u>5.1. SOFTWARE LABVIEW</u>	40
<u>5.2. DISEÑO DEL EJECUTABLE PARA LA TOMA DE DATOS</u>	41

5.2.1. Panel frontal	41
5.2.2. Diagrama de bloques	42
<u>5.3. INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS</u>	43
<u>5.4. REGISTRO Y ALMACENAMIENTO DE DATOS</u>	45
<u>5.5. PERFILES DE TEMPERATURA</u>	46
<u>6. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS BLOQUES CERÁMICOS</u>	51
<u>6.1. SELECCIÓN DE BLOQUES PARA LOS ENSAYOS</u>	51
<u>6.2. ENSAYO DE FLEXIÓN EN LOS BLOQUES SELECCIONADOS</u>	51
<u>6.3. ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES SELECCIONADOS</u>	56
6.3.1 Refrentado en bloques	56
6.3.2 Resultados de ensayos de compresión	57
<u>6.4. ABSORCIÓN DE AGUA DEL BLOQUE H-10</u>	59
<u>7. RELACIÓN ENTRE LOS PERFILES DE TEMPERATURAS Y PROPIEDADES FÍSICAS DE BLOQUES CERÁMICOS</u>	61
<u>7.1 GENERALIDADES DE LOS ENSAYOS DESTRUCTIVOS</u>	61
<u>7.2 EVENTUALIDADES DE LOS ENSAYOS REALIZADOS</u>	61
<u>7.3 INCIDENCIA DE LOS PERFILES DE TEMPERATURA EN LAS PROPIEDADES FINALES DE LOS BLOQUES CERÁMICOS</u>	61
<u>8 ENSAYOS FÍSICO-QUÍMICOS REALIZADOS A LA MATERIA PRIMA Y PRODUCTOS SEMIELABORADOS DE LA LADRILLERA OCAÑA.</u>	63
<u>8.1. ENSAYO DEL PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE PESO</u>	63
<u>8.2. ENSAYOS A LA MATERIA PRIMA DE LA MINA EXISTENTE EN LA LADRILLERA OCAÑA</u>	64
8.2.1. Muestreo	64
8.2.2. Preparación de la Muestra	65
8.2.3. Caracterización Físico Cerámica Básica	65
8.2.4. Prueba de HCL para identificar carbonatos	65
8.2.5. Granulometría por Vía Húmeda M 120, M230, M325	66
8.2.6. Determinación de las contracciones de cocido	67
8.2.7 Pérdidas por calcinación	68
<u>CONCLUSIONES</u>	69
<u>RECOMENDACIONES</u>	70
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	71
<u>ANEXOS</u>	72

## LISTADO DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
Figura 1. Curva termicodiferencial del caolín	22
Figura 2. Curva termicodiferencial de una illita	23
Figura 3. Curva termicodiferencial de una montmorillonítica	23
Figura 4. Curva termicogravimétrica del caolín	24
Figura 5. Curva termicodilatométrica	24
Figura 6. Diagrama del montaje modulo de rotura	29
Figura 7. Diagrama de cuerpo libre de para la deducción de la fórmula del modulo de rotura	30
Figura 8. Recámaras de un horno Hoffman	37
Figura 9. Distribución de bloques en el horno	38
Figura 10. Interfaz labVIEW	41
Figura 11. Panel frontal de labVIEW	42
Figura 12. Diagrama de bloques labVIEW	43
Figura 13. Sellado manual de puertas mediante caolín	44
Figura 14. Posición de termopares en el horno	44
Figura15. Dispositivos de monitoreo y software labVIEW	45
Figura 16. Almacenamiento de datos en Excel	45
Figura 17. Zonas de selección de bloques.	51
Figura 18. Ensayo de flexión a bloques H-10.	52
Figuras 19. Refrentado de bloques H-10.	56
Figuras 20. Compresión en bloques H-10.	57
Figuras 21. Secado en horno mufla y sumersión de bloques.	60
Figura 22. Deformación de bloques en la parte baja de la recámara.	62

## LISTADO DE GRÁFICAS

	Pág.
Grafica 1. Curva de cocción de termocupla 4 primera quema	46
Grafica 2. Curva de coccion de termocupla 3 primera quema	46
Grafica 3. Curva de coccion de termocupla 2 primera quema	47
Grafica 4. Curva de cocción de termocupla 1 primera quema	47
Grafica 5. Intervalo de tiempo en el que decrece la temperatura en el horno Hoffman	48
Grafica 6. Curva de cocción de termocupla 4 segunda quema	48
Grafica 7. Curva de cocción de termocupla 3 segunda quema	49
Grafica 8. Curva de cocción de termocupla 2 segunda quema	49
Grafica 9. Curva de cocción de termocupla 1 segunda quema	50
Grafica 10. Grafico de dispersión del modulo de rotura	55
Grafica 11. Compresión muestra 1. Parte alta del monto de ladrillos	57
Grafica 12. Compresión muestra 2. Parte alta del monto de ladrillos	58
Grafica 13. Compresión muestra 3. Parte media del monto de ladrillos	58
Grafica 14. Compresión muestra 4. Parte baja del monto de ladrillos	59
Grafica 15. Compresión muestra 5. Parte baja del monto de ladrillos	59
Grafica 16. Grafica de variación del peso con respecto a la temperatura	64
Grafica 17. Curva de quema realizada en el laboratorio	67
Grafica 18. Curva de cocido vs temperatura de las diferentes muestras.	68

## LISTADO DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
Cuadro 1. Tabla de consumo específico nacional de energía.	37
Cuadro 2. Resultados de flexión en bloques H-10.	54
Cuadro 3. Porcentaje de aceptación del modulo de rotura.	55
Cuadro 4. Absorción de agua.	60
Cuadro 5. Tabla de variación de peso.	63
Cuadro 6. Nomenclatura de las Muestras Tomadas.	65
Cuadro 7. Tabla de resultados de granulometrías.	66



## LISTADO DE ANEXOS

	Pag.
Anexo A. Tabla de calibración de carga 0495.	72
Anexo B. Formato de ensayos a compresión.	74
Anexo C. Formato de ensayos a flexión.	75
Anexo D. Comandos de la interfaz.	76
Anexo E. Secaderos artificiales.	76
Anexo F. Posicionamiento de termopares.	77
Anexo G. Recámara del horno Hoffman	77

## INTRODUCCION

La elaboración de productos a base de material arcilloso ha generado un gran impacto en el sector comercial e industrial en la región, por tal motivo la empresa ha visto la necesidad de tecnificar sus procesos con el fin de mejorar la eficiencia de su producción y calidad de su producto.

La empresa Ladrillera Ocaña en su interés por proveer productos con una excelente calidad y a un precio competitivo, ha visto la necesidad de buscar la forma de mejorar el acabado de sus productos teniendo en cuenta factores como capacidad térmica, tiempo y calidad de la materia prima.

El presente trabajo de investigación se realiza con el fin de dar solución a una problemática que es de carácter importante en el proceso productivo como lo es el proceso de cocción de bloques. En este proyecto se considera, el estudio previo de las propiedades de los materiales sobre los que se trabajó, también se realizaron ensayos para determinar el perfil de temperatura del horno Hoffman presente y la resistencia mecánica de los bloques cerámicos.

Los parámetros medidos permitieron entender los factores que hacen de esta etapa un proceso delicado y trascendente en el transcurso de fabricación debido a las temperaturas y calidad de la arcilla. La identificación de los factores se logró con pruebas realizadas dentro de la planta física de la empresa y los laboratorios de la UFPSO.

Con la propuesta se quiere mejorar el proceso de elaboración de estas piezas y obtener productos de buena calidad pero que reduzca el tiempo de quemado, costos en la empresa para así poder ofertar el producto de mejor calidad.

Se presenta una propuesta de mejoramiento para la línea de cocción de bloques de la empresa Ladrillera Ocaña, teniendo en cuenta el análisis del comportamiento actual de esta línea de producción.

## 1 TITULO

ESTUDIO DE LA RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS FINALES DE LOS BLOQUES CERÁMICOS PARA MAMPOSTERÍA Y LOS PERFILES DE TEMPERATURA PRESENTADOS EN EL HORNO DURANTE SU COCCIÓN EN LA LADRILLERA OCAÑA

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para satisfacer la alta demanda de bloque cerámico en la región de la provincia de Ocaña y su zona de influencia, la ladrillera Ocaña Ltda se ha preocupado por disminuir las pérdidas presentes en la obtención del bloque cerámico que disminuyen los niveles de producción de esta empresa, la cual tiene su mercado en el oriente del Departamento Norte de Santander y el sur de Cesar y Bolívar. Según datos de la gerencia de la ladrillera Ocaña las pérdidas en producción varían entre un 10% - 17%, situación que incrementa los costos de producción por problemas asociados en la mayoría de los casos a deficiencia en el proceso de cocción, debido a que no se realiza de acuerdo a las características de la arcilla en cada quema.

Dentro de la etapa de cocción, el precalentamiento del bloque es de suma importancia, puesto que entre mayor sea la humedad, más energía se necesitará para la eliminación del agua y se retrasará el proceso de cocción, en el cual se somete a fuego la arcilla moldeada y secada, para producir una sinterización intensa y una vitrificación adecuada. Este proceso se debe llevar a cabo manejando una distribución de temperaturas en el horno de la cual dependerán varias de las características del ladrillo y sus propiedades físicas.

El horno utilizado para la cocción del bloque en la ladrillera Ocaña, es uno tipo Hoffman, con inyección de carbón pulverizado por cabojet que va avanzando por unos agujeros ubicados en la parte superior del horno, esta particularidad implica que el proceso se realice según especificaciones técnicas que deben ser consideradas desde el momento de cargar el bloque pasando por la inyección de carbón hasta el control de temperaturas internas de forma que garanticen un proceso seguro que no genere pérdidas de producto, lo cual actualmente no se realiza, dado que para la carga no se considera la trayectoria del carbojet y la inyección de carbón se realiza por criterio del operador basado en una inspección visual de la llama en el hogar y de la temperatura en la parte inferior del horno, la cual se controla empíricamente con la pericia del operador.

Al no conocer el gradiente de temperaturas en el horno y la curva de cocción requerida para cada canto de bloques de acuerdo a su ubicación en la trayectoria del carbojet, es imposible garantizar que la cocción se realice correctamente, y por tanto que se obtengan bloques que cumplan con propiedades físicas tales como dureza resistencia a la flexión y compresión, requeridas según la norma técnica colombiana NTC 4205 para su comercialización en el mercado nacional.

Adicionalmente la ladrillera Ocaña no realiza análisis térmicos a la arcilla para conocer su comportamiento cuando es sometida a cambios bruscos de temperatura, lo cual permitiría determinar la técnica de cocción más adecuada y la metodología para la preparación de las pastas y las materias primas de acuerdo a sus características, esta situación ha generado una serie de problemas durante la cocción, los cuales se ven reflejados en el porcentaje de pérdida de producto y en sus propiedades físicas finales.

La problemática anterior preocupa a la gerencia de la empresa que ve disminuido sus ingresos y los obliga a tomar acciones correctivas que no son acertadas como el aumento del precio del bloque, que ocasiona que los consumidores en la zona adquieran el producto provenientes de otras regiones del país.

Toda esta situación ha obligado a la empresa a buscar apoyo en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, a través del grupo de investigación del programa de Ingeniería Mecánica con el fin de optimizar el proceso de cocción determinando como debe ser la distribución de temperaturas en el horno con base en el análisis térmico de la arcilla, para garantizar las propiedades físicas de los bloques de acuerdo a la norma NTC 4017.

## 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La distribución de temperaturas presentadas en el horno de la ladrillera Ocaña durante el proceso de cocción tendrá incidencia en las propiedades finales de los bloques cerámicos?

## 1.3 OBJETIVOS

1.3.1 **General:** Estudiar la relación que existe entre los perfiles de temperatura presentados en el horno Hoffman durante la cocción y las propiedades físicas finales de los bloques cerámicos.

### **1.3.2 Específicos**

- Analizar el horno Hoffman actual existente en la ladrillera y su método de quema de ladrillo.
- Monitorear los perfiles de temperatura presentados en el horno Hoffman de la ladrillera Ocaña durante el proceso de cocción mediante el software labVIEW.
- Determinar las propiedades físicas de los bloques cerámicos, bajo ensayos de flexión y compresión.
- Definir la relación que existe entre las temperaturas presentadas en el horno durante la quema de los bloques cerámicos con sus propiedades físicas finales.

- Realizar ensayos térmicos de pérdida de peso, dilatación y contracción en los bloques cerámicos con la ayuda de un horno mufla en el cual se pueden alcanzar los niveles de temperatura semejantes a los obtenidos en el horno Hoffman.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

Para lograr la optimización en el proceso y evitar los defectos presentes en la cocción, es necesario conocer las reacciones que se presentan en la pieza durante este proceso.

Los perfiles de temperatura y los ensayos térmicos de las arcillas son de vital importancia para llegar a identificar las verdaderas causas de las anomalías producidas por defectos tales como: grietas, deformaciones, ralladuras y colores oscuros a la hora de la fabricación del bloque cerámico de mampostería, por ende se realizará un estudio enfocado en la determinación de las curvas de cocción en el horno de la ladrillera Ocaña y su incidencia en las propiedades físicas finales de los bloques para mampostería, con el fin de optimizar el funcionamiento del horno Hoffman presente en dicha empresa controlando y analizando los ciclos de producción a fin de reducir el acrecentamiento de pérdidas, sabiendo la importancia de la variación del costo con respecto al tiempo relevando el incremento de la tasa porcentual de desperdicio.

Teniendo en cuenta las apreciaciones anteriores, este proyecto servirá como un aporte en el mejoramiento de la calidad del producto terminado y en la disminución de defectos, enfocado a la reducción del impacto ambiental y energético debido a la rebaja en el tiempo de emisión de gases de quemado en la etapa de cocción, evidenciando el recorte de costos de producción del bloque cerámico el cual sería de gran motivación para los directivos de esta empresa y un ejemplo a seguir para las demás ladrilleras en crecimiento, haciendo que se interesen en las investigaciones asociadas a la elaboración y estudio de la optimización de los procesos de obtención de bloques cerámicos, vinculándose abiertamente con la universidad Francisco de Paula Santander para la socialización de propuestas que prometan cambios significativos, posicionando a la universidad en un buen status social con miras a brindar mejoras dentro del sector ladrillero, y de esta manera contribuir con el desarrollo social, industrial y comunitario dentro de la provincia.

## 1.5 DELIMITACIONES

**1.5.1 Geográfica.** La investigación se realizará en la planta física de la ladrillera Ocaña, ya que es el lugar apropiado donde se encuentra el área para realizar el proyecto.

**1.5.2 Conceptual.** La temática de la investigación se connotará dentro de las siguientes variables: temperaturas, contracciones, dilataciones, fisuras de quemado, curvas de cocción, absorción de agua.

**1.5.3 Operativa.** El cumplimiento de los objetivos del siguiente estudio puede ser afectado por distintos factores. De surgir en el desarrollo del mismo, algún inconveniente

que amerite modificaciones significativas, estas serán consultadas con el director del mismo y comunicadas al Comité Curricular.

**1.5.4 Temporal.** El presente proyecto investigativo tendrá una duración aproximada de 14 semanas a partir de la fecha de aprobación del anteproyecto.

## 2 MARCO REFERENCIAL

### 2.1 ANTECEDENTES

El ladrillo constituye el principal material en construcción y se ha considerado como el pilar del desarrollo de la sociedad.

Dentro de la amplia diversidad de documentos asociados a investigaciones sobre horno continuo, de forma anular, utilizado en la cocción de materiales cerámicos, principalmente bizcochados -ladrillos, tejas y baldosas-, aunque también se destinó a los vidriados -azulejos- y otros materiales de construcción como la cal. Fue diseñado por el ingeniero alemán Friedrich Hoffman en el año 1858, extendiéndose su uso en el último tercio del siglo XIX. En el País Valenciano su generalización se producirá a comienzos del siglo XX, como respuesta de la importante demanda de materiales de construcción en este período. Los primeros hornos Hoffman presentaban una planta circular compuesta de un canal de combustión, dividido a su vez en una serie de cámaras que podían separarse o ponerse en comunicación por medio de tabiques, una cámara concéntrica colectora de humos y una chimenea central. Esta tipología dio paso a otra más común de planta rectangular y ovalada en las cámaras interiores con sección abovedada, que mantiene las partes indicadas, si bien la chimenea queda fuera del horno.

La invención del ladrillo supuso un gran avance en la historia de la arquitectura mundial. Materiales tan susceptibles como el adobe o tan costosos y pesados como la piedra, se han visto relegados a un segundo plano en la mayoría de trabajos de albañilería.

La forma de fabricar ladrillos y los tipos de hornos utilizados varían de un país a otro, dependiendo principalmente del legado cultural y de su economía. En Ecuador, la fabricación de ladrillos sigue siendo principalmente un método artesanal, teniendo como principales desventajas la contaminación atmosférica, el uso irracional del suelo y la falta de eficiencia térmica.

El ladrillo constituye el principal material en la construcción tanto de las antiguas como modernas viviendas y principales edificios que han venido siendo el pilar principal del desarrollo humano de la sociedad. Los primeros ladrillos datan de hace unos 9.000 años.

Este material compuesto por masa de barro o arcilla cocida y con forma rectangular, encuentra su mejor aliado en el cemento. Juntos conformarán la columna vertebral de arquitectura moderna.

El ladrillo ha venido siendo valorado por sus cualidades decorativas y funcionales en construcciones muy versátiles y por su fabricación en enormes cantidades.

Existen tres clases: ladrillo de fachada o exteriores, cuando es importante el aspecto; el ladrillo común, hecho de arcilla de calidad inferior destinado a la construcción; y el ladrillo refractario, que resiste temperaturas muy altas y se emplea para fabricar hornos.

Dentro del sector ladrillero es de suma importancia el estudio de mejoras en el proceso de obtención así como la calidad del producto, ya que hoy en día el ladrillo ha venido siendo muy usado en la construcción de viviendas y de edificios, el mismo que puede poner en riesgo la vida de muchas personas, por su mal proceso.

En la ladrillera Ocaña han sido muchos los cambios físicos que han ocurrido en su afán de encontrar el balance energético óptimo para la producción del bloque cerámico de mampostería. La empresa consta de un horno tipo Hoffman el cual utiliza como combustible carbón mineral, siendo pulverizado y lanzado mediante un dispositivo llamado cabojet que lo distribuye uniformemente produciéndose la quema del bloque a un máximo de 1000 grados.

## 2.2 MARCO CONCEPTUAL

**2.2.1 Contracción.** Está determinada por la disminución del volumen sufrido por la pieza durante el proceso de secado, cocción y enfriamiento del material. Debido a la evaporación del agua, las partículas arcillosas se van aproximando entre si hasta que se tocan, el material alcanza la dureza del cuero y disminuye el tamaño de los poros. A medida que el material pierde humedad, la contracción cesara tan pronto como las partículas dejen de moverse al colisionar.

**2.2.2 Dilatación.** Se denomina dilatación térmica al aumento de longitud, volumen o alguna otra dimensión métrica que sufre un cuerpo físico debido al aumento de temperatura que se provoca en él por cualquier medio.

En un sólido las moléculas tienen una posición razonablemente fija dentro de él. Cada átomo de la red cristalina vibra sometido a una fuerza asociada a un pozo de potencial, la amplitud del movimiento dentro de dicho pozo dependerá de la energía total de átomo o molécula. Al absorber calor, la energía cinética promedio de las moléculas aumenta y con ella la amplitud media del movimiento vibracional (ya que la energía total será mayor tras la absorción de calor). El efecto combinado de este incremento es lo que da el aumento de volumen del cuerpo.

**2.2.3 Porosidad.** La porosidad de las arcillas sometidas a cocción es una característica importante. Puede hacerse una distinción entre los poros abiertos, que se presentan a temperaturas inferiores a la de maduración ( o estabilización), y los poros cerrados que aparecen a veces por encima de dicha temperatura de maduración. El tanto por ciento en volumen de los poros abiertos puede obtenerse por un método de tres pesadas que se aplican en la forma siguiente:

$$P = (W - D) * (100W - A)$$

P = % en Volumen de poros en la relación con el Volumen Global

W = peso de la muestra saturada en el aire

D = peso de la muestra seca en el aire



A = peso de la muestra saturada, sumergida en agua.

La muestra puede saturarse hirviéndola en agua durante 2 horas. La determinación de la porosidad total, incluyendo la cerrada, puede obtenerse con mayor exactitud triturando tan finamente la muestra que puedan abrirse los poros y medir así la densidad verdadera por el método del picnómetro.

**2.2.4 Termocuplas.** Un termopar (también llamado termocupla) es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje (efecto (Seebeck), que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" o unión caliente o de medida y el otro denominado "punto frío" o unión fría o de referencia.

En Instrumentación industrial, los termopares son ampliamente usados como sensores de temperatura. Son económicos, intercambiables, tienen conectores estándar y son capaces de medir un amplio rango de temperaturas. Su principal limitación es la exactitud ya que los errores del sistema inferiores a un grado Celsius son difíciles de obtener.

El grupo de termopares conectados en serie recibe el nombre de termopila.

**2.2.5 Absorción del agua.** Es la proporción de poros que se llenan de agua cuando el material es humedecido.

Este ensayo es fundamental para clasificar los distintos tipos de materiales cerámicos e influye sobre otras características de los mismos (resistencia al congelamiento), entre otros.

El método consiste en la inmersión de la pieza en un recipiente con agua, con presión estipulada, durante 24 horas.

La pieza es luego escurrida y secada superficialmente a los efectos de ser pesada, y medir así el % de variación de peso sufrido contra el peso de la misma pieza totalmente seca.

- Porosas - Absorben y difunden agua de lluvia, vapor de agua hasta un 18% de su peso

- Vítreas - Absorben hasta un 0.12 % de su peso. Condensan.

**2.2.6 Agua Intersticial.** Es la que se encuentra entre las partículas de arcilla, debidamente adheridas a las mismas y con posibilidad de migración desde el interior del cuerpo hacia la superficie, por efecto de un gradiente de humedad en el cuerpo.

**2.2.7 Agua Higroscópica.** Es el agua que se encuentra ligada a las partículas minerales por fuerzas eléctricas, propias del dipolo de agua así como de las cargas naturales de los cristales que forman las arcillas. La cantidad de agua higroscópica que posee un cuerpo arcilloso depende de la naturaleza química, física y mineralógica de sus materias primas, de su granulometría y la presencia de sales, etc. La pérdida de esta agua no genera en general variaciones en el volumen del cuerpo arcilloso durante el secado.

**2.2.8 Transferencia de calor.** La liberación de energía térmica es solo la primera etapa de la operación de calefacción. Esta energía tiene que ser transferida al material a calentar. Hay tres tipos fundamentales de transferencia de calor: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor exigen la existencia de una diferencia de temperatura desde el medio de alta temperatura a una temperatura más baja. La conducción es la transferencia de calor de una parte de un cuerpo a otra parte del cuerpo mismo, o de un cuerpo a otro que está en contacto físico con él. La convección es la transferencia de calor de un punto a otro dentro de un líquido o gas, mediante la mezcla de una porción del líquido con otro. En la convección natural, el movimiento del fluido es enteramente el resultado de las diferencias en la densidad resultante de la temperatura.

**2.2.9 Análisis termogravimétrico.** Registra las pérdidas de peso consecuentes a desprendimiento de los gases de vapor en los bloques cerámicos en la etapa de cocción.

**2.2.10 Análisis termicodilatométrico.** Análisis termicodilatométrico tiene una gran importancia práctica para el ladrillero, pues, son los cambios de volumen que la pieza experimenta durante la cocción, los responsables más directos de la aparición de grietas en el producto cocido.

## 2.3 MARCO TEÓRICO

La cocción de los productos cerámicos constituye, en consecuencia, la etapa más importante del proceso de fabricación. En esta fase se pone de manifiesto si las operaciones o etapas de fabricación anteriores se han desarrollado convenientemente y si el producto cocido ha adquirido las propiedades y características deseadas fijadas por las normas.

En la industria cerámica, se entiende por cocción el proceso físico - químico de calentamiento, de acuerdo con un plan preestablecido, de las piezas crudas moldeadas, seguido de un enfriamiento según un plan igualmente bien definido. En él las arcillas se transforman en silicatos de aluminio cristalinos sin hidratar.

No se conoce exactamente la influencia de algunos factores que intervienen en la cocción, no bastando con elevar la temperatura, pues cada tipo de producto necesita una determinada en función de su composición química, sus dimensiones y sobre todo del espesor.

Si la cocción se hace lentamente, se mejora la calidad, pero con ello aumentan los costos. Industrialmente se estudian las curvas de temperatura-tiempo de cada horno para conseguir el equilibrio del sistema.

Por ende se entiende la necesidad de establecer parámetros de control de temperatura y optimizar los procesos para la buena elaboración del producto final.

Mediante el aporte de calor se produce un proceso de transformaciones físico-químicas que modifican la estructura química y cristalina de las arcillas de forma irreversible, adquiriendo consistencia pétreo y obteniéndose finalmente los productos cerámicos.

Además de las transformaciones permanentes que experimentan las materias primas durante la cocción, las piezas sufren igualmente un cierto número de modificaciones temporales, entre las que cabe destacar la dilatación que experimentan como consecuencia del calentamiento.

También es importante tener en cuenta que las piezas cocidas aún calientes actúan, durante un cierto tiempo, como acumuladores de calor. “El grado de almacenamiento de calor que posea el material, depende de su densidad, volumen y calor específico de dicho material, es decir, que la energía almacenada en estos materiales resulta directamente proporcional a estos factores y a la diferencia de temperatura que existe entre dos ambientes, que produce el flujo térmico”<sup>1</sup>.

"Durante el proceso, se genera una movilidad atómica que conduce a la unión de las partículas y a la disminución de la porosidad"<sup>2</sup>. La variación de dimensiones que se produce modifica la porosidad, dependiendo del proceso de fabricación y del grado de cocción. Si las variaciones de volumen no se producen de modo regular durante el proceso de cocción, las piezas presentarán falta de uniformidad y tensiones. Es necesario, pues, controlar la velocidad de cocción ya que una contracción rápida puede llevar a tensiones y provocar la rotura.

Para lograr la optimización del proceso de cocción y evitar los defectos que durante el mismo pudieran producirse, es necesario conocer las reacciones que tienen lugar en la pieza durante la cocción.

**2.3.1 Reacciones de cocción.** “Durante el calentamiento de las arcillas se producen una serie de reacciones que se manifiestan exteriormente en forma de:

- Absorción y desprendimiento de calor
- Desprendimiento de gases.
  
- Dilataciones y contracciones, etc.

Analizando dichas manifestaciones se pueden conocer las reacciones que las originan. Las técnicas comúnmente utilizadas en el estudio de las reacciones de cocción son: el Análisis Térmicodiferencial (ATD), el Termicogravimétrico (ATG), la difracción de Rayos X y el Análisis Termicodilatométrico”<sup>3</sup>.

Dependiendo de la composición de las arcillas las curvas tendrán un comportamiento diferente, sabiendo la importancia que esto significa durante la etapa de cocción en los bloques cerámicos para mampostería.

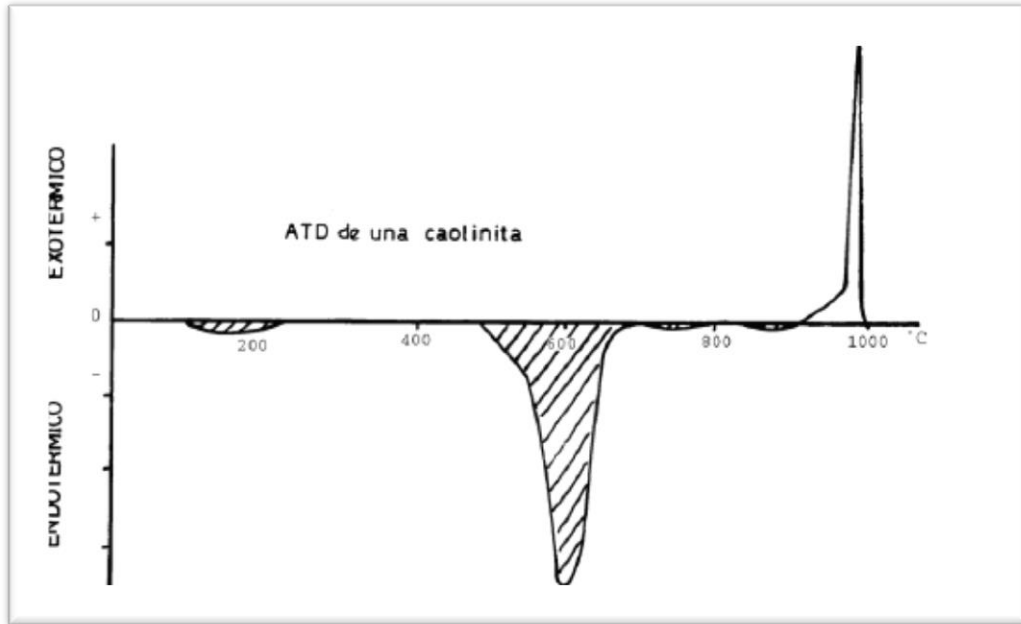
---

<sup>1</sup> Chandía Moraga, Alfredo A. tesis desarrollo de un ladrillo de eficiencia térmica

<sup>2</sup> <https://www.Revista cerámica lección 7.com>

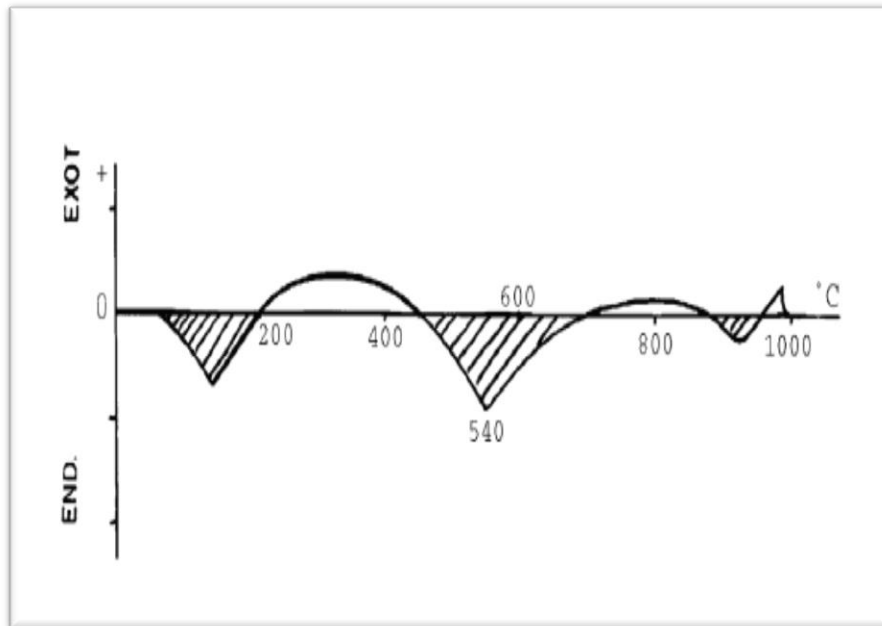
<sup>3</sup> Marcelino Fernández, manual de fabricación de baldosas

Figura 1. Curva termicodiferencial del caolín



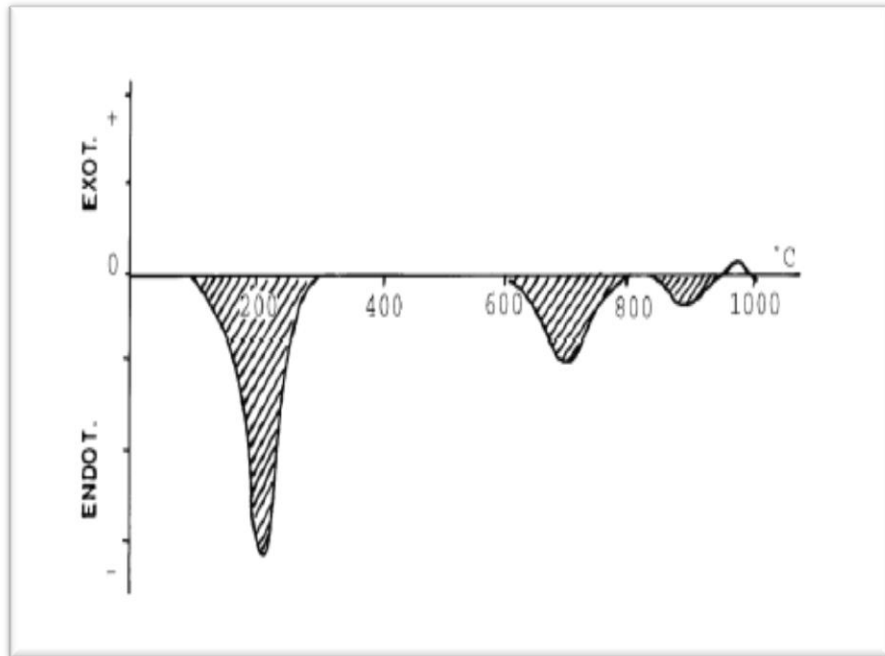
Fuente: Imagen extraída del manual para la fabricación de baldosas de Marcelino Fernández

Figura 2. Curva termicodiferencial de una illita



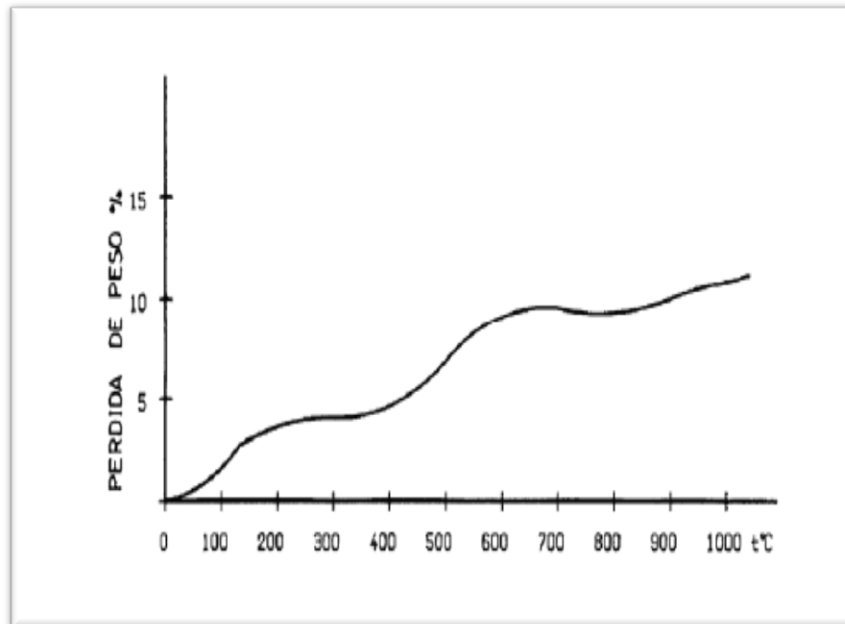
Fuente. Imagen extraída del manual para la fabricación de baldosas de Marcelino Fernández

Figura 3. Curva termocodiferencial de una montmorillonita



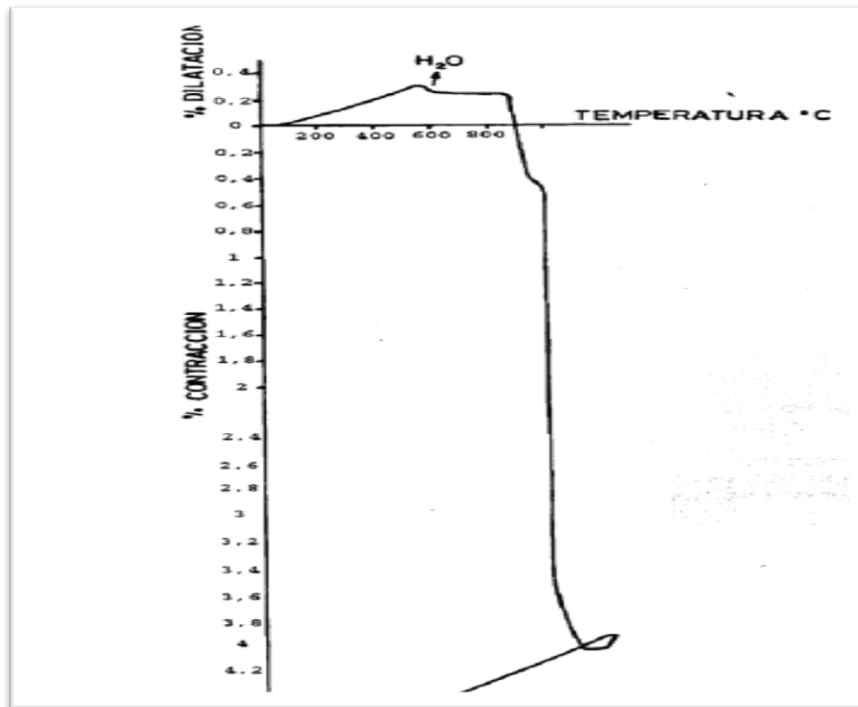
Fuente. Imagen extraída del manual para la fabricación de baldosas de Marcelino Fernández.

Figura 4. Curva termicogravimétrica del caolín



Fuente. Imagen extraída del manual para la fabricación de baldosas de Marcelino Fernández.

Figura 5. Curva termicodilatométrica



Fuente: Imagen extraída del manual para la fabricación de baldosas de Marcelino Fernández.

**2.3.2 Horno HOFFMAN.** Consiste en 2 galerías paralelas formadas por compartimientos contiguos, en cuyos extremos se unen por un pasafuegos. El principio de cocción de un horno Hoffman reside en el hecho de que el fuego se propaga de una forma continua de una cámara a otra, de modo que el calor generado en una cámara es aprovechado en la cocción que va a realizarse en la siguiente, efectuándose de forma sucesiva la carga de material crudo y la descarga de los productos cocidos, al poseer cada cámara una puerta exterior independiente.

**2.3.3 Optimización de la zona de cocción.**<sup>4</sup>“Los problemas que se presentan en la zona de cocción se deben casi siempre a desigualdades de temperatura entre base y parte superior del paquete o entre interior y exterior del mismo”. Por este motivo se ha profundizado al análisis de la quema.

Existen diferentes formas de resolver la zona de cocción: Cociendo con gas, material no visto, el primer grupo con quemadores suele ser de alta velocidad para asegurar que el paquete entre en la zona de cocción completamente uniformado. En el resto de la zona se instalan quemadores de impulsos, los cuales disponen de mayores posibilidades de control de los caudales de aire y gas, controlándose las llamas, sus longitudes y duraciones. En los métodos de quema a carbón lo importante sería controlar el suministro del mineral y los

<sup>4</sup> Manual para la fabricación de baldosas de Marcelino Fernández

tiempos de temperatura a la que se transforman la fases de cristalización para así obtener un mejor producto con propiedades.

## **2.4 MARCO LEGAL**

### **UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER**

**ACUERDO 065 DE 1996.** El cual establece el estatuto estudiantil que es el regente actual en la institución.

**ARTÍCULO 140.** El estudiante podrá optar por una de las siguientes modalidades del trabajo de grado:

**a. Proyecto de Investigación**

- Monografía
- Trabajo de Investigación: Generación o aplicación de conocimientos
- Sistematización del conocimiento.

**b. Proyecto de Extensión.**

- Trabajo social
- Labor de consultoría en aquellos proyectos en los cuales participe la Universidad.
- Pasantía
- Trabajo dirigido

**PARÁGRAFO 1.** El estudiante podrá optar como componente alterna al proyecto de grado, créditos especiales como cursos de profundización académica o exámenes preparatorios.

**PARÁGRAFO 2°.** Para algunos Planes de Estudio y de acuerdo a sus características el Consejo Académico podrá obviar la presentación del trabajo de grado.

**ARTÍCULO 141.** El proyecto de grado incluye las siguientes etapas:

- a.** Presentación del anteproyecto o plan de trabajo según corresponda a la modalidad del proyecto seleccionado.
- b.** Desarrollo de la investigación o ejecución física del proyecto.
- c.** Sustentación de la investigación y/o verificación o aval de la realización del proyecto.

**PARÁGRAFO.** Para todas las modalidades de proyecto de grado, el estudiante deberá presentar un informe final avalado por su director.

**ARTÍCULO 142.** Las condiciones y procedimientos para la presentación, desarrollo y evaluación de cada una de las modalidades de trabajo de grado, o sus componentes alternas, harán parte de la reglamentación específica de cada facultad, para cada plan de estudios.

**PARÁGRAFO.** La Universidad incorporará los trabajos de grado, como componente básico de su hacer y creará bancos de proyectos en los Departamentos Académicos y en la Vice rectoría Asistente de Investigación y Extensión.

## **NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 4017**

### **MÉTODOS PARA MUESTREO Y ENSAYOS DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA Y OTROS PRODUCTOS DE ARCILLA**

#### **a. OBJETO**

**a.1** Esta norma cubre los procedimientos de muestreo y ensayo de unidades de mampostería de arcilla, bloques de arcilla y de otros productos tales como adoquines, tejas. Los ensayos incluyen módulo de rotura, resistencia a la compresión, absorción de agua, coeficiente de saturación, efecto de congelamiento y descongelamiento, eflorescencia, tasa inicial de absorción, determinación de la masa, tamaño, alabeo, uniformidad dimensional, área de las perforaciones, análisis térmico-diferencial y expansión por humedad, aunque no todos los ensayos son aplicables necesariamente a todos los tipos de unidades.

**a.2** Las notas de referencia y notas de pie de página del texto de esta norma, proveen material explicatorio, estas notas y notas de pie de página (excluyendo las incluidas en tablas y figuras) no serán consideradas como requisitos de esta norma.

**a.3** Los valores se deben regir de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades.

**a.4** Esta norma no pretende señalar todos los problemas de seguridad asociados con las prácticas y ensayos que aquí se establecen. Es responsabilidad del usuario establecer las prácticas, tanto de seguridad como de salud necesarias y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias.

#### **b. TERMINOLOGÍA**

##### **b.1 DEFINICIONES**

Las definiciones presentadas en las normas NTC 4051 y ASTM E6 se consideran aplicables a esta norma.



## **c. MUESTREO**

### **c.1 SELECCIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO**

Para el propósito de esta norma, los especímenes deben ser seleccionados de manera que sean representativos del lote entero de unidades del que se toman, de la variedad de colores, texturas y tamaños del envío. Deben estar limpios sin materiales extraños no asociados con su fabricación.

### **c.2 NÚMERO DE ESPECÍMENES**

#### **c.2.1 Ladrillos y bloques**

Las muestras de ladrillos y bloques deben ser escogidas aleatoriamente de cada lote de producción que estará constituido de hasta 100 000 unidades o remanentes superiores a 50000 unidades, o por la totalidad del despacho o producción cuando ésta sea inferior a 50000 unidades. De cada lote se deben extraer diez (10) muestras para la evaluación de medidas, color y defectos superficiales, las mismas que luego deben usarse en dos grupos de cinco (5) unidades para los ensayos de absorción y resistencia a la compresión.

### **c.3 IDENTIFICACIÓN**

Cada espécimen debe estar marcado de tal manera que se pueda identificar en cualquier momento. Estas marcas no deben cubrir más del 5 % de la superficie del espécimen.

## **d. DETERMINACIÓN DE LA MASA**

### **d.1 SECADO**

Los especímenes se secan entre 110 °C y 115 °C, en un secadero durante 24 h, hasta que en dos pesajes sucesivos a intervalos de 2 h, no se presente una pérdida de masa superior al 0,2% del último peso del espécimen determinado previamente.

### **d.2 ENFRIAMIENTO**

Después del secado, se enfrían los especímenes en una cámara que se mantiene a una temperatura de 24 °C  $\pm$  8 °C, con una humedad relativa entre el 30 % y 70 %. Se almacenan las unidades separadas entre sí, durante un período mínimo de 4 h, hasta que la temperatura de la superficie esté a  $\pm$  5 °C de la temperatura de la cámara de enfriamiento. Para los ensayos que requieran unidades secas, no se deben utilizar especímenes notablemente calientes al tacto.

Un método alternativo permitido para enfriar las muestras a temperaturas cercanas a la del ambiente es el siguiente: se guardan las unidades, sin apilarlas, colocándolas individualmente, en una cámara ventilada la cual se mantiene a una temperatura de 24 °C  $\pm$

8 °C, con una humedad relativa entre 30 % y 70 %, durante un período de 4 h, hasta que la temperatura de la superficie esté a  $\pm 5$  °C de la temperatura de la cámara ventilada con la corriente de aire de un ventilador eléctrico que pasa sobre ellas, durante un periodo no inferior a 2 h. Las muestras se guardarán en la cámara ventilada manteniendo la temperatura y la humedad requerida hasta que se ensayen.

### **d.3 CÁLCULOS E INFORMES.**

Los resultados se registran separadamente para cada unidad, junto con el promedio de cinco (5) unidades o más.

### **e. MÓDULO DE ROTURA (ENSAYO DE FLEXIÓN)**

#### **e.1 ESPECÍMENES DE ENSAYO**

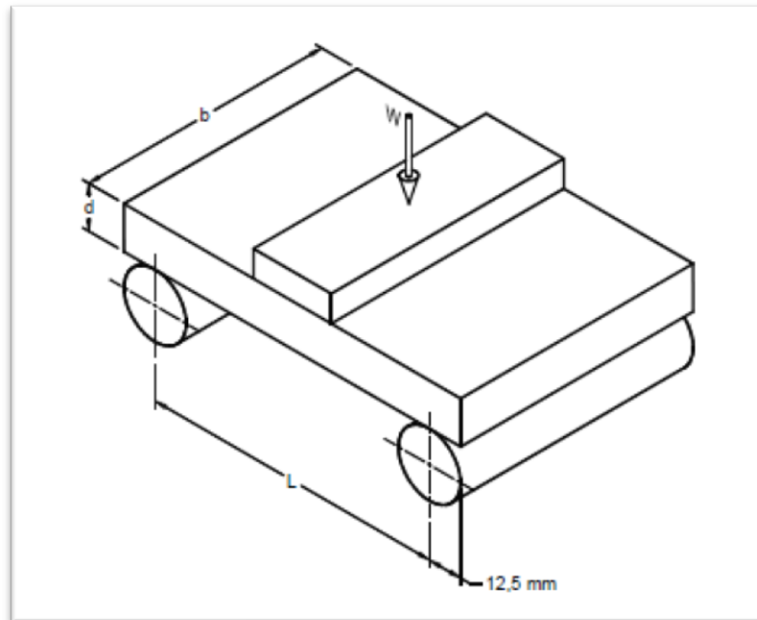
Los especímenes de ensayo deben ser cinco (5) unidades completas y secas.

#### **e.2 PROCEDIMIENTO**

**e.2.1** Se coloca el espécimen con el lado plano hacia abajo, a menos que se especifique algo diferente, lo cual se debe consignar en el respectivo informe, (es decir, se aplica la carga en la dirección de la profundidad de la unidad). Los soportes deben ser barras sólidas de acero de diámetro 25,4 mm  $\pm$  1,0 mm cuyo centro debe estar colocado a 12,5 mm  $\pm$  2,0 mm de cada borde del espécimen, el cual se carga en el centro de la luz de apoyo (véase la Figura 1). Si los especímenes tienen reentrantes o ranuras, se colocan de tal manera que estas depresiones o ranuras queden en el lado de compresión. La carga se aplica a la cara superior del espécimen mediante una placa de apoyo de acero de 6,0 mm de espesor y 38,0 mm de ancho; su longitud debe ser como mínimo igual al ancho del espécimen.

**e.2.2** Es necesario cerciorarse de que los soportes del espécimen están libres para rotar en dirección longitudinal y transversal a éste y se deben ajustar de manera que no ejerzan fuerza en estas direcciones.

Figura 6. Diagrama del montaje modulo de rotura



Fuente. NTC 4017

En donde

$W$  = carga aplicada, en N

$L$  = distancia entre los soportes de apoyo

$B$  y  $d$  = ancho y alto respectivamente, en mm

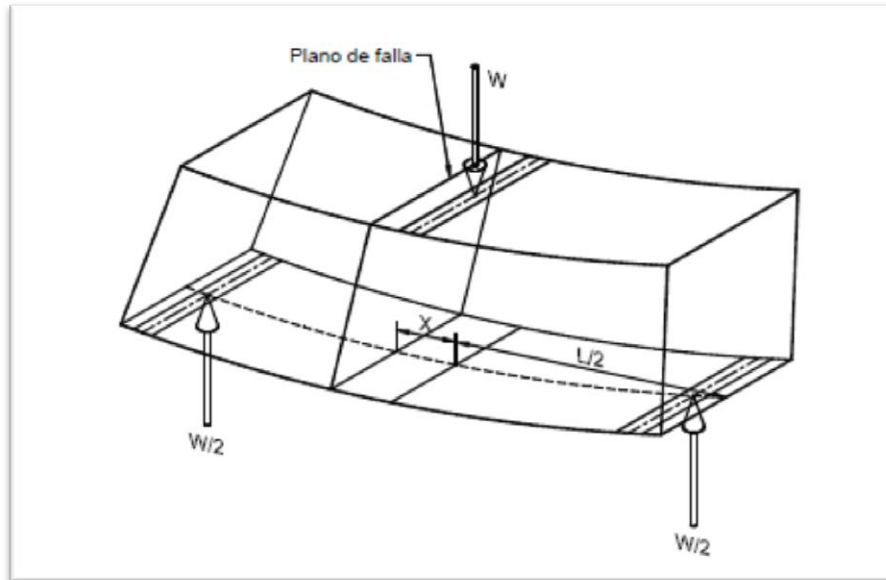
### e.2.3 Velocidad de aplicación de la carga

La velocidad de carga no debe exceder los 8 900 N/min; sin embargo, se puede considerar que este requisito se cumple, si la velocidad de la cabeza móvil, durante la aplicación de la carga, es inferior a 1,3 mm/min.

## e.3 CÁLCULOS E INFORMES

**e.3.1** El módulo de rotura de cada espécimen se calcula de la siguiente manera:

Figura 7. Diagrama de cuerpo libre de para la deducción de la fórmula del modulo de rotura



Fuente. NTC 4017. Ensayos de flexión

$$MR = \frac{3W}{bd^2} \left( \frac{l}{2} - x \right)$$

MR = modulo de rotura de la muestra en el plano de falla [Pa]

W = carga máxima indicada por la maquina [N]

L = distancia entre los soportes (medida de centro a centro) [mm]

b = ancho neto (distancia de cara a cara) de la muestra en el plano de falla [mm]

d = profundidad (distancia de la cara superior hasta el plano de apoyo) de la muestra en el plano de falla [mm]

x = distancia promedio del plano de falla al centro de la pieza, medida en la dirección de la línea central de la superficie sometida a tensión [mm]

## f. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

### f.1 ESPECÍMENES DE ENSAYO

Para unidades de mampostería o ladrillos que sean macizos, semimacizos o adoquines, los especímenes de ensayo deben ser unidades secas que contengan la altura y el ancho completos de la unidad tal como se usa en el muro o en el enladrillado, pero con una longitud igual a la mitad de la longitud de la pieza entera  $\pm 25$  mm; y se someten a carga en la misma posición que ocuparían en su aplicación. Si ocurre que los especímenes descritos exceden la capacidad de la máquina de ensayo, entonces deben consistir de unidades secas

de la pieza con la totalidad de la altura y ancho de la unidad original, con una longitud no menor que una tercera parte de la longitud de la pieza original y con una sección transversal perpendicular a la dirección de carga, no menor de 90 cm<sup>2</sup>.

Los especímenes para ladrillos perforados o bloques de cualquier tipo o clase, son unidades enteras que se someten a carga en la misma posición que ocupan en la mampostería. Cuando el equipo de ensayo tenga limitaciones de capacidad de carga o de dimensiones de las platinas de apoyo y transferencia de carga según lo establecido en el numeral 7.3.3, las unidades de ensayo se deben reducir mediante el corte con disco o sierra a la mitad de su longitud, manteniendo la totalidad de la altura y el ancho original  $\pm 25$  mm. Para unidades de perforación vertical, se debe garantizar que la pieza resultante del corte, además de cumplir con los requisitos anteriores, debe estar completamente contenida dentro de una o más celdas, es decir no deben quedar salientes o reentrantes en el espécimen de ensayo.

Los especímenes de ensayo deben ser obtenidos por cualquier método de corte que no les produzcan fisuras o desportillados, y que permita obtener caras opuestas aproximadamente planas y paralelas. Se deben ensayar cinco (5) especímenes.

La resistencia a compresión del espécimen cortado, se debe considerar como la resistencia a la compresión de la unidad completa.

La relación entre las dimensiones de las platinas de carga y las de las unidades de ensayo, deben cumplir con lo establecido en el Anexo A de esta norma.

## **f.2 REFRENTADO DE LAS UNIDADES**

**f.2.1** Todos los especímenes deben estar secos y a temperatura ambiente de acuerdo con lo establecido en los numerales d.1 y d.2, antes de aplicar cualquier etapa del proceso de refrentado.

**f.2.2** Si las superficies que servirán para aplicar la carga durante el ensayo de compresión, presentan salientes o reentrantes, éstas se deben rellenar con morteros compuestos por una parte en peso de cemento de endurecimiento rápido, de acuerdo con los requisitos para cemento tipo III (véase la norma ASTM C150 o NTC 121) y dos partes por peso de arena. No se deben refrentar especímenes antes de que el mortero de relleno tenga 48 h de edad. Se refrentan los especímenes utilizando uno de los dos procedimientos descritos en los numerales f.2.3 o f.2.4.

### **f.2.3 Refrentado con yeso**

Se recubren las dos caras opuestas de carga de cada espécimen con laca y se dejan secar. Se asienta una de las superficies del espécimen con la laca seca del espécimen sobre una capa delgada de pasta pura de yeso calcinado (“*plaster of paris*”) (véase la Nota 5), la cual ha sido extendida sobre un plato aceitado, no absorbente, tal como un vidrio o una placa

metálica maquinada. La superficie del plato debe encontrarse plana dentro del rango de 0,076 mm en una longitud de 400 mm. Debe ser suficientemente rígido y ser soportado de tal forma que no se presenten deflexiones medibles durante la operación de refrentado. Se aplica una capa delgada de aceite o de otro material adecuado y se repite este procedimiento con la otra superficie cubierta con laca. Se debe observar que las caras opuestas de carga formadas sean aproximadamente paralelas y perpendiculares al eje vertical del espécimen y que los espesores de los refrentados sean aproximadamente los mismos, sin exceder 3,2 mm. Los refrentados deben tener al menos 24 h antes de ensayar los especímenes.

NOTA 5. El yeso *plaster of paris* es un yeso de la forma  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$  (Hemihidrato) típicamente de alta resistencia a la compresión, diferente a los yesos comunes de construcción que son de la forma  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  de menores resistencias a la compresión. Por lo tanto se recomienda el uso de yesos tipo Hidrostone o Hidrocal para el proceso de refrentado.

NOTA 6. El recubrimiento de laca se provee para disminuir la absorción de agua por parte de la pieza al momento de la aplicación del refrentado de yeso.

### **f.3 PROCEDIMIENTO**

**f.3.1** Se ensayan los especímenes en una posición tal que la carga sea aplicada en la dirección en que van a estar puestos en servicio. Los especímenes se centran bajo el soporte esférico superior con una tolerancia de 1,6 mm.

**f.3.2** La máquina de ensayos debe cumplir con lo establecido en la norma NTC-ISO 7500-1 para Clase 1.

**f.3.3** La máquina de ensayo debe tener una precisión de  $\pm 1,0 \%$  sobre el rango provisto de carga, el soporte superior debe estar provisto de una rótula esférica con un bloque de metal endurecido, firmemente fijado al centro de la cabeza superior de la máquina. El centro de la esfera debe descansar en el centro de la superficie del bloque metálico en contacto con el espécimen. Este bloque debe ser sostenido lo más cercano posible en el asiento esférico, pero debe estar libre para bascular en un ángulo de aproximadamente  $3^\circ$  en cualquier dirección para permitir especímenes cuyas superficies no sean exactamente paralelas. La máquina de ensayo debe estar equipada con una rótula cuyo diámetro debe ser al menos 125. Se permite el uso de una platina metálica endurecida debajo del espécimen para minimizar el desgaste del plato inferior de la máquina. Las superficies de los bloques de carga que estarán en contacto con el espécimen, deben tener una dureza mayor o igual a 55 HRC. Cuando el área de cualquiera de los bloques de carga o apoyo (superior o inferior) no sea suficiente para cubrir el área del espécimen, se debe colocar una platina metálica adicional con superficies maquinadas que no deben desviarse del plano en más de 0,01 mm por cada 100 mm y con un espesor igual al menos, a la distancia que hay desde el borde de la rótula de carga y la esquina más alejada del espécimen refrentado; la longitud y el ancho de la pieza intermedia adicionada debe ser al menos 6,0 mm más grande que la longitud y

el ancho de la unidad a ensayar. Los espesores de las platinas de ensayo se determinan de acuerdo con lo establecido en el Anexo A de esta norma.

Si el espesor de las platinas adicionales no cumple con el requisito de ser igual o mayor que la distancia existente entre el borde de la rótula y la esquina más alejada del espécimen, entonces todos los especímenes deben recortarse a la mitad de su longitud, de acuerdo con lo establecido en el numeral f.1 anterior.

## 3 DISEÑO METODOLÓGICO

### 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es experimental- descriptiva.

Experimental: se llevarán a cabo diversos ensayos los cuales permitirán entender la situación actual de la empresa, para lograr las situaciones deseadas y satisfacer las necesidades de producción de la empresa. Estos ensayos se realizarán en la parte física de la empresa con los equipos necesarios los cuales han sido propuestos para determinar el comportamiento ideal del proceso contra el real y así identificar las causas de pérdidas en el respectivo proceso.

Descriptiva: mediante los estudios a realizar se tratará de conocer la composición de las arcillas, temperatura máxima del horno, clasificación de la materia prima y las propiedades físicas finales de los ladrillos.

**3.1.2 Población.** La población en esta investigación corresponde a la línea de producción de bloques de arcilla de la empresa LADRILLERA OCAÑA, ubicada en el municipio de Ocaña.

**3.1.3 Muestra.** La muestra para la ejecución de este proyecto es la línea de quemado o cocción del producto de la empresa.

### 3.2 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

En esta etapa se recopilará información referente a la situación actual de los procesos, socializando con el personal de mayor trayectoria y conocimiento presente en la empresa y se realizará un análisis general de los datos obtenidos con el fin de comprender las necesidades y discrepancias en todas las etapas de elaboración del producto, para así tener una idea clara del proceso de elaboración del producto y poder enfocar la idea a la optimización del proceso de cocción.

### 3.3 FASES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**Fases para el desarrollo de la propuesta cumpliendo los objetivos específicos:** Se formula cada una de las fases y sus respectivas actividades a fin de dar solución al problema de investigación, las cuales son:

**3.3.1 FASE I. Indagación del tema.** En esta primera instancia del proyecto investigativo se cumplirá con el objetivo específico de conocer el horno actual que existe en la ladrillera y su método de quemado de ladrillo



**3.3.2 FASE II. Moldeamiento de la propuesta.** Esta etapa del proyecto se identificarán los factores que rigen u orientan el proceso de cocción, realizando análisis de las condiciones con las que cuentan en la empresa y una serie de ensayos térmicos a las arcillas para luego proceder a posicionar estratégicamente los medidores de temperatura, considerando factores determinantes a la hora de empezar con el proceso la temperatura de precalentamiento, humedad del bloque cerámico.

**3.3.3 FASE III. Presentación de la propuesta.** Luego de conocer las variables presentes en el proceso y estar al tanto de la composición y comportamiento estructural de la arcilla, se procederá a realizar el cuadro comparativo de las curvas de cocción actuales y su incidencia respecto a los ensayos realizados a los bloques cerámicos.

**3.3.4 FASE IV. Socialización de la propuesta.** Por último después de haber obtenido las conclusiones de la investigación y de dárselas a conocer a la junta directiva respecto a los costos beneficios que acarrearán a la empresa, cae en ella la responsabilidad de concretar dichas mejoras a la línea de secado viéndose reflejadas en la calidad del producto final.

## 4. ANÁLISIS DEL HORNO HOFFMAN DE LA LADRILLERA Y SU MÉTODO DE QUEMA.

### 4.1 GENERALIDADES DEL HORNO HOFFMAN.

“Horno continuo, de forma anular, utilizado en la cocción de materiales cerámicos, principalmente bizcochados -ladrillos, tejas y baldosas, aunque también se destinó a los vidriados -azulejos- y otros materiales de construcción como la cal”<sup>5</sup>. Fue diseñado por el ingeniero alemán Friedrich Hoffman en el año 1858 quien patenta en Prusia y Austria el revolucionario invento, extendiéndose su uso en el último tercio del siglo XIX.

“En el País Valenciano su generalización se producirá a comienzos del siglo XX, como respuesta de la importante demanda de materiales de construcción en este período. El nuevo concepto del horno continuo mejoraba en dos terceras partes la eficiencia energética de los hornos intermitentes. Los primeros hornos Hoffman presentaban una planta circular compuesta de un canal de combustión, dividido a su vez en una serie de cámaras que podían separarse o ponerse en comunicación por medio de tabiques, una cámara concéntrica colectora de humos y una chimenea central. Esta tipología dio paso a otra más común de planta rectangular y ovalada en las cámaras interiores con sección abovedada, que mantiene las partes indicadas, si bien la chimenea queda fuera del horno”<sup>6</sup>.

**4.1.1 Funcionamiento de los hornos Hoffman.** “El principio de cocción de un horno Hoffman consiste en el hecho de que el fuego se propaga de una forma continua de una cámara a otra, de modo que el calor generado en una cámara es aprovechado en la cocción que va a realizarse en la siguiente, efectuándose de forma sucesiva la carga de material crudo y la descarga de los productos cocidos, al poseer cada cámara una puerta exterior independiente. El canal de combustión y la cámara de humos se comunican por medio de conductos subterráneos, cerrados a partir de válvulas, existiendo además en cada cámara diversas aberturas superiores por donde. Se introduce el combustible. Estos hornos se alimentaban con gas pobre, producido a partir de antracita, si bien para abaratar costos se recurría a otros combustibles como cáscara de almendra, serrín, huesos de oliva, etc. Los humos se concentran en la cámara colectora y desde aquí se desalojan a través de la chimenea que se sitúa en el exterior, la cual permite, asimismo, la entrada de aire necesaria para la combustión (ver fig. 8)”<sup>7</sup>.

En la actualidad existen varios tipos de alimentación para estos hornos, pueden ser a gas o carbón, con los cuales se obtienen materiales con propiedades favorables para la comercialización.

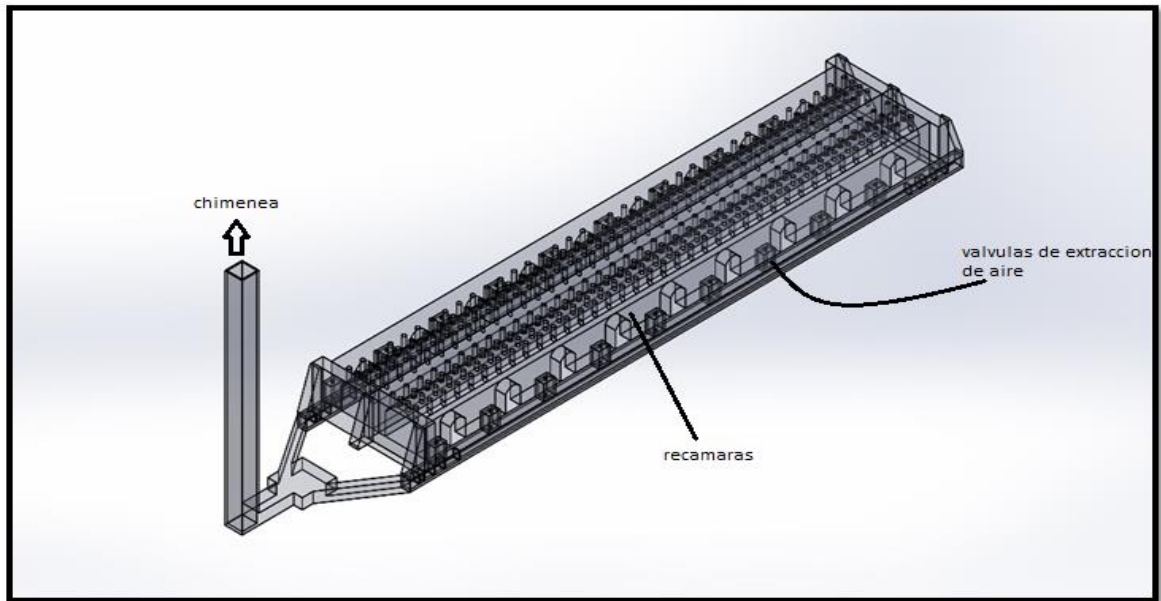
---

<sup>5</sup> <http://arqueologiaindustrial.files.wordpress.com/2010/06/horno-hoffmann.pdf>

<sup>6</sup> <http://arqueologiaindustrial.files.wordpress.com/2010/06/horno-hoffmann.pdf>

<sup>7</sup> <http://arqueologiaindustrial.files.wordpress.com/2010/06/horno-hoffmann.pdf>

Figura 8. Recamaras de un horno Hoffman



Fuente: autor del proyecto.

**4.1.2 Eficiencia en hornos Hoffman.** Existen muchos estudios realizados para identificar las eficiencias energéticas en el sector industrial del ladrillo, los cuales han aportado datos importantes.

La unidad de planeación minero-energetica (UPME) desarrollo una investigación sobre la determinación de eficiencia energetica en el sector industrial del ladrillo en Colombia la cual demostró datos significativos como lo muestra el cuadro 1.

Cuadro 1. Tabla de consumo específico nacional de energía

<b>Consumo Específico Nacional de Energía con Hornos Túnel: 1.523 MJ/ton</b>			
<b>Tipo de Horno</b>	<b>Producción de Ladrillo Ton/año</b>	<b>Ahorro Potencial de Energía TJ / año</b>	<b>Ahorro Potencial de Energía BEP / año<sup>1</sup></b>
Hoffmann	1.209.504	410	73.529
Periódicos	1.019.124	2.703	484.756
Intermitentes	179.700	2	359
<b>Subtotal</b>	<b>2.408.328</b>	<b>3.115</b>	<b>558.644</b>

Fuente: estudio de eficiencia minero-energética en Colombia (UPME)

## 4.2 HORNO HOFFMAN DE LA LADRILLERA OCAÑA

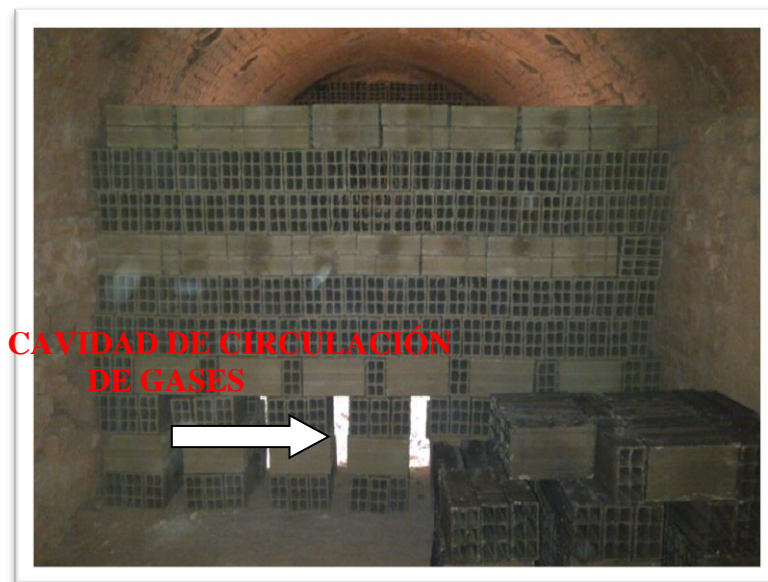
Se construye en el año 1999 un horno Hoffman de tiro inducido con capacidad de producir 500.000 piezas mensuales y así mismo un secadero natural de 2586 m<sup>2</sup> y en el año 2003 se construye un secadero artificial de 6000 piezas diarias.

En el 2007 se cambia totalmente la línea de producción, se adquieren equipos de mayor capacidad y de mejor tecnología con el objetivo de trabajar con mayor eficiencia y calidad. Posteriormente se amplía el horno Hoffman 54 metros de longitud y en el 2009 se cambia las ramadas de zinc de los secaderos por plástico, dando un proceso secado más rápido.

Entre el año 2010 y 2011, se adquieren dos equipos de mayor capacidad en la línea de producción (mezclador y molino laminador 800), en donde deja la posibilidad de desarrollar y mejorar la calidad del producto actual. Además se amplía 18 metros más el horno Hoffman quedando de 72 metros y se constituye un nuevo secadero artificial con tecnología que minimiza el impacto ambiental.

**4.2.1. Funcionamiento y quema de ladrillo en el horno Hoffman de la ladrillera Ocaña.** La ladrillera Ocaña cuenta con un horno Hoffman de tiro inducido mediante un extractor de aire y tiene capacidad para producir 500.000 bloques cerámicos al mes, los cuales se distribuyen uniformemente en las 24 recamaras del horno, cada recamara almacena 5 hileras de 620 bloques por monto, posicionados de tal manera que circulen los gases entre las recamaras, como lo muestra la fig 9, separados 60 centímetros entre sí con un ancho de 60 centímetros.

Figura 9. Distribución de bloques en el horno.



Fuente: autor del proyecto.

El método de quema utilizado en este horno se realiza por medio de 2 carbojets, el primero de precalentamiento y el segundo de quema, manejándose una distancia entre ellos de 3 metros debido a que por su proximidad puede fundirse el material y acarrear pérdidas. El carbojet inyecta el carbón molido desde la parte superior del horno para que se incinere en su caída y se distribuya mejor. Luego el extractor succiona el fuego desplazándolo entre las hileras de ladrillos como se ve en la fig. 8, moviendo el fuego entre las recamaras.

El proceso de cocción del bloque cerámico, desde que se sellan las puertas de las recamaras del horno, tarda de 36 a 38 horas para obtención del producto terminado, luego se le suministra aire mediante ventiladores, para disminuir la temperatura hasta 60°C aproximadamente y pueda ser accesible en ingreso de los obreros para el retiro del material cocido por medio de carretas siendo trasladados al patio de almacenamiento.

## 5. PERFILES DE TEMPERATURA DEL HORNO HOFFMAN DE LA LADRILLERA OCAÑA.

### 5.1 SOFTWARE LABVIEW.

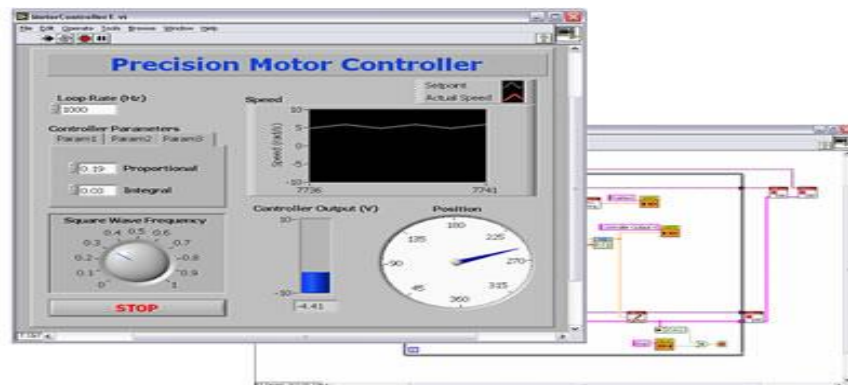
“Es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas con un lenguaje de programación visual gráfico. Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad. El lenguaje que se usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje gráfico.

Este programa fue creado por National Instruments (1976) para funcionar sobre máquinas MAC, salió al mercado por primera vez en 1986. Ahora está disponible para las plataformas Windows, UNIX, MAC y GNU/Linux. La última versión es la 2013, con la increíble demostración de poderse usar simultáneamente para el diseño del firmware de un instrumento RF de última generación, a la programación de alto nivel del mismo instrumento, todo ello con código abierto.

Los programas desarrollados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales, o VIs, y su origen provenía del control de instrumentos, aunque hoy en día se ha expandido ampliamente no sólo al control de todo tipo de electrónica (Instrumentación electrónica) sino también a su programación embebida, comunicaciones, matemáticas, etc.

Como se ha dicho es una herramienta gráfica de programación, esto significa que los programas no se escriben, sino que se dibujan, facilitando su comprensión. Al tener ya pre-diseñados una gran cantidad de bloques, se le facilita al usuario la creación del proyecto, con lo cual en vez de estar una gran cantidad de tiempo en programar un dispositivo/bloque, se le permite invertir mucho menos tiempo y dedicarse un poco más en la interfaz gráfica y la interacción con el usuario final, como lo muestra la fig. 10<sup>8</sup>.

Figura 10. Interfaz labVIEW



Fuente: autor del proyecto

<sup>8</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>

## 5.2 DISEÑO DEL EJECUTABLE PARA LA TOMA DE DATOS.

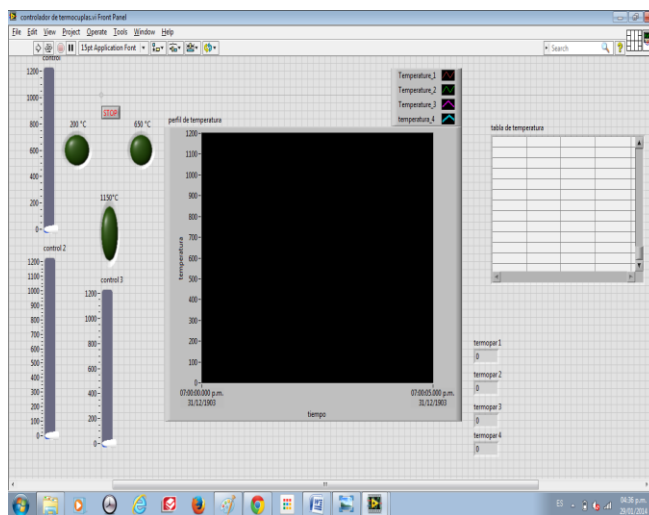
Para la creación del ejecutable de adquisición de datos se tuvieron en cuenta las variables de control y monitoreo como lo son la temperatura, el tiempo y almacenamiento, necesarias para obtención de los datos, seleccionando los comandos adecuados que se mostraran a continuación. En estas interfaces se definen los *controles* (los usamos como entradas, pueden ser botones, marcadores etc.) e *indicadores* (los usamos como salidas, pueden ser gráficas....).

Labview es un software muy completo a la hora de adquirir datos de diferentes variables, consta de 2 ventanas las cuales las cuales son: *diagrama de bloques* y *panel frontal*.

**5.2.1 Panel frontal.** Se trata de la interfaz gráfica del VI (*virtual instrument*) con el usuario. Esta interfaz recoge las entradas procedentes del usuario y representa las salidas proporcionadas por el programa. Un panel frontal está formado por una serie de botones, pulsadores, potenciómetros, gráficos, etc. Cada uno de ellos puede estar definido como un control o un indicador. Los primeros sirven para introducir parámetros al VI, mientras que los indicadores se emplean para mostrar los resultados producidos, ya sean datos adquiridos o resultados de alguna operación.

El diseño del presente panel frontal está enfocado en la visualización de las etapas del ciclo de cocción para evidenciar los respectivos cambios de temperatura y poder almacenar o tabular en un libro de Excel, haciendo más fácil la manipulación de dichos datos a la hora de graficar. Los comandos utilizados fueron leds (booleanos), tablas graficas y numéricas, e indicadores numéricos individuales para cada uno de los termopares y temporizadores, como lo muestra la fig. 11.

Figura 11. Panel frontal de labview



Fuente: autor del proyecto

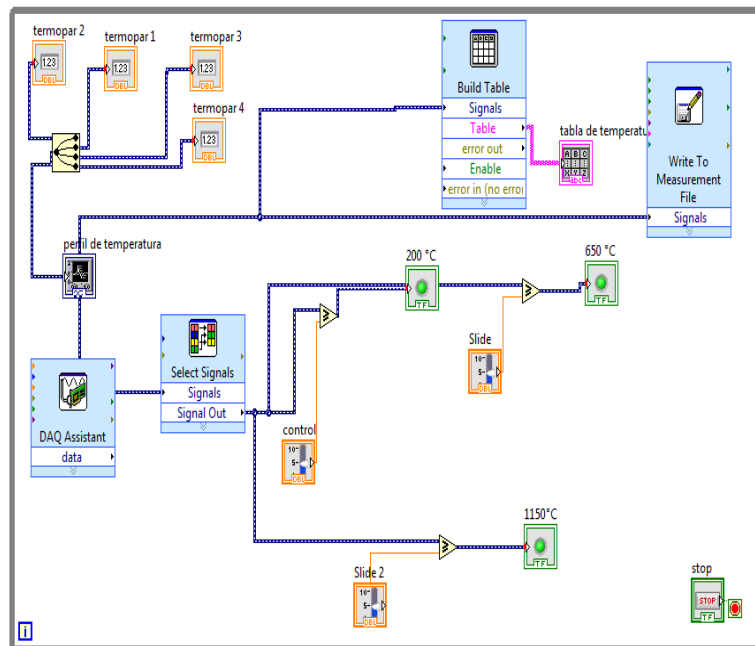
**5.2.2 Diagrama de bloques.** El diagrama de bloques constituye el código fuente del VI. En el diagrama de bloques es donde se realiza la implementación del programa del VI para controlar o realizar cualquier procesamiento de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal. El diagrama de bloques incluye funciones y estructuras integradas en las librerías que incorpora Labview. En el lenguaje G las funciones y las estructuras son nodos elementales. Son análogas a los operadores o librerías de funciones de los lenguajes convencionales.

Los controles e indicadores que se colocaron previamente en el Panel Frontal, se materializan en el diagrama de bloques mediante los terminales. El diagrama de bloques se construye conectando los distintos objetos entre sí, como si de un circuito se tratara. Los cables unen terminales de entrada y salida con los objetos correspondientes, y por ellos fluyen los datos.

Labview posee una extensa biblioteca de funciones, entre ellas, aritméticas, comparaciones, conversiones, funciones de entrada/salida, de análisis, etc.

En la fig. 12 se muestra el esquema del diagrama de bloques diseñado para la adquisición de datos. Las funciones de más importancia utilizadas en esta interfaz son: *DAQ assistant* el cual configura y recibe la información de la tarjeta de adquisición de datos para luego enviarlos a los *indicadores numéricos* y *gráficos*, logrando su respectiva visualización inmediata y a su vez el comando *write to measurement file* los almacena en un libro de Excel facilitando su manejo.

Figura 12. Diagrama de bloques labview



Fuente: autor del proyecto



### 5.3. INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y TERMOPARES.

En el instante en que se llenan las recamaras con los bloques cerámicos, se procede a sellar las puertas con caolín y a posicionar los termopares tipo K, con bulbo de aleación cromo-aluminio, verificando las distancia al monto donde se quiere detectar la temperatura en determinado tiempo y observando que no hayan fugas térmicas en las puertas, evitando el contacto directo de la cabeza de la termocupla al calor, puesto que si alcanza temperaturas mayores a 80°C se descalibra automáticamente demostrando inconsistencia y por defecto datos erróneos. Ver fig13 y14.

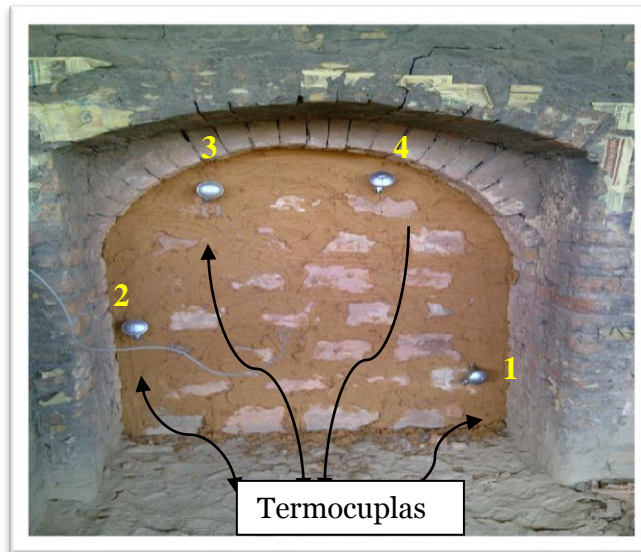
La distancia de la puerta de la recamara seleccionada para la toma de datos, al cuarto de monitoreo donde van a ir situados los dispositivos, son 20 metros, que constituyen los mismos metros de cable necesarios para la conexión de los termopares a la tarjeta de adquisición de datos NI 9211 (modulo para termopares) que tiene una capacidad máxima para 4 termocuplas, y va conectada al chasis NIcDAQ 9174 (contenedor de módulos) el cual se conecta al computador que contiene el software labVIEW (ver fig 15). Existen diferentes referencias de tarjetas de adquisición de datos y chasis los cuales pueden llegar a contener hasta 16 termopares y 8 tarjetas DAQ (en el caso de los chasis) dependiendo el trabajo a realizar.

Figura 13. Sellado manual de puertas mediante caolín



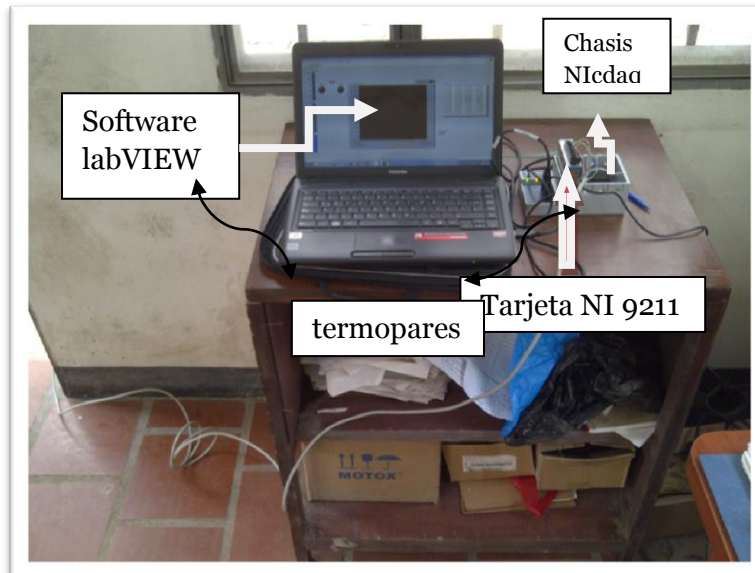
Fuente: autor del proyecto

Figura 14. Posición de termopares en el horno



Fuente. Autor del proyecto.

Figura15. Dispositivos de monitoreo y software labview



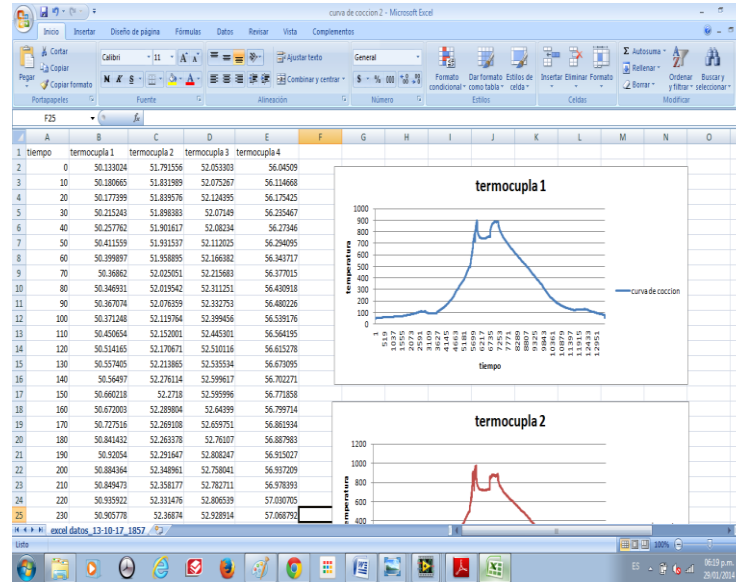
Fuente: autor del proyecto

#### **5.4 REGISTRO Y ALMACENAMIENTO DE DATOS**

Luego del posicionamiento estratégico de los termopares e instalación de los dispositivos de monitoreo se realizó el almacenamiento de los datos obtenidos, en un libro de Excel,

como lo muestra fig. 16. El software labview tiene la capacidad de registrar infinitos datos de cada termopar en un intervalo de 1 a 10 segundos dependiendo de su configuración.

Figura 16. Almacenamiento de datos en Excel

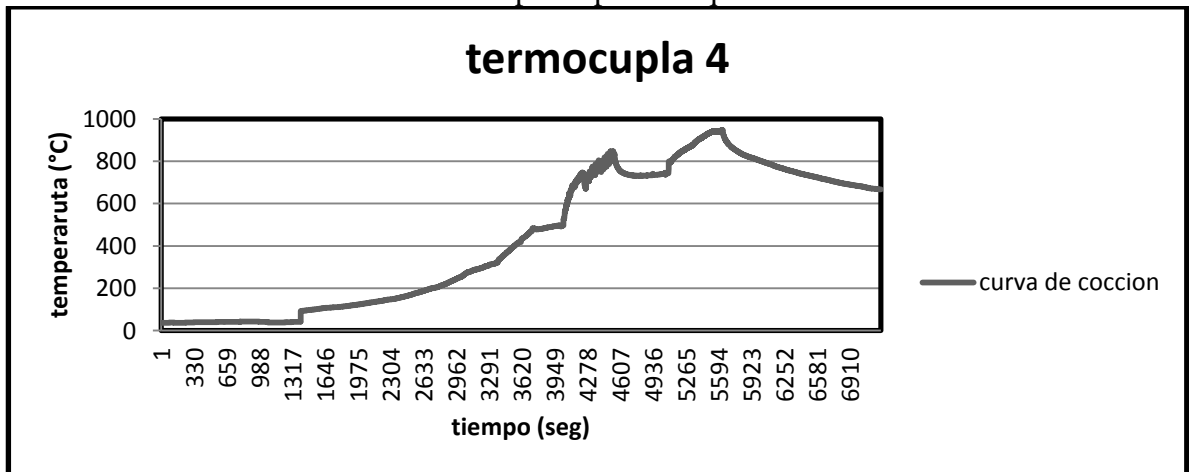


Fuente: autor del proyecto

## 5.5 PERFILES DE TEMPERATURA

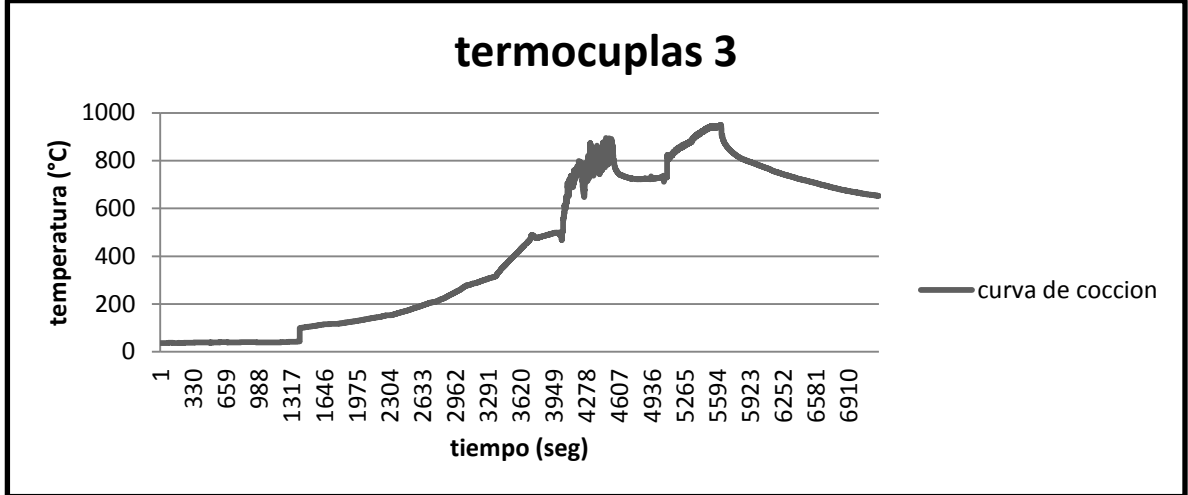
5.5.1. Luego de la primera toma de datos, se grafica las curvas de cocción del horno Hoffman como se muestran en las graficas 1, 2, 3 y 4.

Grafica 1. Curva de cocción de termocupla 4 primera quema



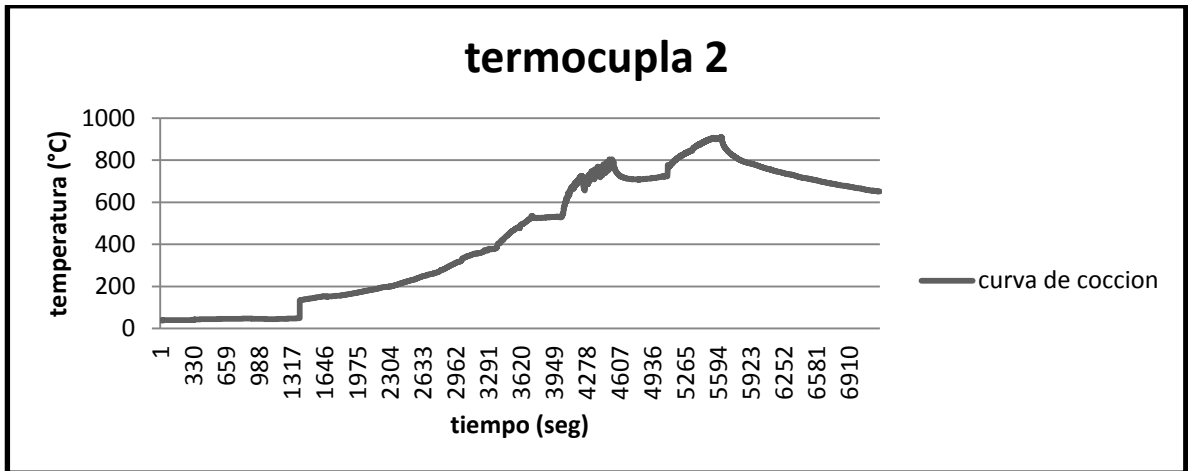
Fuente: autor de proyecto

Grafica 2. Curva de coccion de termocupla 3 primera quema



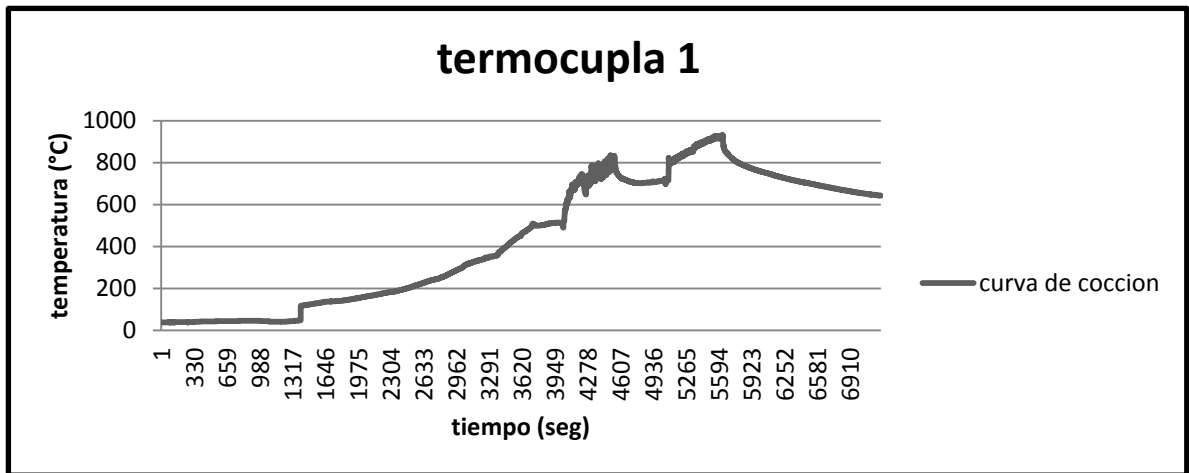
Fuente: autor del proyecto

Grafica 3. Curva de coccion de termocupla 2 primera quema



Fuente: autor del proyecto

Grafica 4. Curva de cocción de termocupla 1 primera quema.

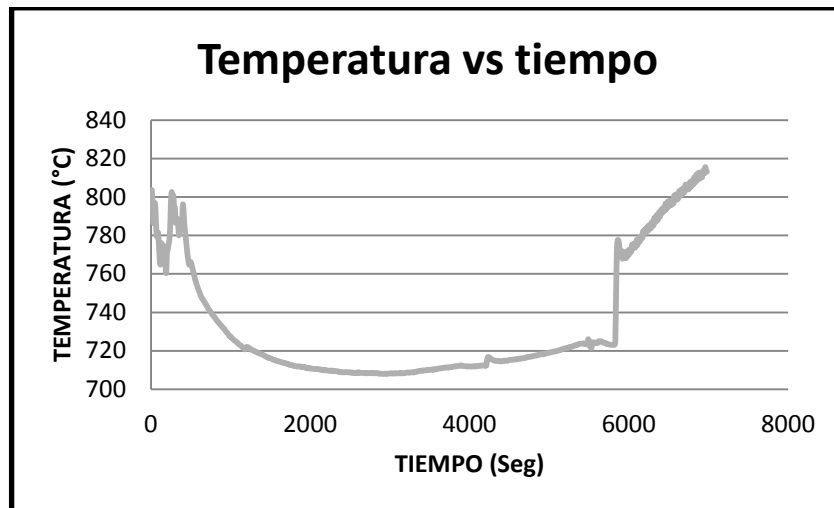


Fuente: autor del proyecto

En esta primera toma de datos se observan las variantes térmicas debido al ruido y la temperatura registrada en los 4 termopares. La de mayor importancia y más significativa aparece a los 800°C, ya que la recámara sufre un decaimiento de 100°C llegando a una temperatura de 700°C y manteniéndose durante un intervalo de dos horas, aumentando hasta llegar a su temperatura máxima de 950°C como lo muestra la grafica 5. Eso se debe al arribo del primer cabojet al punto donde se encuentran posicionados los termopares, por ende, temperatura sube hasta los 850°C.

Debido a que la longitud de separación entre los carbojets es de tres metros, (mesa de quema) la temperatura en dicho intervalo tiende a disminuir al pasar el primer cabojet, volviendo a aumentar cuando pasa el segundo cabojet produciendo el incremento temperatura máxima del horno.

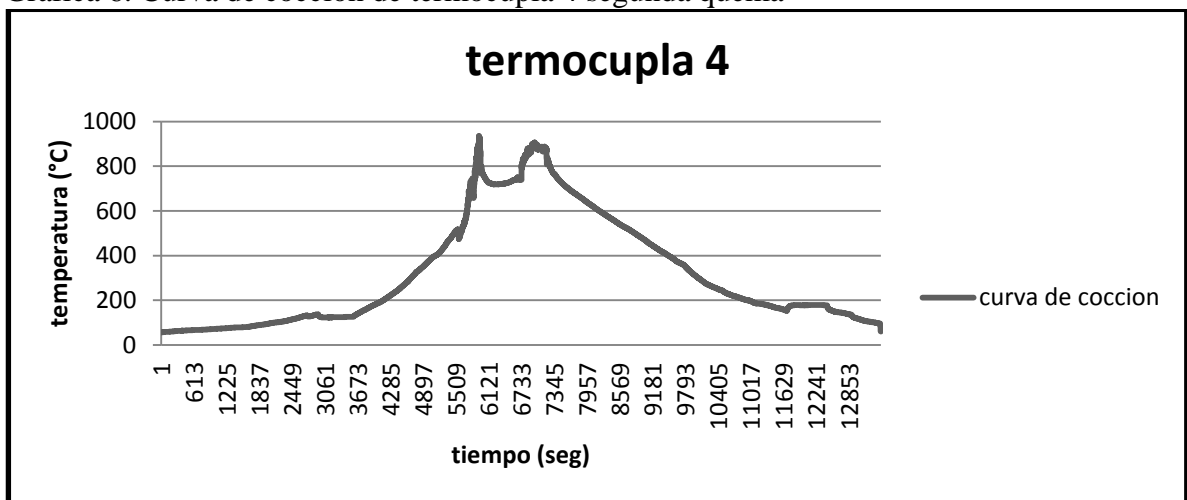
Grafica 5. Intervalo de tiempo en el que decrece la temperatura en el horno Hoffman



Fuente: autor del proyecto

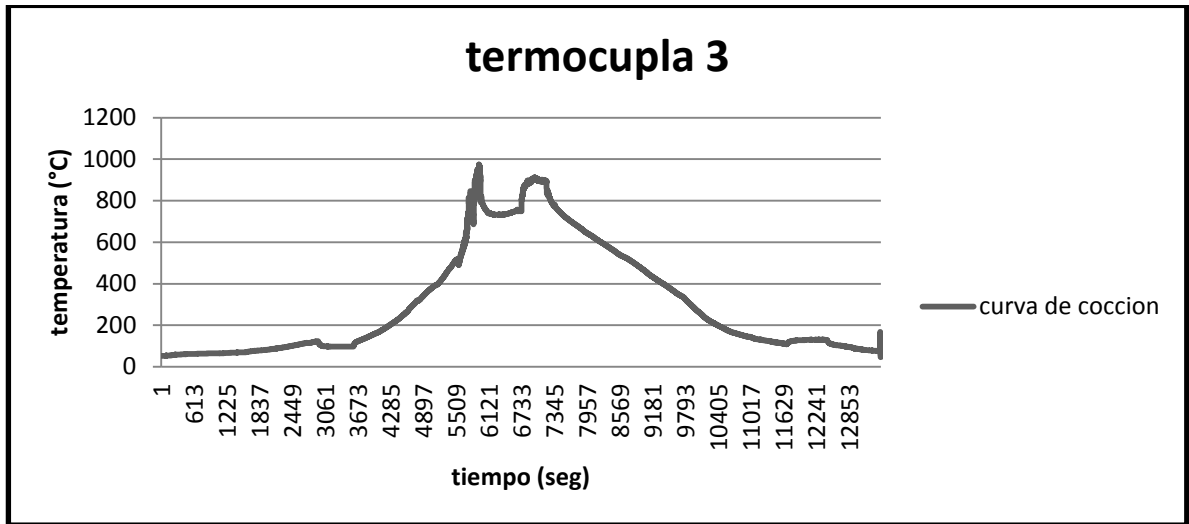
5.5.2. Segunda toma de datos y curvas de cocción.

Grafica 6. Curva de cocción de termocupla 4 segunda quema



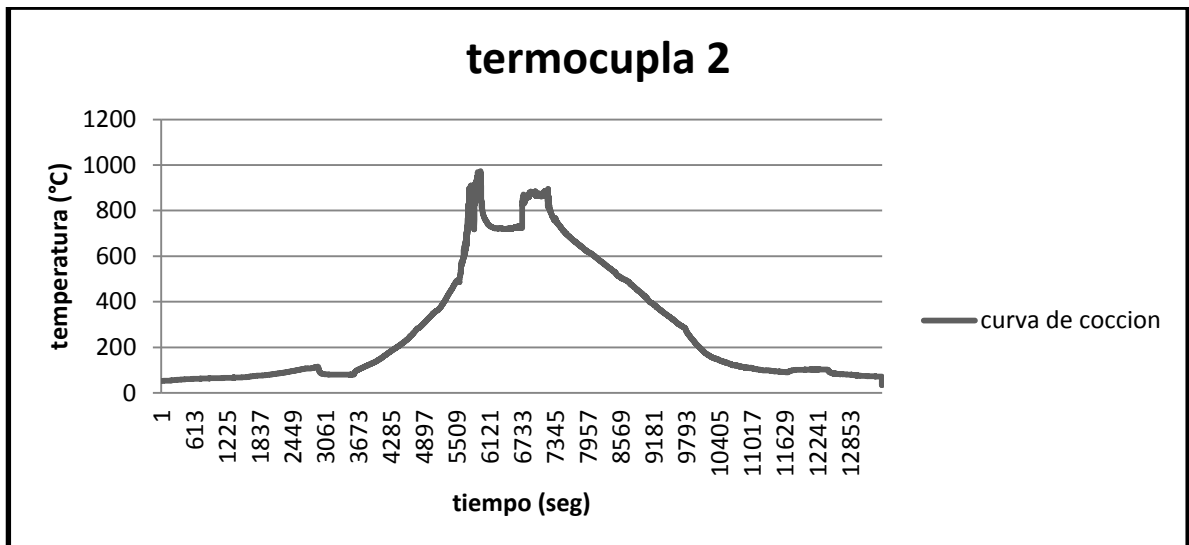
Fuente: autor del proyecto

Grafica 7. Curva de cocción de termocupla 3 segunda quema



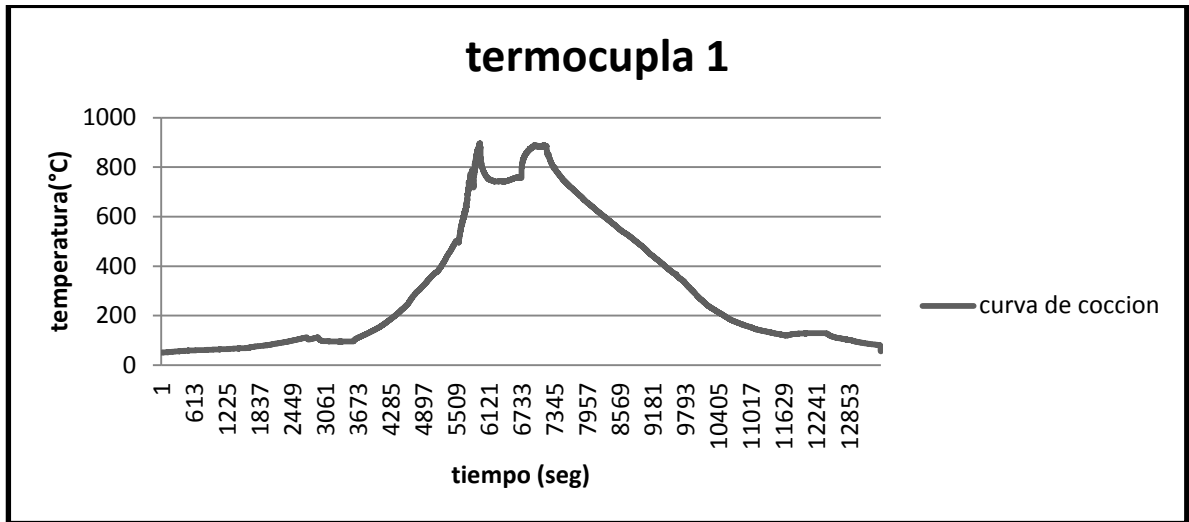
Fuente: autor del proyecto

Grafica 8. Curva de cocción de termocupla 2 segunda quema



Fuente autor del proyecto

Grafica 9. Curva de cocción de termocupla 1 segunda quema



Fuente: autor del proyecto

En esta segunda fase de la toma de datos se observa que en las curvas de quema se vuelve a plasmar la caída de temperatura registrada por los termopares, y se descarta el mal manejo del operario, pero se evidencia que el primer cabojet (de precalentamiento) está alcanzando temperaturas más elevadas que el segundo carbojet, siendo este el de quema.

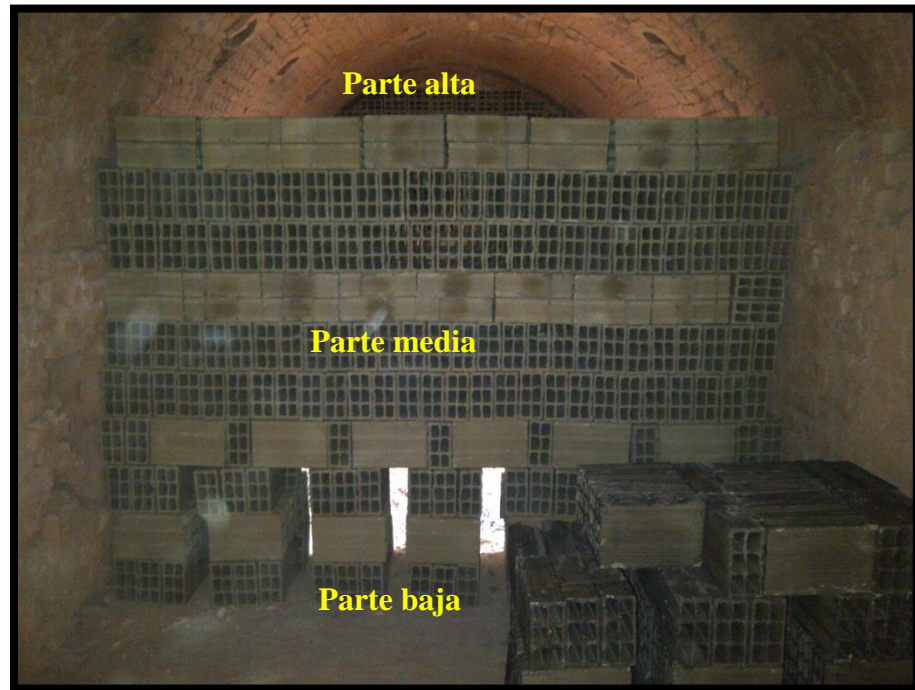


## 6. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS BLOQUES CERÁMICOS.

### 6.1 SELECCIÓN DE BLOQUES PARA LOS ENSAYOS

Se seleccionaron bloques de referencia H 10 de la parte baja, media y alta (ver fig 17) del horno Hoffman de la ladrillera Ocaña, con dimensiones de 10 ancho x 20 alto x 30 largo, siendo este el más comercial dentro de la región.

Figura 17. Zonas de selección de bloques.



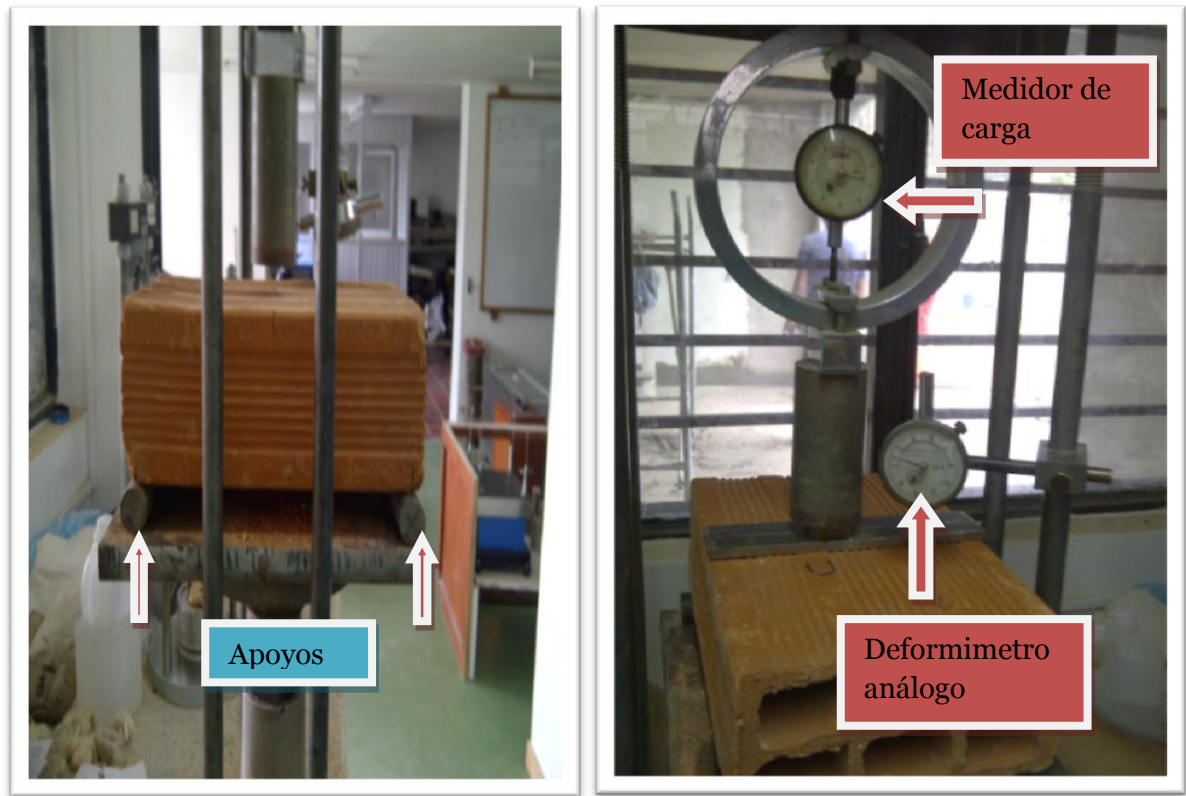
Fuente. Autor del proyecto.

### 6.2. ENSAYO DE FLEXIÓN EN LOS BLOQUES SELECCIONADOS

Para la realización de dichos ensayos fue necesario utilizar el gato hidráulico *cn 472* marca *soiltest* presente laboratorio de suelos, basándose en la norma NTC 4017 numeral (e) el cual explica las distancias entre apoyos a las cuales debe ir situado el bloque para la flexión como se muestra en la fig. 6 y fig. 18.

Se realizaron 5 ensayos para bloques del monto de la recámara seleccionada del horno.

Figura 18. Ensayo de flexión a bloques H-10.



Fuente: autor del proyecto

La utilización del gato hidráulico presente en el laboratorio de suelos de la universidad francisco de Paula Santander seccional Ocaña, como lo muestra la figura 18, hizo necesario la utilización de las tablas de calibración de fuerza n° 0495 existentes en dicho laboratorio (ver anexo A) para lograr la realización de conversión de datos arrojados por lo medidores análogos a unidades de fuerza.

### Muestra 1

**Carga:**

$$w = 454.2287 \text{ kgf} = 4451.4416 \text{ N}$$

**Dimensiones:**

$$l = 301.47 \text{ mm}$$

$$b = 195.28 \text{ mm}$$

$$d = 97.62 \text{ mm}$$

$$x = 10 \text{ mm}$$

$$Mr = \frac{3w\left(\frac{l}{2} - x\right)}{bd^2}$$

$$Mr = 1.01 \text{ N/mm}^2$$

**Muestra 2**

**Carga:**

$$w = 515.0756 \text{ kgf} = 5047.7410 \text{ N}$$

**Dimensiones:**

$$l = 299.74 \text{ mm}$$

$$b = 197.27 \text{ mm}$$

$$d = 97.62 \text{ mm}$$

$$x = 35 \text{ mm}$$

$$Mr = \frac{3w\left(\frac{l}{2} - x\right)}{bd^2}$$

$$Mr = 0.92 \text{ N/mm}^2$$

**Muestra 3**

**Carga:**

$$w = 412.1287 \text{ kgf} = 4038.8614 \text{ N}$$

**Dimensiones:**

$$l = 299.29 \text{ mm}$$

$$b = 196.84 \text{ mm}$$

$$d = 96.84 \text{ mm}$$

$$x = 15 \text{ mm}$$

$$Mr = \frac{3w\left(\frac{l}{2} - x\right)}{bd^2}$$

$$Mr = 0.88 \text{ N/mm}^2$$

**Muestra 4**

**Carga:**

$$w = 547.8567 \text{ kgf} = 5368.9901 \text{ N}$$

**Dimensiones:**

$$l = 299.67 \text{ mm}$$

$$b = 196.95 \text{ mm}$$

$$d = 97.57 \text{ mm}$$

$$x = 20 \text{ mm}$$

$$Mr = \frac{3w\left(\frac{l}{2} - x\right)}{bd^2}$$

$$Mr = 1.12 \text{ N/mm}^2$$

**Muestra 5**

**Carga:**

$$w = 421.4824 \text{ kgf} = 4130.5283 \text{ N}$$

**Dimensiones:**

$$l = 299.88 \text{ mm}$$

$$b = 196.78 \text{ mm}$$

$$d = 96.39 \text{ mm}$$

$$x = 13 \text{ mm}$$

$$Mr = \frac{3w\left(\frac{l}{2} - x\right)}{bd^2}$$

$$Mr = 0.93 \text{ N/mm}^2$$

Cuadro2. Resultados de flexión en bloques H-10.

<b>MODULO DE ROTURA DE LAS UNIDADES DE PERFORACION HORIZONTAL</b>					
<b>FABRICANTE</b>	<b>ESPECIMEN</b>	<b>CARGA (N)</b>	<b>TIEMPO (Seg)</b>	<b>MR (Pa)</b>	<b>PROMEDIO MR (Pa)</b>
<b>LADRILLERA OCAÑA</b>	<b>m1</b>	4,451.16	120	1010000	9720000
	<b>m2</b>	5,047.74	74	921000	
	<b>m3</b>	4,038.86	88	880000	
	<b>m4</b>	5,368.99	109	1120000	
	<b>m5</b>	4,130.53	114	930000	

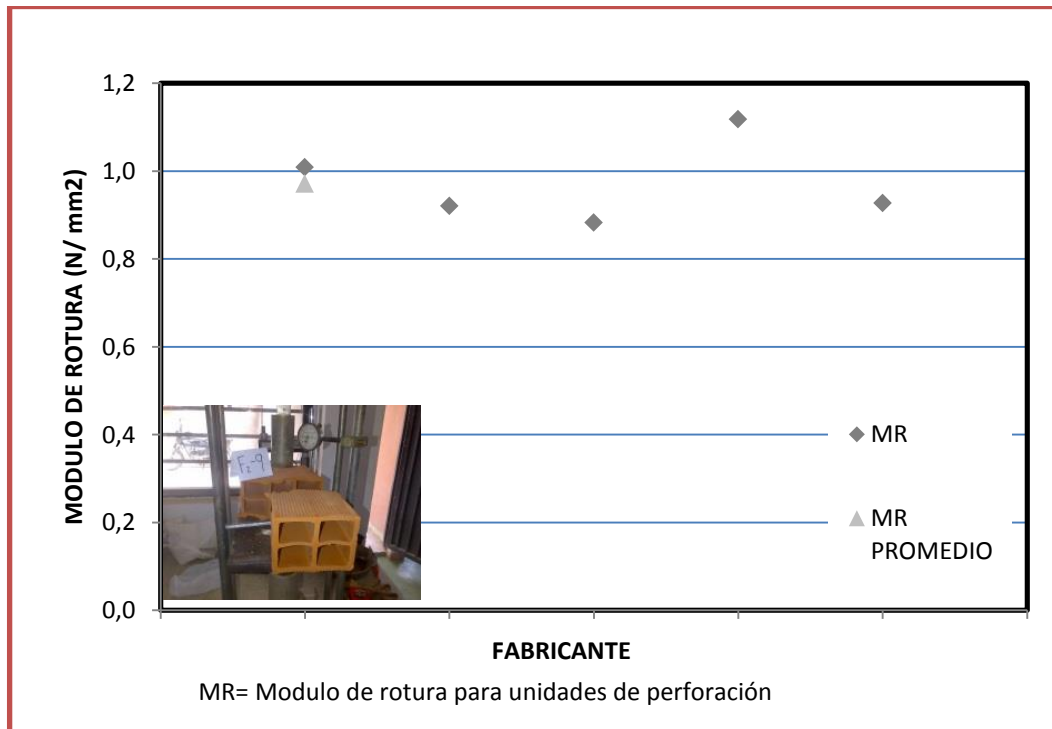
Fuente: autor del proyecto

Cuadro 3. Porcentaje de aceptación del modulo de rotura

Especimen	Resistencia a la compresión $f'_{cu}$ (Pa)	$f'_{cu}$ prom (Pa)	(10% y 50%) $f'_{cu}$
F1	2483000	1906000.4	50.88
	2197000		
	2292000		
	1308000		
	1252000		

Fuente: autor del proyecto

Grafica 10. Grafico de dispersión del modulo de rotura



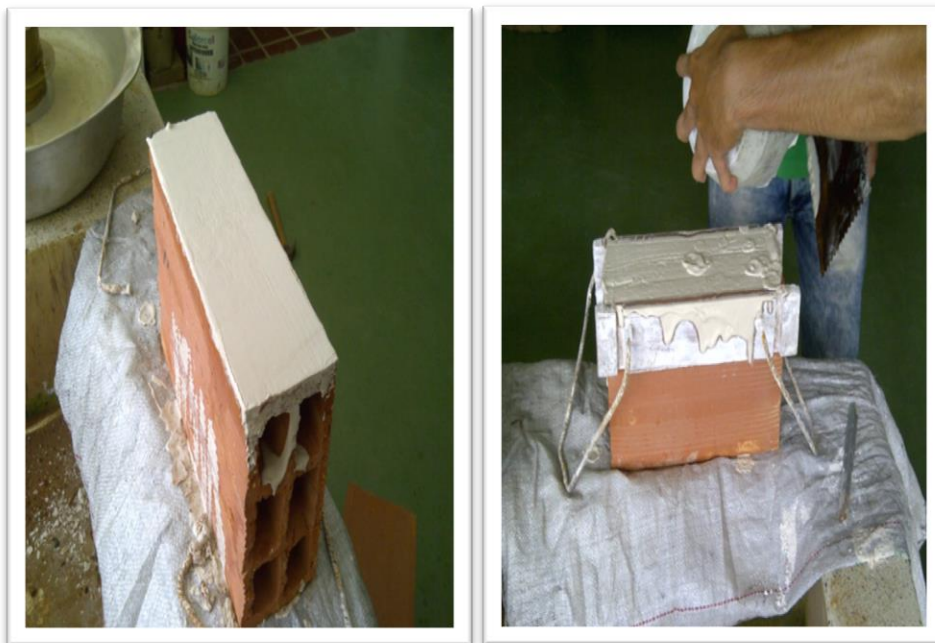
Fuente. Autor del proyecto.

### 6.3 ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES SELECCIONADOS

Para la realización de los ensayos de compresión se utilizó la maquina universal pinzuar existente en el laboratorio de resistencia de materiales de la universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña teniendo en cuenta la norma NTC 4017 la cual en el inciso (f) explica el procedimiento, muestreo y preparación del bloque a analizar.

**6.3.1 Refrentado en bloques.** Para realizar el refrentado en los bloques cerámicos de perforación horizontal se utilizo yeso de secado rápido *supermold* en la cara superior e inferior de los bloques a analizar, con un espesor máximo de 3 mm como lo muestra la norma NTC 4017 en los numerales **f.2.3** y **f.3** para que al momento realizar la compresión haya uniformidad de la carga en el área de contacto, dejando un tiempo de 24 horas para su óptimo secado y posterior realización de la prueba.

Figuras 19. Refrentado de bloques H-10.



Fuente: autor del proyecto

Figuras 20. Compresión en bloques H-10

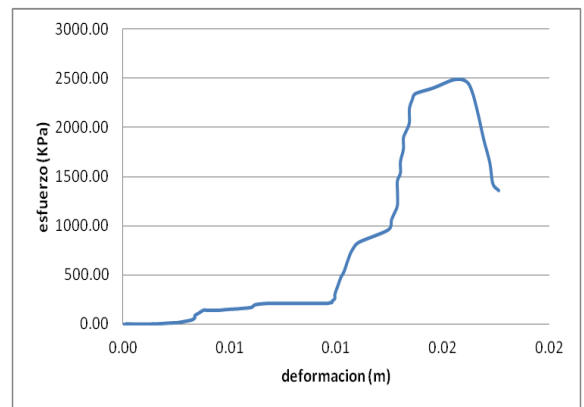


Fuente: autor del proyecto.

**6.3.2 Resultados de ensayos de compresión.** En las siguientes tablas se observan los datos arrojados por la maquina universal *marca pinzuar de capacidad máxima 1000 KN con dimensiones de 860x800x1420* (mm) existente en el laboratorio de resistencia de materiales de la universidad francisco de Paula Santander Ocaña y el registro manual de las dimensiones del bloque mediante un *calibrador digital standardGage de 350* (mm) con *tolerancias de 0.1 μm*, los cuales nos permitieron la realización de la curva esfuerzo vs deformación.

Grafica 11. Compresión muestra 1. Parte alta del monto de ladrillos.

<b>No. De la Serie</b>	1
<b>Dimensiones</b>	
<b>largo (mm)</b>	298.96
<b>ancho (mm)</b>	96.7
<b>alto (mm)</b>	196.65
<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	28 909
<b>Carga Máxima (kN)</b>	71.78
<b>Resistencia Real (Mpa)]</b>	2.483



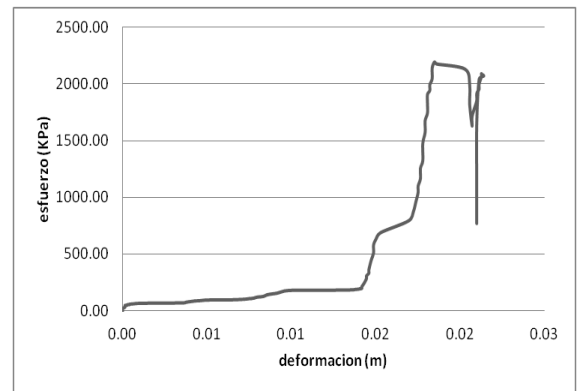
Fuente: autor del proyecto

Los datos arrojados por la maquina universal son en función del tiempo, fuerza y el desplazamiento, por ende, se utilizó la ecuación de esfuerzo según el libro mecánica de materiales R.C. hibbeler sexta edición, como se muestra a continuación:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Grafica 12. Compresión muestra 2. Parte alta del monto de ladrillos.

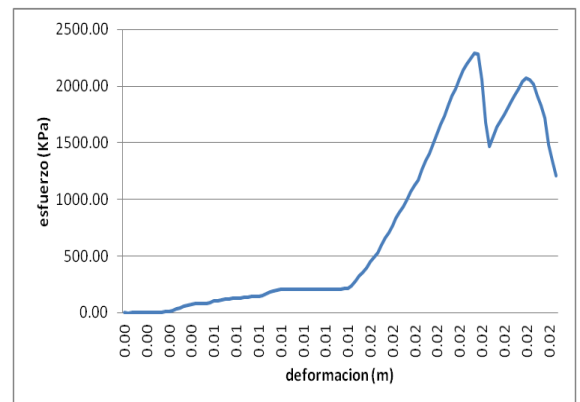
<b>No. De la Serie</b>	1
<b>Dimensiones</b>	
<b>largo (mm)</b>	303.78
<b>ancho (mm)</b>	97.24
<b>profundidad (mm)</b>	198.05
<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	29 708
<b>Carga Máxima (kN)</b>	65.26
<b>Resistencia Real (Mpa)]</b>	2.197



Fuente: autor del proyecto.

Grafica 13. Compresión muestra 3. Parte media del monto de ladrillos

<b>No. De la Serie</b>	1
<b>Dimensiones</b>	
<b>a (mm)</b>	303.45
<b>b (mm)</b>	97.9
<b>c (mm)</b>	195.47
<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	29 708
<b>Carga Máxima (kN)</b>	68.08
<b>Resistencia Real (Mpa)]</b>	2.292

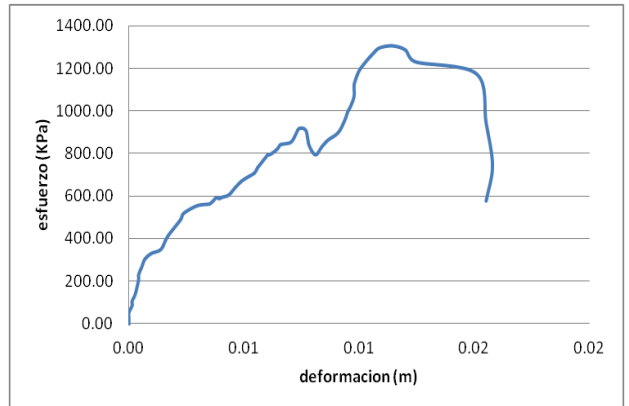


Fuente: autor del proyecto.



Grafica 14. Compresión muestra 4. Parte baja del monto de ladrillos.

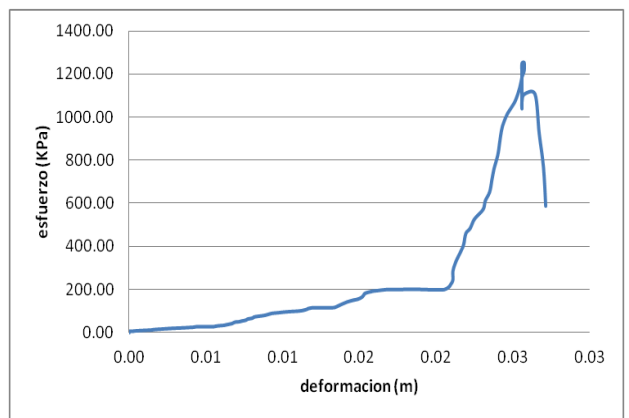
<b>No. De la Serie</b>	1
<b>Dimensiones</b>	
<b>a (mm)</b>	303.45
<b>b (mm)</b>	97.9
<b>c (mm)</b>	196.67
<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	29 708
<b>Carga Máxima (kN)</b>	38.84
<b>Resistencia Real (Mpa)]</b>	1.308



Fuente: autor del proyecto.

Grafica 15. Compresión muestra 5. Parte baja del monto de ladrillos.

<b>No. De la Serie</b>	1
<b>Dimensiones</b>	
<b>a (mm)</b>	303.45
<b>b (mm)</b>	97.9
<b>c (mm)</b>	195.7
<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	29 708
<b>Carga Máxima (kN)</b>	37.19
<b>Resistencia Real (Mpa)]</b>	1.252



Fuente: autor del proyecto.

#### 6.4 ABSORCIÓN DE AGUA DEL BLOQUE H-10

Luego de secarse el bloque cerámico durante 24 horas a 110°C, en el horno mufla presente en el laboratorio de resistencia de materiales, se registra e peso de cinco muestras como está estipulado la norma NTC 4017 para después sumergirlas en un recipiente con agua en un tiempo de 24 horas (ver fig 21).

Los resultados de absorción de agua se muestran en el cuadro 4.

Figura 21. Secado en el horno mufla y sumersión de bloques



Fuente: Autor del proyecto

Cuadro 4. Absorción de agua.

<b>Peso inicial</b>	<b>Peso final</b>	<b>% absorción de agua</b>
<b>4663 gr</b>	<b>5278 gr</b>	<b>13.19</b>
<b>4632 gr</b>	<b>5255 gr</b>	<b>13.44</b>
<b>4671 gr</b>	<b>5269 gr</b>	<b>12.80</b>
<b>4645 gr</b>	<b>5243 gr</b>	<b>12.88</b>
<b>4630 gr</b>	<b>5229 gr</b>	<b>12.94</b>

Fuente: autor del proyecto

## **7. RELACIÓN ENTRE LOS PERFILES DE TEMPERATURAS Y PROPIEDADES FÍSICAS DE BLOQUES CERÁMICOS.**

### **7.1 GENERALIDADES DE LOS ENSAYOS DESTRUCTIVOS.**

Los ensayos destructivos en los bloques cerámicos dan una perspectiva del comportamiento de dichos especímenes al someterlos a cargas, horizontales, verticales etc..., lo cual nos permite establecer parámetros o criterios específicos de los puntos donde podrían ocurrir las fallas, siendo de vital importancia a la hora de conocer las características de los materiales para mampostería; todo esto avalado por una serie de normas que explican los procedimientos a seguir de forma específica para cada uno de los ensayos que se deseen realizar (NTC 4205 y la NTC 4017).

### **7.2 EVENTUALIDADES DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.**

Según la clasificación de los datos obtenidos en los ensayos de compresión, flexión y absorción de agua, se pudo evidenciar la variante entre las propiedades de los bloques cerámicos H-10 con respecto a la ubicación espacial en las recámaras del horno.

En la zona alta y media, los bloques desarrollan mejores propiedades que en la zona baja, ya que a simple vista las deformaciones son perceptibles, puesto que los bloques de la parte baja soportan el peso del monto de ladrillos, como lo muestra la fig 17 y fig 21; señalando esto como una de las posibles causas de perdidas por defecto, respaldados por los datos arrojados en los ensayos de flexión y compresión que demuestran la disminución en la resistencia mecánica en los ensayos a compresión y el modulo de rotura en los ensayos a flexión.

No obstante, la posición de la materia prima dentro del contexto de la fabricación de bloques cerámicos es de suma importancia, ya que según estudios realizados por laboratorios *mintek* se ha demostrado la presencia de arcillas montmorilloníticas lo cual hace más delicado el proceso de la cocción del bloque, ya que los espacios intersticiales entre las partículas son mayores, por ende tendrá mayor absorción de agua, encadenando reacciones químicas que perjudican las propiedades finales del bloque. Lo anterior se demuestra en los ensayos de absorción de agua, que revelan un porcentaje promedio del 13.05% estando dentro del límite máximo permisible según la norma 4205.

### **7.3 INCIDENCIA DE LOS PERFILES DE TEMPERATURA EN LAS PROPIEDADES FINALES DE LOS BLOQUES CERÁMICOS.**

Siguiendo las indicaciones ideales de cocción de materiales cerámicos la cual nos dice que “La pieza responde a las tensiones de cocción deformándose elásticamente. La deformación elástica tiene un límite que se puede llegar a sobrepasar si el calentamiento o enfriamiento son muy rápidos. Entonces la pieza queda sometida a tensiones. Si dichas tensiones son superiores a la resistencia que el material es capaz de oponer a las mismas, se producirán

grietas de cocción. En la zona de los 550 - 650°C, se producen contracciones o expansiones muy bruscas, como consecuencia de la eliminación del agua de cristalización o de la transformación del cuarzo, y los gradientes de temperatura entre la superficie y el interior de la pieza son mayores a causa del calor absorbido durante la deshidroxilación de la arcilla<sup>9</sup> por ende, los datos obtenidos de las curvas de quema aseguran que en la ladrillera Ocaña el cambio de esta fase se produce en 40 minutos aproximadamente, siendo este un tiempo muy corto para la transformación de las propiedades en los bloques, lo que por defecto es el causante de las deformaciones y grietas en los productos elaborados en esta empresa.

Figura 22. Deformación de bloques en la parte baja de la recámara.



Fuente. Autor del proyecto.

---

<sup>9</sup> Fernández, Marcelino. Manual para la fabricación de tejas y baldosas.

## **8 ENSAYOS FÍSICO-QUÍMICOS REALIZADOS A LA MATERIA PRIMA Y PRODUCTOS SEMIELABORADOS DE LA LADRILLERA OCAÑA.**

### **8.1 ENSAYO DEL PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE PESO.**

Para la realización de este ensayo se seleccionaron bloques extraídos del secadero artificial de la ladrillera Ocaña con un porcentaje de humedad del 7%. Se extrajo una muestra de 10x10x2 (cm) de 200 gramos, ya que las dimensiones del bloque completo sobrepasaban la capacidad del horno mufla existente en el laboratorio de metales de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

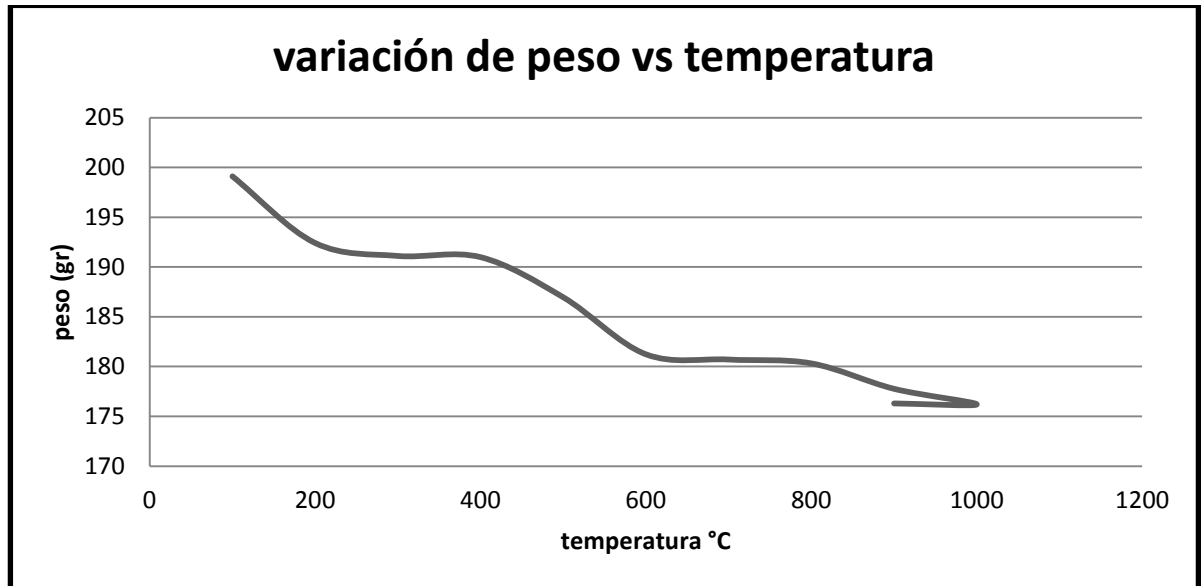
Utilizando una báscula de precisión se registro la variación del peso en función de la temperatura, la cual alcanzo hasta 1000°C, realizando mediciones a cada hora durante 12 horas continuas de quema, obteniéndose los resultados que se muestran en cuadro 5.

Cuadro 5. Tabla de variación de peso.

Temperatura °C	tiempo (hrs)	Peso (grs)
100	1	199.1101
200	2	192.4122
300	3	191.1112
400	4	190.9903
500	5	186.9612
600	6	181.23
700	7	180.7067
800	8	180.3199
900	9	177.7645
1000	11	176.203
900	12	176.2984

Fuente: autor del proyecto.

Grafica 16. Grafica de variación del peso con respecto a la temperatura



Fuente: autor del proyecto.

## [8.2 ENSAYOS A LA MATERIA PRIMA DE LA MINA EXISTENTE EN LA LADRILLERA OCAÑA.](#)

Los ensayos realizados a la mina por parte de laboratorios mintek a cargo del ingeniero Camilo Quintero evidenciaron posibles causas por las cuales podría tener incidencia la materia prima en las propiedades finales de los bloques cerámicos. Se recolectaron muestras a los mantos existentes en la mina clasificándolos y realizándoles ensayos fisicoquímicos.

Los resultados arrojados fueron los siguientes:

**8.2.1 Muestreo.** El muestreo fue realizado haciendo un recorrido preliminar de la mina en donde se hizo una inspección visual de todos los posibles mantos a muestrear haciendo diferenciación por color y por granulometría.

El tipo de muestreo fue realizado haciendo cortes transversales de los diferentes mantos, teniendo la precaución de limpiar el material que está expuesto a la intemperie y tomando material fresco (sin meteorizar) para la evaluación.

Las muestras evaluadas tienen la siguiente nomenclatura

**Cuadro 6. Nomenclatura de las Muestras Tomadas.**

<b>MUESTRA</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<b>1</b>	Pasta de Producción	Tomado a la salida de la amasadora en el ciclo de producción.
<b>2</b>	Blanca Arenosa	Material que se observa en el fondo de la mina al lado izquierdo. <b>Espesor manto: 25 metros.</b>
<b>3</b>	Blanca Arenosa	Material contiguo a la muestra 2 y que parece tener diferentes características granulométricas. <b>Espesor manto: 5 metros.</b>
<b>4</b>	Arcilla Verde	Material contiguo a la muestra 3, es de características netamente plásticas. <b>Espesor: 5 metros.</b>
<b>4a</b>	Arcilla Verde con pintas negras	Material arcilloso de color verde con pintas negras al lado izquierdo de la torta. <b>Espesor: 5 metros.</b>
<b>4b</b>	Arcilla Verde con óxidos de hierro	Material ubicado en la torta parte inferior. <b>Espesor: 5 metros.</b>
<b>4c</b>	Arcilla Verde ubicada bajo los tanques	Material ubicado en la parte posterior de la mina cuyo manto esta bajo los tanques de recolección de agua. <b>Espesor: 6 metros.</b>
<b>5</b>	Arcilla Blanca Arenosa	Material ubicado en la torta parte superior. <b>Espesor: 2,20 metros.</b>
<b>6</b>	Blanca Arcillosa	Material ubicado en la parte intermedia de la torta. <b>Espesor: 5,45 metros.</b>
<b>7</b>	Arcilla Roja	Material cortado que presenta una fuerte coloración roja.
<b>8</b>	Arcilla Verde Corte	Material cortado y apilado; esta actualmente en consumo.
<b>9</b>	Liga	Material cortado usado como desengrasante; esta al lado de la arcilla verde de corte.
<b>10</b>	"CGD"	Rotura seca de pasta que presento problemas de producción en el mes anterior.
<b>11</b>	Rotura Cocida	Fragmentos de material de primera para hacer diferentes pruebas.

Fuente. Laboratorios mintek.

**8.2.2 Preparación de la Muestra.** Cada una de las muestras se ha secado a una temperatura de 110°C por 10 horas.

Una vez seca se procedió a hacer el cuarteo y la homogenización dividiendo la muestra para la realización de los diferentes ensayos.

La molienda de la pasta fue realizada aproximándose en tamaño de partícula a la pasta actual de producción.

**8.2.3 Caracterización Físico Cerámica Básica.** Se muestran los procedimientos de laboratorio llevados a cabo para el procesamiento por extrusión.

#### **8.2.4 Prueba de HCL para identificar carbonatos**

La prueba de ataque con ácido clorhídrico diluido HCl es negativa para todas las muestras; al ser negativa la prueba se descarta la presencia de carbonatos dentro de la composición mineralógica de los materiales.

La presencia de carbonatos dentro de la composición química de una arcilla requiere una mejor molienda para evitar problemas en el producto terminado como caliches y eflorescencias. Además de ello si los carbonatos están en grandes porcentajes es necesario adecuar la curva de cocción para asegurarse de la total combustión de los mismos.

### 8.2.5 Granulometría por Vía Húmeda M 120, M230, M325.

La determinación de los residuos se realizó por vía húmeda cortando sobre las mallas 120 (125µm) la cual retiene las fracciones de arena muy gruesa, arena gruesa, arena media y arena fina; malla 230 (63µm) que retiene la arena muy fina y la malla 325 (45µm) en la que hay arenas superfinas y algunos nódulos de ciertos minerales.

Cuadro 7. Tabla de resultados de granulometrías.

Muestra	Residuo			
	M120 (%)	M230 (%)	M325 (%)	Pasante (%)
Verde 1	12,116	4,355	2,106	<b>81,423</b>
Verde 1A	23,675	6,647	1,819	<b>67,859</b>
Verde 1B	23,770	8,499	2,302	<b>65,429</b>
Verde 1C	31,596	7,548	1,908	<b>58,948</b>
Amarilla 1	12,216	5,944	2,254	<b>79,586</b>
Amarilla 1A	27,697	8,380	2,563	<b>61,360</b>
Amarilla 1B	33,620	9,637	2,996	<b>53,747</b>
Blanca	46,870	14,541	3,352	<b>35,237</b>

Fuente. Laboratorios mintek

Los datos de granulometrías nos muestran que las arcillas verdes se pueden clasificar en dos grupos:

- **Verde 1:** muestra con menores porcentajes de arenas retenidas sobre las mallas 120, 230 y 325 y mayor porcentaje de material pasante sobre la malla 325, por cual debe comportarse diferente en el secado y en la cocción.
- **Verde 1A, Verde 1B y Verde 1C:** Materias primas que se pueden agrupar por su granulometrías similares.

Por granulometría las arcillas amarillas se dividen en dos grupos:

- **Amarilla 1:** muestra con buena plasticidad y valores medios de granulometría sobre las diferentes mallas.
- **Amarilla 1A y Amarilla 1B:** Materiales de granulometría media a alta y de menor plasticidad.

El material blanco tiene una granulometría media a alta y es clasificado como un material individual; es de anotar que sobre los residuos se observan granos que parecen ser feldspatos por lo que este material podría tener buena gresificación.



Los resultados de textura muestran que a excepción de la muestra verde 1A, las muestras restantes caen dentro del grupo 4 y su uso recomendado según el triángulo de porcentajes para bloques y ladrillos perforados.

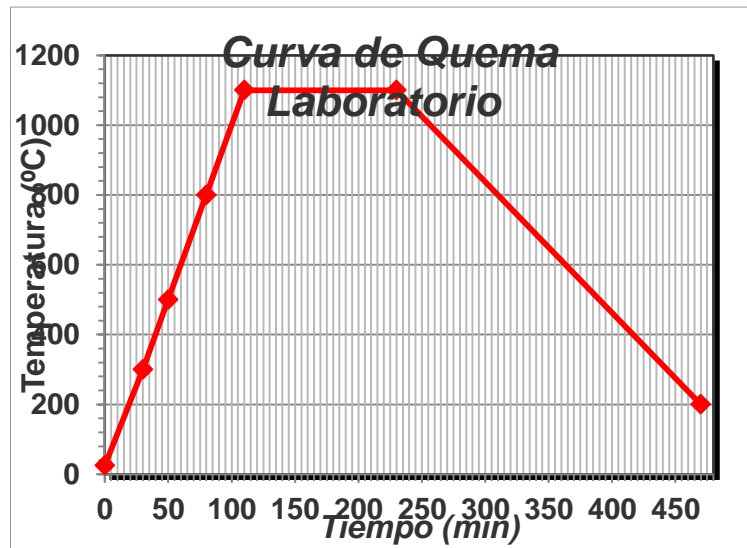
Todas las arcillas verdes se clasifican como materiales netamente arcillosos.

La arcilla amarilla 1 se clasifica como un material arcilloso-limoso.

Las arcillas amarilla 1A y 1B y la arcilla blanca se clasifican como materiales franco-arcillosos.

**8.2.6 Determinación de la Contracción de Cocido.** La grafica 17 muestra la curva de laboratorio utilizada para la realización de la quema a diferentes pastas.

Grafica 17. Curva de quema realizada en el laboratorio.

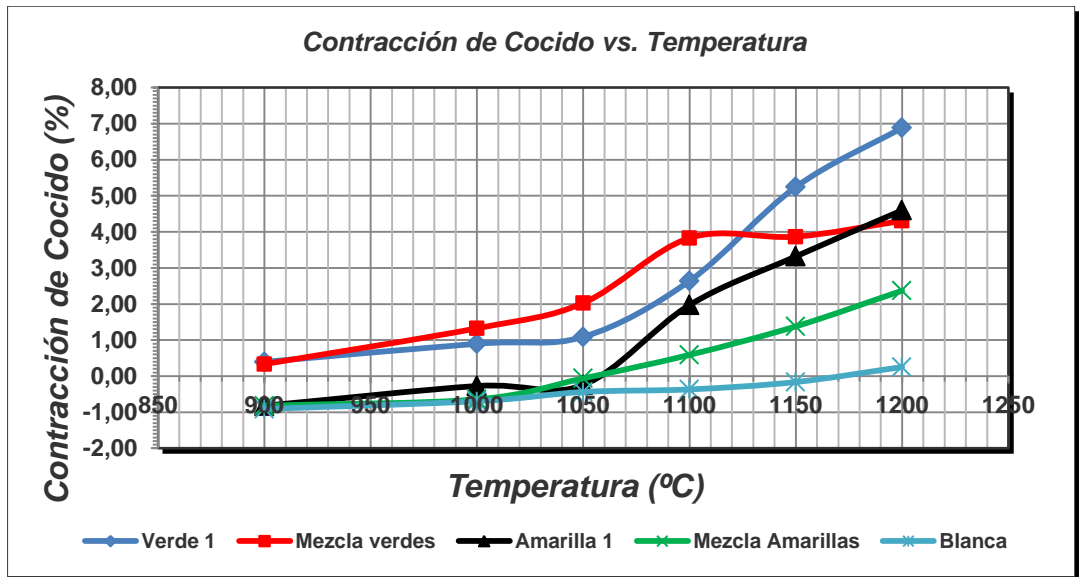


Fuente: laboratorios mintek.

Siguiendo procedimientos del “Manual para el Control de Calidad de Materias Primas Arcillosas. Instituto de Tecnología Cerámica, Castellón, España. 2004”, se observan los diferentes comportamientos de las pastas en función de la temperatura.

Las contracciones en cocido para la arcilla verde y la pasta de producción son elevadas y tienen un marcado aumento a partir de los 1050°C, sin terminar de contraer a 1200°C. Este comportamiento es típico en materiales de características arenosas.

Grafica 18. Curvas de cocido vs temperatura de las diferentes muestras



Fuente: laboratorios mintek.

**8.2.7 Pérdidas por calcinación.** Las pérdidas por calcinación de todas las muestras están dentro de rangos normales para materias primas usadas en la fabricación de productos. El hecho de tener bajas pérdidas por calcinación prevé no tener problemas en la cocción por exceso de materia orgánica dentro de la composición de las materias primas.

## CONCLUSIONES

Según el estudio realizado al proceso de cocción de ladrillo, se observa que el método de quema utilizado en la ladrillera impide el control de las fases de cristalización y transformaciones que tienen los materiales cerámicos, por ello, aumentan los defectos y grietas que generan pérdidas a la empresa.

El empleo del software labVIEW facilitó la obtención de datos precisos de temperatura puesto que se pudo establecer la curva real de cocción durante el periodo de quema del ladrillo, plasmando una idea del comportamiento térmico dentro del horno.

Los ensayos destructivos y no destructivos realizados a los bloques cerámicos en los laboratorios de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, demostraron que las propiedades adquiridas dependen también la posición de los bloques dentro de las recamaras del horno, evidenciando que la distribución espacial también genera incidencia en las propiedades finales de los materiales cerámicos. Lastimosamente no se contaba con equipos labVIEW que pudieran contener más de 4 dispositivos, por lo cual no se pudo lograr obtener la distribución térmica total de la recámara y tener certeza de lo que sucede en diferentes espacios del horno.

Según los datos obtenidos, se pudo observar que la humedad con la que entraban los bloques al horno superaba el 7% y según el manual de fabricación de baldosas de Marcelino Fernández dice que este porcentaje debe ser del 3% para evitar deformaciones y grietas, a lo que debemos deducir que no se está secando el material cerámico adecuadamente.

Las curvas de cocción obtenidas durante la ejecución del proyecto probaron que existen caídas de temperatura durante el periodo de quema, que también tienen incidencia en el acabado del bloque cerámico.

Durante la elaboración de los ensayos de pérdida de peso y el análisis de las diferentes muestras de arcillas encontradas los mantos de la mina de la ladrillera Ocaña, se observó que el porcentaje de absorción de agua de las arcillas es elevado, y que tienen propiedades diferentes, siendo unas más arenosas con diferentes concentraciones de arcilla.

## RECOMENDACIONES

Debido a los altibajos presentados en las curvas de quema se requiere implementar mejor control de los carbojets, el cual podría hacerse mediante la utilización de labVIEW controlando el regulador de frecuencia, que es el dosificador de estos equipos y así lograr un perfil de temperatura controlado.

Los bloques de la parte baja soportan mucha carga a lo que debería diseñarse una estantería dentro del horno con materiales que soporten elevadas temperaturas para evitar la sobrecarga en los bloques de la parte baja.

Observando los problemas de humedad presentes, debería realizarse un estudio en los secaderos, para conocer la causa de los inconvenientes.

Realizar otros tipos de ensayos térmicos como los son los ATG (análisis termogravimétrico), ATD (análisis termicodilatométrico) y difracción de rayos X a las arcillas, para lograr un estudio más a fondo sobre la caracterización y comportamiento de estas.

## BIBLIOGRAFÍA

Sandino Restrepo, María del Carmen. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA. Articulación de los elementos básicos.

Fernández, Marcelino. laboratorio técnico cerámico s.l. MANUAL SOBRE FABRICACIÓN DE BALDOSAS, TEJAS Y LADRILLOS. CAP 5

Toctaquiza naranjo, Olga Isabel. Tesis de grado de ingeniera química. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE COCCIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS DE CERAMICA ROJA EN EL CANTON CAMBO. México.

Gonzales Escobar, María Isabel. Tesis de grado. DETERMINACIÓN DE LOS PERFILES DE TEMPERATURA DE UN HORNO. Escuela superior politécnica de Chimborazo.

revista de eficiencia energética en ladrilleras artesanales, CARACTERIZACIÓN DE HORNOS.


Villareal Jiménez, Luis Alberto. Tesis de Licenciatura. USO DE LODO DE PAPEL Y ARENA SÍLICA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS Y TABLA ROCA. México. UDLA-P.2004. p 54

Chandia Moraga, Alfredo A. TESIS DESARROLLO DE UN LADRILLO DE TRAYECTORIA TERMICA MAXIMA.


J. Rodríguez Ramírez, F. Diego Nava, C. Martínez Alvarez, L. Méndez Lagunas, M. Aguilar Lescas. PERFILES DE TEMPERATURA EN UN HORNO LADRILLERO. Revista Mexicana de Ingeniería Química, vol. 3, núm. 2, 2004, pp. 209-217.

**ANEXOS**

**Anexo A. Tabla de calibración de carga 0495**



ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO



### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

#### Tabla de calibración

**NÚMERO:** 0495

Pág. 4 de 5

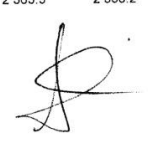
**Carga (kgf) = A<sub>0</sub> + A<sub>1</sub>\*X + A<sub>2</sub>\*X<sup>2</sup> + A<sub>3</sub>\*X<sup>3</sup> ; X = lectura del dial (\*)**

A<sub>0</sub> = 2.4961E+1    A<sub>1</sub> = 4.8516E+0    A<sub>2</sub> = 1.7141E-4    A<sub>3</sub> = -1.6601E-7

Desvío estándar del ajuste: **3,54 kgf**

Lectura	Carga en kgf								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
90							477.63	482.31	486.99
100	491.67	496.35	501.03	505.71	510.40	515.08	519.76	524.44	529.12
110	538.49	543.17	547.86	552.54	557.23	561.91	566.59	571.28	575.96
120	585.34	590.02	594.71	599.39	604.08	608.77	613.45	618.14	622.83
130	632.20	636.89	641.58	646.27	650.95	655.64	660.33	665.02	669.71
140	679.09	683.78	688.47	693.16	697.85	702.54	707.23	711.92	716.62
150	726.00	730.69	735.38	740.08	744.77	749.46	754.15	758.85	763.54
160	772.93	777.62	782.31	787.01	791.70	796.40	801.09	805.79	810.48
170	819.87	824.57	829.26	833.96	838.66	843.35	848.05	852.75	857.44
180	866.84	871.53	876.23	880.93	885.63	890.32	895.02	899.72	904.42
190	913.82	918.51	923.21	927.91	932.61	937.31	942.01	946.71	951.41
200	960.81	965.51	970.21	974.91	979.61	984.31	989.02	993.72	998.42
210	1007.8	1012.5	1017.2	1021.9	1026.6	1031.3	1036.0	1040.7	1045.4
220	1054.8	1059.5	1064.2	1068.9	1073.7	1078.4	1083.1	1087.8	1092.5
230	1101.9	1106.6	1111.3	1116.0	1120.7	1125.4	1130.1	1134.8	1139.5
240	1148.9	1153.6	1158.3	1163.0	1167.7	1172.5	1177.2	1181.9	1186.6
250	1196.0	1200.7	1205.4	1210.1	1214.8	1219.5	1224.2	1228.9	1233.6
260	1243.0	1247.8	1252.5	1257.2	1261.9	1266.6	1271.3	1276.0	1280.7
270	1290.1	1294.8	1299.5	1304.2	1308.9	1313.7	1318.4	1323.1	1327.8
280	1337.2	1341.9	1346.6	1351.3	1356.0	1360.7	1365.5	1370.2	1374.9
290	1384.3	1389.0	1393.7	1398.4	1403.1	1407.8	1412.6	1417.3	1422.0
300	1431.4	1436.1	1440.8	1445.5	1450.2	1454.9	1459.6	1464.4	1469.1
310	1478.5	1483.2	1487.9	1492.6	1497.3	1502.0	1506.7	1511.5	1516.2
320	1525.6	1530.3	1535.0	1539.7	1544.4	1549.1	1553.9	1558.6	1563.3
330	1572.7	1577.4	1582.1	1586.8	1591.5	1596.2	1601.0	1605.7	1610.4
340	1619.8	1624.5	1629.2	1633.9	1638.6	1643.4	1648.1	1652.8	1657.5
350	1666.9	1671.6	1676.3	1681.0	1685.7	1690.5	1695.2	1699.9	1704.6
360	1714.0	1718.7	1723.4	1728.1	1732.9	1737.6	1742.3	1747.0	1751.7
370	1761.1	1765.8	1770.5	1775.2	1780.0	1784.7	1789.4	1794.1	1798.8
380	1808.2	1812.9	1817.6	1822.3	1827.1	1831.8	1836.5	1841.2	1845.9
390	1855.3	1860.0	1864.7	1869.4	1874.2	1878.9	1883.6	1888.3	1893.0
400	1902.4	1907.1	1911.8	1916.5	1921.2	1926.0	1930.7	1935.4	1940.1
410	1949.5	1954.2	1958.9	1963.6	1968.3	1973.0	1977.7	1982.5	1987.2
420	1996.6	2001.3	2006.0	2010.7	2015.4	2020.1	2024.8	2029.5	2034.2
430	2043.6	2048.4	2053.1	2057.8	2062.5	2067.2	2071.9	2076.6	2081.3
440	2090.7	2095.4	2100.1	2104.8	2109.5	2114.2	2118.9	2123.7	2128.4
450	2137.8	2142.5	2147.2	2151.9	2156.6	2161.3	2166.0	2170.7	2175.4
460	2184.8	2189.5	2194.2	2198.9	2203.6	2208.3	2213.0	2217.7	2222.4
470	2231.8	2236.5	2241.3	2246.0	2250.7	2255.4	2260.1	2264.8	2269.5
480	2278.9	2283.6	2288.3	2293.0	2297.7	2302.4	2307.1	2311.8	2316.5
490	2325.9	2330.6	2335.3	2340.0	2344.7	2349.4	2354.1	2358.8	2363.5

1 cuaderno



Laboratorios - Calle 18 N° 103 B - 72  
Rogotá, D.C. Colombia

Teléfonos: 415/020 - 5454957

www.pinzuar.com.co  
labmetrologia@pinzuar.com.co



**PINZUAR LTDA**

**LABORATORIO DE METROLOGÍA**

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO



ACREDITADO  
Res. No. 000004 de la  
Superintendencia de  
Industria y Comercio del  
3 de Enero de 2006



ACREDITADO  
Res. No. 2185 de la  
Superintendencia de  
Industria y Comercio del  
9 de Agosto de 2010



ACREDITADO  
Res. No. 12215 de la  
Superintendencia de  
Industria y Comercio del  
26 de Febrero de 2010

Pág. 5 de 5

500	2 372.9	2 377.6	2 332.3	2 387.0	2 391.7	2 396.4	2 401.1	2 405.8	2 410.5	2 415.1
510	2 419.8	2 424.5	2 429.2	2 433.9	2 438.6	2 443.3	2 448.0	2 452.7	2 457.4	2 462.1
520	2 466.8	2 471.5	2 476.2	2 480.9	2 485.6	2 490.3	2 495.0	2 499.7	2 504.4	2 509.1
530	2 513.7	2 518.4	2 523.1	2 527.8	2 532.5	2 537.2	2 541.9	2 546.6	2 551.3	2 556.0
540	2 560.7	2 565.4	2 570.1	2 574.7	2 579.4	2 584.1	2 588.8	2 593.5	2 598.2	2 602.9
550	2 607.6	2 612.3	2 617.0	2 621.6	2 626.3	2 631.0	2 635.7	2 640.4	2 645.1	2 649.8
560	2 654.5	2 659.2	2 663.8	2 668.5	2 673.2	2 677.9	2 682.6	2 687.3	2 692.0	2 696.6
570	2 701.3	2 706.0	2 710.7	2 715.4	2 720.1	2 724.7	2 729.4	2 734.1	2 738.8	2 743.5
580	2 748.2	2 752.8	2 757.5	2 762.2	2 766.9	2 771.6	2 776.3	2 780.9	2 785.6	2 790.3
590	2 795.0	2 799.7	2 804.3	2 809.0	2 813.7	2 818.4	2 823.1	2 827.7	2 832.4	2 837.1
600	2 841.8	2 846.5	2 851.1	2 855.8	2 860.5	2 865.2	2 869.8	2 874.5	2 879.2	2 883.9
610	2 888.5	2 893.2	2 897.9	2 902.6	2 907.2	2 911.9	2 916.6	2 921.3	2 925.9	2 930.6
620	2 935.3	2 940.0	2 944.6	2 949.3	2 954.0	2 958.6	2 963.3	2 968.0	2 972.7	2 977.3
630	2 982.0	2 986.7	2 991.3	2 996.0	3 000.7	3 005.3	3 010.0	3 014.7	3 019.3	3 024.0
640	3 028.7	3 033.3	3 038.0	3 042.7	3 047.3	3 052.0	3 056.7	3 061.3	3 066.0	3 070.7
650	3 075.3	3 080.0	3 084.7	3 089.3	3 094.0	3 098.7	3 103.3	3 108.0	3 112.6	3 117.3
660	3 122.0	3 126.6	3 131.3	3 135.9	3 140.6	3 145.3	3 149.9	3 154.6	3 159.2	3 163.9
670	3 168.6	3 173.2	3 177.9	3 182.5	3 187.2	3 191.8	3 196.5	3 201.2	3 205.8	3 210.5
680	3 215.1	3 219.8	3 224.4	3 229.1	3 233.7	3 238.4	3 243.0	3 247.7	3 252.3	3 257.0
690	3 261.6	3 266.3	3 270.9	3 275.6	3 280.2	3 284.9	3 289.5	3 294.2	3 298.8	3 303.5
700	3 308.1	3 312.8	3 317.4	3 322.1	3 326.7	3 331.4	3 336.0	3 340.7	3 345.3	3 350.0
710	3 354.6	3 359.2	3 363.9	3 368.5	3 373.2	3 377.8	3 382.5	3 387.1	3 391.7	3 396.4
720	3 401.0	3 405.7	3 410.3	3 414.9	3 419.6	3 424.2	3 428.9	3 433.5	3 438.1	3 442.8
730	3 447.4	3 452.0	3 456.7	3 461.3	3 465.9	3 470.6	3 475.2	3 479.8	3 484.5	3 489.1
740	3 493.7	3 498.4	3 503.0	3 507.6	3 512.3	3 516.9	3 521.5	3 526.2	3 530.8	3 535.4
750	3 540.1	3 544.7	3 549.3	3 553.9	3 558.6	3 563.2	3 567.8	3 572.4	3 577.1	3 581.7
760	3 586.3	3 590.9	3 595.6	3 600.2	3 604.8	3 609.4	3 614.1	3 618.7	3 623.3	3 627.9
770	3 632.5	3 637.2	3 641.8	3 646.4	3 651.0	3 655.6	3 660.3	3 664.9	3 669.5	3 674.1
780	3 678.7	3 683.3	3 688.0	3 692.6	3 697.2	3 701.8	3 706.4	3 711.0	3 715.6	3 720.3
790	3 724.9	3 729.5	3 734.1	3 738.7	3 743.3	3 747.9	3 752.5	3 757.1	3 761.7	3 766.3
800	3 771.0	3 775.6	3 780.2	3 784.8	3 789.4	3 794.0	3 798.6	3 803.2	3 807.8	3 812.4
810	3 817.0	3 821.6	3 826.2	3 830.8	3 835.4	3 840.0	3 844.6	3 849.2	3 853.8	3 858.4
820	3 863.0	3 867.6	3 872.2	3 876.8	3 881.4	3 886.0	3 890.6	3 895.2	3 899.8	3 904.4
830	3 909.0	3 913.6	3 918.1	3 922.7	3 927.3	3 931.9	3 936.5	3 941.1	3 945.7	3 950.3
840	3 954.9	3 959.5	3 964.0	3 968.6	3 973.2	3 977.8	3 982.4	3 987.0	3 991.6	3 996.1
850	4 000.7	4 005.3	4 009.9	4 014.5	4 019.1	4 023.6	4 028.2	4 032.8	4 037.4	4 042.0
860	4 046.5	4 051.1	4 055.7	4 060.3	4 064.8	4 069.4	4 074.0	4 078.6	4 083.1	4 087.7
870	4 092.3	4 096.9	4 101.4	4 106.0	4 110.6	4 115.1	4 119.7	4 124.3	4 128.9	4 133.4
880	4 138.0	4 142.6	4 147.1	4 151.7	4 156.3	4 160.8	4 165.4	4 169.9	4 174.5	4 179.1
890	4 183.6	4 188.2	4 192.8	4 197.3	4 201.9	4 206.4	4 211.0	4 215.6	4 220.1	4 224.7
900	4 229.2	4 233.8	4 238.3	4 242.9	4 247.5	4 252.0	4 256.6	4 261.1	4 265.7	4 270.2
910	4 274.8	4 279.3	4 283.9	4 288.4	4 293.0	4 297.5	4 302.1	4 306.6	4 311.2	4 315.7
920	4 320.3	4 324.8	4 329.3	4 333.9	4 338.4	4 343.0	4 347.5	4 352.1	4 356.6	4 361.1
930	4 365.7	4 370.2	4 374.8	4 379.3	4 383.8	4 388.4	4 392.9	4 397.4	4 402.0	4 406.5
940	4 411.0	4 415.6	4 420.1	4 424.6	4 429.2	4 433.7	4 438.2	4 442.8	4 447.3	4 451.8
950	4 456.4	4 460.9	4 465.4	4 469.9	4 474.5	4 479.0	4 483.5	4 488.0	4 492.6	4 497.1
960	4 501.6	4 506.1	4 510.6	4 515.2	4 519.7	4 524.2	4 528.7	4 533.2	4 537.8	4 542.3
970	4 546.8									





**Ing. Angie Catalina Pintor**  
Directora Laboratorio Metrología (e).  
**PINZUAR LTDA**

Laboratorios - Calle 18 N° 103 B - 72  
Bogotá, D.C. Colombia

Teléfonos: 4157020 - 5454957

www.pinzuar.com.co  
labmetrologia@pinzuar.com.co

## Anexo B. Formato de ensayos a compresión.

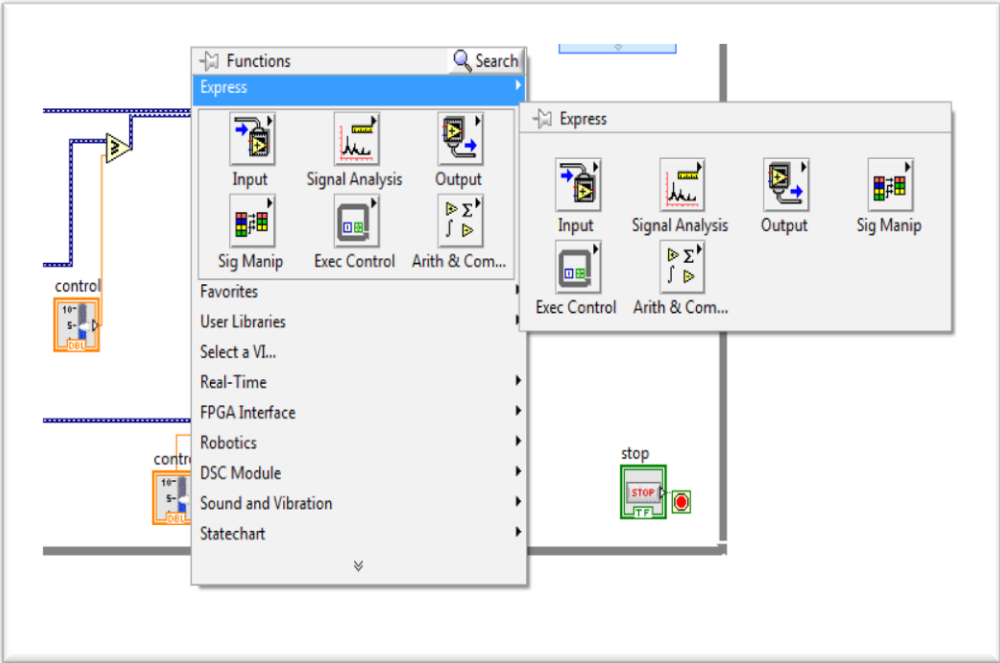
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA									
	Documento			Codigo	Fecha	Revision			
	RESULTADO PRUEBAS DE LABORATORIO			F-AC-LRE-002	10-11-2011	A			
Dependencia			Aprobado		Pág.				
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES Y SISMICA			DIRECTOR DE DEPARTAMENTO		1(1)				
<b>ENSAYO A COMPRESIÓN DE LADRILLOS / BLOQUES (NTC 4017)</b>									
					<b>Ensayo No.: 7236</b> Fecha: <u>21/11/2013</u>				
Cliente: <u>UFPSO</u>					Número de la Muestra: <u>1</u> Fecha de muestra: <u>21/11/2013</u>				
material: <u>bloques H-10</u>									
Procedencia: <u>ladrillera ocaña</u>									
RESISTENCIA NOMINAL <u>3</u> Mpa      Vel de ensayo <u>0.08</u> mm/min									
No. De la Serie	1	2	3	4	5				
<b>Dimensiones</b>									
largo (mm)	303.78	298.96	303.45	303.45	303.45				
ancho (mm)	97.24	96.7	97.9	97.9	97.9				
profundidad (mm)	198.05	196.65	196.67	195.7	195.47				
Área (mm²)	29 708	28 909	29 708	29 708	29 708				
Carga Máxima (kN)	65.26	71.78	38.84	37.19	68.08				
Resistencia Real (Mpa)	2.197	2.483	1.308	1.252	2.292				
Página 1									
<b>Gráfico de Esfuerzo Vs deformacion</b>									
Obsevaciones: _____ _____ _____									
Laboratorista: <u>Iván Dario Bustos Arias</u>					Jefe Laboratorio: <u>Nelson Afanador G. I.C. Ms.C.</u>				
Máquina de ensayos: <u>Pinzuar Ltda.</u>			Rango: <u>1000 kN</u>		No. se serie: <u>109</u>		:alibración: <u>27/04/2012</u>		
Iván Dario  A. 		VÍA ACOLSURE, SEDE EL ALGODONAL, OCAÑA N. DE S. Línea Gratuita Nacional 018000 121022 / PBX: 097-5690088 www.ufps.edu.co							
28/12/2010									



Anexo C. Formato de ensayos a flexión.

	Documento		Código	Fecha	Revisión		
	RESULTADOS PRUEBAS DE LABORATORIO		F-AC-LRE-002		A		
	Dependencia		Aprobado		Pág.		
	LABORATORIO DE SUELOS		DIRECTOR DE DEPARTAMENTO		1(1)		
<b>ENSAYO DEL MODULO DE ROTURA</b>							
				Norma Técnica de Referencia: <b>NTC 4017</b>			
				Ladrillera: OCAÑA			
CLIENTE: UFPSO				Comprado a: Ladrillera Ocaña			
				Fecha de ensayo: 02/10/2013			
Tipo de Bloque:		H-10		Máquina Utilizada:		Gato hidraulico	
				Fecha de Calibración: 02/10/2013			
<b>ESPECIMEN</b>	<b>CARGA (N)</b>	<b>TIEMPO (Seg)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>b (mm)</b>	<b>d (mm)</b>	<b>x (mm)</b>	<b>MR (N/mm<sup>2</sup>)</b>
# 6	4451.44	120	301.47	195.28	97.62	10.10	1.0092
# 7	5047.74	74	299.77	197.27	97.62	35.55	0.9210
# 8	4038.86	88	299.29	196.84	96.84	15.11	0.8831
# 9	5368.99	109	299.67	196.45	97.57	20.00	1.1182
# 10	4130.52	114	299.88	196.78	96.39	13.07	0.9277

**Anexo D. comandos de la interfaz**



**Anexo E. secaderos artificiales**



**Anexo F. Posicionamiento de termopares**



**Anexo G. Recámara del horno Hoffman**

