

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE**

**Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano**

**PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)**

**Sustentabilidad del hábitat**

**Programa de diseño responsable**



**ITESO**

Universidad Jesuita  
de Guadalajara

**Materioteca y Sustentabilidad 1G01**

**Proyecto Ladrillera**

**PRESENTAN**

Programa educativo.	Nombre completo del alumno.
Ing. Civil	Isay Zetter Echánove
Ing. Civil	Paz Rebeca Partida Padilla
Ing. Civil	Diego Armando Camacho Zepeda
Ing. Civil	Gerardo José Núñez Alarcón
Ing. Civil	Constanza Moreno Aldrete
Ing. Química	Carlos Enrique Macías Calleja
Ing. Química	Alexia Ramírez Montero
Ing. Industrial	Marisol Reyes Bayardo
Lic. en Arquitectura	Jorge Juan Palomar Villalvazo

**Profesores PAP:**

Maestro Luis Enrique Flores Flores

Maestra Jared Jiménez Rodríguez

Maestro Jesús Enrique Cueva Lomas

Tlaquepaque, Jalisco, febrero de 2017

## ÍNDICE

Presentación de los Proyectos de Aplicación Profesional.	2
Resumen ejecutivo.	2
Abstract.	3
Capítulo I. Identificación del origen del proyecto, de la problemática y de los involucrados.	3
1.1 Antecedentes del proyecto.	3
1.2 Identificación del problema.	6
1.3 Identificación de la(s) organización(es) o actores que influyen o son beneficiarios del proyecto.	8
Capítulo II. Marco conceptual o teórico del proyecto. Palabras clave (ver tesoro de la UNESCO)	8
2.1 El ladrillo	9
2.2 Análisis de ladrilleras y sus productos	11
Capítulo III. Diseño de propuesta de mejora.	3
3.1 Enunciado del proyecto. Localización geográfica	3
3.2 Metodología.	3
3.3 Cronograma de trabajo.	3
Capítulo IV. Desarrollo de propuesta de mejora.	3
Capítulo V. Productos, resultados e impactos generados.	4
5.1 Productos obtenidos.	4
5.2 Resultados alcanzados.	4
5.3 Impactos generados.	4
Capítulo VI. Aprendizajes individuales y grupales	4
6.1 Aprendizajes profesionales.	4
6.2 Aprendizajes sociales.	4
6.3 Aprendizajes éticos.	5
6.4 Aprendizajes en lo personal.	5
Capítulo VII. Conclusiones y recomendaciones.	6
7.1 Conclusiones.	6
7.2 Recomendaciones.	6
Referencias Bibliográficas	6
Anexos.	6

## **REPORTE PAP**

Los Proyectos de Aplicación Profesional son una modalidad educativa del ITESO en la que los estudiantes aplican sus saberes y competencias socio-profesionales a través del desarrollo de un proyecto en un escenario real para plantear soluciones o resolver problemas del entorno.

A través del PAP los alumnos acreditan tanto su servicio social como su trabajo recepcional, por lo que requieren de acompañamiento y asesoría especializada para que sus actividades contribuyan de manera significativa al escenario en el que se desarrolla el proyecto, y sus aprendizajes, reflexiones y aportes sean documentados en un reporte como el presente.

### **Resumen Ejecutivo**

El presente proyecto fue orientado inicialmente a la mejora del producto, innovación en los procesos de producción y quemado del ladrillo artesanal, encontrando así una combinación de tiempo y temperatura de cocción óptimos para lograr su mayor resistencia a la compresión. Esta combinación se encuentra a través de un diseño de experimentos en base a ensayos de compresión, en donde las muestras o ladrillos son sometidos a diferentes temperaturas y tiempos de cocción.

Se diseñó este experimento con el propósito de reducir el impacto ambiental que genera la quema tradicional del ladrillo, buscando la reducción de la cantidad de combustible, tiempo y dinero que se utilizan en el proceso, las conclusiones de este proyecto deben ser utilizadas en la propuesta del diseño de un horno más eficiente que funcione para estandarizar un poco más el proceso de fabricación de ladrillos artesanales.

Por otro lado, se continuó la línea de investigación de estabilización de suelos con base enzimática para elementos de mampostería, redactando un plan de trabajo puntual sobre el cual se puede comenzar para la buscar réplica de sus efectos.

## **Abstract**

The present project was initially orientated towards the improvement of the product, innovation of the production and cooking processes of the handmade bricks finding the optimal combination of temperature and cooking time to achieve the greatest resistance to compression. This combination is found through an experiment design with compression tests, where the samples are subject to different temperature and cooking times.

This experiment was designed with the purpose of reducing de environmental impact that the traditional cook of bricks generates, looking to reduce the quantity of fuel, time and money used in the process, the conclusions of this project should be used in the proposition of the design of a more efficient oven that helps to standardize the fabrication process of handmade bricks.

On the other hand, the line of research on soil stabilization with enzymatic basis for masonry elements was continued, drafting a thorough work plan on which one can begin to seek the replication of its effects.

## **Capítulo I. IDENTIFICACIÓN DEL ORIGEN DEL PROYECTO Y DE LOS INVOLUCRADOS**

### **1.1 Antecedentes del proyecto**

El proyecto comenzó en Casa Clavijero ITESO en el año 2013. Se exhibió la investigación de materiales innovadores, rentables y sustentables. La Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET) presentó un gran interés por buscar alternativas y proyectos de investigación para lograr productos y sistemas más eficientes y con menor impacto en el ambiente.

La problemática actual de la contaminación que existe en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), se produce a partir de la quema del ladrillo. El cual, es uno de los procesos más dañinos y contaminantes en el proceso de fabricación artesanal. Por lo tanto, gracias a las investigaciones realizadas, a las

propuestas de nuevas mezclas de materiales y a la información que se recabó en campo, se logró entender el funcionamiento de las ladrilleras para después elaborar pruebas físicas del ladrillo sin quema.

Otra de las consideraciones dentro de la problemática a atacar se encuentra en el ámbito social, el cual hace referencia al movimiento de los fabricantes de dicho producto hacia las periferias de la ciudad, lo que hace que incremente el traslado o transporte del mismo a los lugares de construcción de la Zona Metropolitana de Guadalajara, aumentando los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) al medio ambiente, así como incrementos en el costo del material.

MUNICIPIO	No. LADRILLERAS
1. Tlajomulco de Zúñiga	400
2. Tonalá	336
3. Tlaquepaque	149
4. Zapopan	134
5. El Salto	110
6. Guadalajara	8
<b>TOTAL</b>	<b>1,137</b>

De acuerdo con investigaciones realizadas por integrantes anteriores del presente proyecto, Jalisco es el segundo mayor productor de ladrillos a nivel nacional por debajo de Puebla. Cuenta con casi 2,500 ladrilleras, y el 46% de ellas se encuentra dentro de la

Fig. 1 Número de ladrilleras por municipio de la ZMG.  
Fuente: Elaboración propia con información del inventario 2011 elaborado por SEMADET.

zona metropolitana de Guadalajara.

El proceso tradicional de cocción del ladrillo dura de seis horas a tres días y utilizaba neumáticos viejos y madera como combustible, que al arder, emiten grandes cantidades de gases altamente tóxicos y de efecto invernadero. Actualmente, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) sanciona muy severamente a ladrilleras que utilicen neumáticos como combustible o que se encuentren demasiado cerca de grandes poblaciones, por lo que se ha logrado que las ladrilleras sean desplazadas a la periferia de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) y que la utilización de neumáticos como combustible sea prácticamente inexistente en dicha zona.

Los trabajadores no estaban conscientes del daño que causaban al medio ambiente y a ellos mismos al utilizar neumáticos, aceites y otros plásticos como combustible para la quema de sus ladrillos.

El humo de la quema de plásticos contiene partículas tóxicas, y estas partículas pueden causar cáncer por inhalación. "La combustión de estos productos desechables emana la dioxina y el furano, gases que ingresan por las vías respiratorias y la piel de las personas que se encuentren en los alrededores." (Alvarez, Renzo/vital/auditado por: Comscore, asociado a: IAB Perú, licenciado por: APDAYC).

Dichas partículas atacan principalmente al sistema respiratorio humano, dando lugar a enfermedades bronco-respiratorias, ahogos, asma y hasta cáncer, como se mencionó anteriormente. También generan daños a la piel, ojos e inclusive insuficiencias cardiacas. Los trabajadores no se dan cuenta debido a que estos efectos no son inmediatos, sino por acumulación.

Respecto al medio ambiente, además de la inquietante contaminación del aire, cuando estas partículas quemadas caen al suelo lo contaminan de tal manera que lo pueden dejar infértil por muchos años o hacer que la cosecha no sea segura para su consumo. (Fuente: <http://bionaturbiotech.com/>)



Fig. 2 Imagen que muestra los combustibles contaminantes que llegan a usar algunas ladrilleras de la zona de Jalisco.

## **1.2 Identificación del problema. Problemática atendida**

No obstante, lo anterior, el desplazar las ladrilleras y sus trabajadores a las afueras de la ciudad genera un alza en el costo del ladrillo, así como mayor contaminación por parte de los fletes que se encargan de transportar los ladrillos terminados a las construcciones de la ciudad, pues el ladrillo es un producto con demanda y que se sigue necesitando en todo el país. Además, es importante señalar que la reubicación de las ladrilleras a sitios más lejanos dificulta su regularización, monitoreo y obliga en muchos casos a los obreros a trasladarse mayores distancias durante mayor tiempo para llegar a su sitio de trabajo que, al no estar regularizado, es por demás, inseguro.

Tomando todo ello en cuenta, gracias a las investigaciones realizadas por los integrantes anteriores y presentes del Proyecto 'Ladrillera', a las propuestas de nuevas mezclas de materiales y a la información que se recabó en campo, se logró entender el funcionamiento de las ladrilleras con el objetivo de elaborar un nuevo prototipo de ladrillo que sin requerir cocción, cumpla con los requisitos y propiedades mecánicas que exigen las normas mexicanas correspondientes para ladrillos de uso estructural.

Sin embargo, en el periodo Primavera 2017, no se pudo desarrollar más el proceso anteriormente descrito ya que por razones externas al equipo, el producto estabilizador de suelos 'Eathzyme' no llegó en el tiempo planeado para continuar con la investigación. Es ideal que futuros equipos del proyecto "Ladrilleras" den continuidad a dichas investigaciones misma una vez obtenido el producto estabilizador.

Se llevó a cabo también la caracterización y clasificación de los materiales térreos que componen los ladrillos fabricados por Proyecto Ladrillera, ello con el fin de poder reproducir los ladrillos y resultados obtenidos incluso empleando materia prima proveniente de otros bancos de material

Adicionalmente, con el objeto de optimizar el proceso de fabricación de ladrillos y reducir el impacto ambiental que genera su manufactura, mediante la realización de varias series de experimentos en laboratorio se buscó encontrar el tiempo y la temperatura óptima de cocción que llevará al ladrillo a cumplir los requisitos normativos aplicables para su uso estructural.

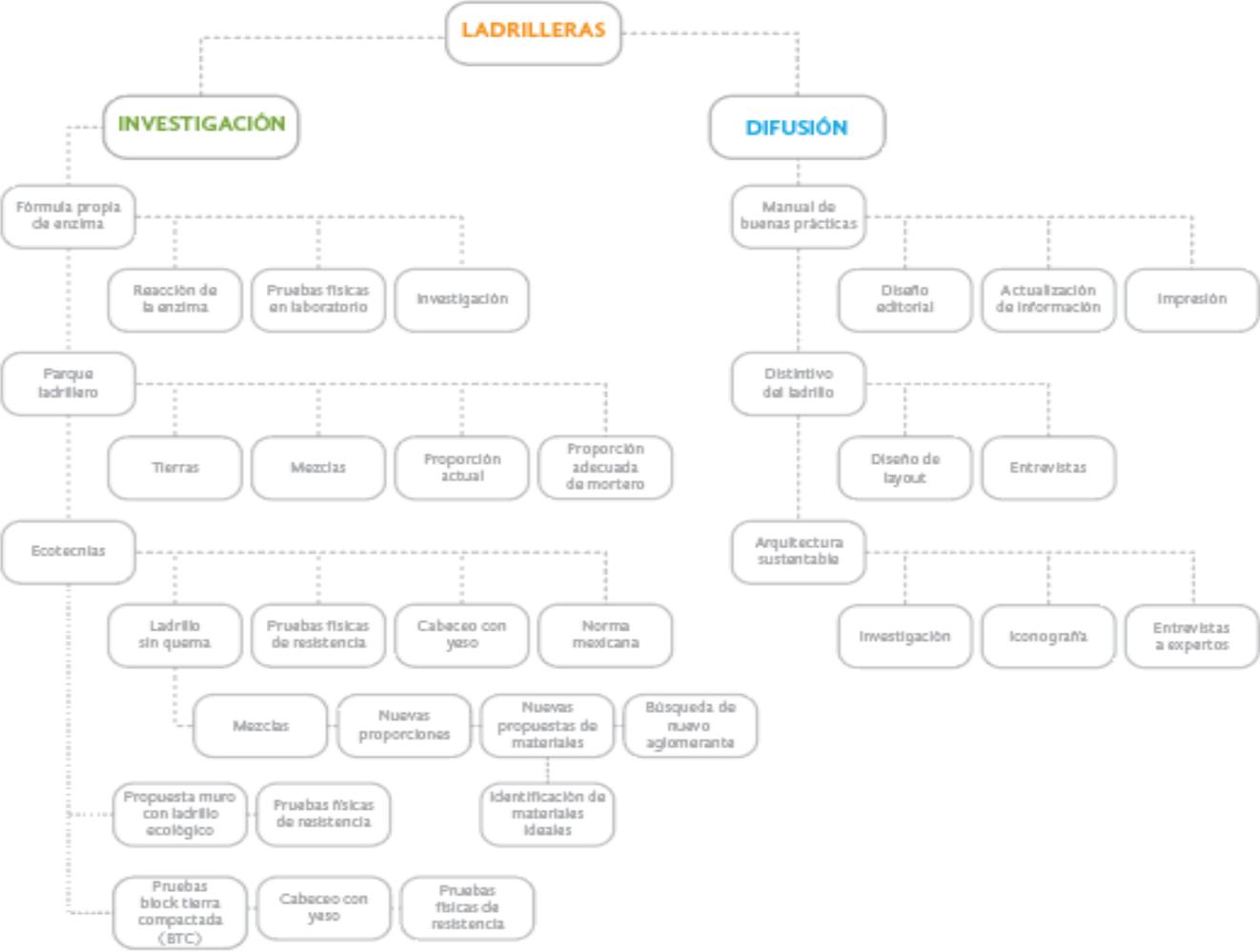


Fig. 3 Mapa de áreas de oportunidad identificadas al inicio del proyecto.

### **1.3 Identificación de la(s) organización(es) o actores que influyen o son beneficiarios del proyecto**

Desde que se creó Proyecto Ladrillera, se ha visitado en varias ocasiones distintos parques ladrilleros en los municipios de Tonalá, Zapopan, Tlajomulco de Zúñiga y Acatic. Estos parques, así como su gremio en general son los principales beneficiarios.

Uno de nuestros colaboradores, que se verá beneficiado de nuestro proyecto, es Don Leo, un maestro ladrillero que produce en Tlajomulco de Zúñiga. Su taller artesanal de ladrillos colaboró con los datos que trascienden a la Evaluación del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de la producción del ladrillo actual, y además permitió la obtención de material para realizar las pruebas necesarias.

Además de las contribuciones primordiales de nuestros beneficiarios, se cuenta con la participación del Departamento de Ecología del Gobierno del Estado, la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET) y la Dirección de Medio Ambiente y Ecología (DEMA), que han demostrado su interés en las aportaciones que podría generar el PAP.

## **Capítulo II. MARCO CONCEPTUAL O TEÓRICO DEL PROYECTO**

### **PALABRAS CLAVE / KEYWORDS**

- \* **Ladrillo – brick**
- \* **Artesano – artisan**
- \* **Arcilla – clay**
- \* **Contaminación – pollution**
- \* **Cerámica – ceramic**
- \* **Mampostería – masonry**

## 2.1 El ladrillo

La fabricación del ladrillo es una práctica común que prácticamente no ha tenido modificaciones o cambios en su producción desde que fue inventada. Hoy en día, esta práctica ha perdido totalmente su valor y su reconocimiento en nuestra sociedad a pesar de que el ladrillo es la pieza fundamental del crecimiento urbano en el que vivimos.

Durante el proceso de cocción, el ladrillo pierde la totalidad de su contenido de agua, por lo que su tamaño se reduce alrededor de un 5%. La fabricación de ladrillos, tejas y otros productos de arcilla cocidos de forma artesanal, se ha convertido en un problema ecológico en muchas ciudades de nuestro país, debido al tipo de combustibles que se utilizan para la cocción de esos productos: leña, llantas, madera, plásticos o textiles, entre otros, al ser quemados, emiten una gran cantidad de gases nocivos a la atmósfera, tales como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre y partículas sólidas. Por ello es prioritario atender el problema de las fuentes emisoras de estos gases. (Cárdenas, B., 2016).

De acuerdo con un informe de EELA (Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales, 2011) la emisión de gases de efecto invernadero por tonelada de ladrillo se aproxima a los 300 kilogramos de dióxido de carbono equivalente. Lo anterior representa un problema que afecta directamente la salud de las personas, lo que ha obligado a las autoridades correspondientes a tomar cartas en el asunto.

Otro matiz que se aúna a la problemática de los materiales utilizados, está relacionado con el efecto en su consumo, relacionado con las capacidades térmicas del material. Se calcula que el aire acondicionado puede consumir hasta 60 W por mes (INTI, Argentina) siendo 'uno de los equipos o sistemas que más energía consumen en el hogar'. Debido a que es la temperatura del ladrillo uno de las

ventajas del producto frente a otros (como el block), podría posicionarse como una respuesta para reducir el consumo energético en los hogares tapatíos frente a las predicciones climáticas para Jalisco en las próximas décadas. Es por ello que resulta imprescindible encontrarle al ladrillo un método de elaboración que elimine la gran contaminación que se deriva de su producción, pero que conserve las características que aseguran su ventaja frente a otros materiales.

En algunas zonas, también afectadas, del territorio de Canadá, se utiliza un producto estabilizador de suelos a base de una enzima vegetal para construir caminos que resistan la erosión, y que no afecta significativamente el medio donde es aplicada: “EarthZyme es un estabilizador no tóxico del suelo utilizado en suelos arcillosos que reduce los costos de mantenimiento de caminos debido al incremento y duración de la compactación y valores de tensión que resultan de la aplicación del producto” (Cypher Environmental, 2008-2009).

La utilización de este grupo de enzimas podría reemplazar el proceso de quema, ya que su funcionamiento es la liberación de agua del suelo, lo que permite una compactación a una forma más densa, lo que hipotéticamente contribuiría a alterar las propiedades físicas del ladrillo, e incluso endurecerlo.

“Después de la aplicación del producto, las partículas de arcilla presentes en el suelo ya no son atraídas por el agua, permitiendo que el agua en el suelo drene libremente teniendo como resultado el asentamiento de partículas de arcilla/suelo más juntas” (Cypher Environmental, 2009).

Logrando esta cohesión entre las partículas del ladrillo se crearía una estructura interna lo bastante dura para reemplazar el proceso más contaminante de la producción del ladrillo.

## **2.2 Análisis de ladrilleras y sus productos** (Fuente propia).

La metodología de trabajo con la cual se trabajó, permite conocer a fondo de manera cualitativa y cuantitativa todo lo que implica la producción de ladrillos rojos artesanales en una ladrillera, sin dejar de lado el lado humano de la misma. Al acudir a la ladrillera se tiene como principal propósito conocer su proceso de producción en general: qué materiales utilizan, de dónde traen dichos materiales, qué proporciones utilizan de cada uno, el proceso de secado del ladrillo y el proceso de cocción.

Teniendo esta información, se adquirió el material necesario para producir una pequeña cantidad de ladrillos en el laboratorio del ITESO, con las mismas proporciones y contenidos que los elaborados en las ladrilleras. Esto con el objetivo de comprobar que los ladrillos elaborados cumplieran con los requisitos de las normas mexicanas correspondientes, para así poder ser lanzados al mercado bajo un mayor respaldo. Adicionalmente, los resultados de las pruebas nos permiten comparar con otras ladrilleras y de esta manera proponer mejoras que ayudarán a los trabajadores de las ladrilleras a optimizar el uso de materiales y tiempo.

A continuación, las normas básicas que los ladrilleros deben tomar en cuenta para el desarrollo más seguro del trabajo que realizan:

- NOM-002-STPS-2010 – Condiciones de seguridad-Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo.
- NOM-015-STPS-2001 – Condiciones térmicas elevadas o abatidas- Condiciones de seguridad e higiene.
- NOM-017-STPS-2008 – Equipo de protección personal-Selección, uso y manejo en los centros de trabajo.
- NOM-030-STPS 2009 – Servicios preventivos de seguridad y salud en el trabajo-Funciones y actividades.

## CAPÍTULO III. DISEÑO DE PROPUESTA DE MEJORA

### 3.1 Enunciado del proyecto.

Se buscará a través de una serie de experimentos, determinar la combinación de temperatura y tiempo de cocción que resulten para un ladrillo de mayor calidad. Es decir, la temperatura y tiempo en el que el ladrillo alcanza su máxima resistencia a compresión, para poder optimizar el proceso de producción de las ladrilleras, optimizando el tiempo que dura el proceso de cocción, utilizando una cantidad más controlada de combustible, tiempo y dinero.

Una vez encontradas la temperatura y el tiempo óptimos de cocción, dentro del proyecto se hará un estudio de conductividad térmica para encontrar el acomodo óptimo dentro de los hornos disponibles para los ladrilleros y alcanzar esta temperatura y tiempo de cocción óptimos.

El estudio realizado en el 2004 llamado "*Perfiles de Temperatura en un Horno Ladrillero*" publicado en la Revista Mexicana de Ingeniería Química reporta según la posición del ladrillo dentro del horno la temperatura del mismo, medida con termopares los cuales grafican la temperatura a lo largo del tiempo de todo el proceso de cocción. El propósito de este experimento es encontrar la temperatura a la cual el estado estacionario sucede y durante cuánto tiempo ocurre para dar una resistencia al esfuerzo máxima

A continuación, se muestra la gráfica de los perfiles de temperatura de los ladrillos durante el proceso de cocción; en todos se observan estados estacionarios de aproximadamente 4 o más horas, pauta útil para el comienzo de los

experimentos en el laboratorio:

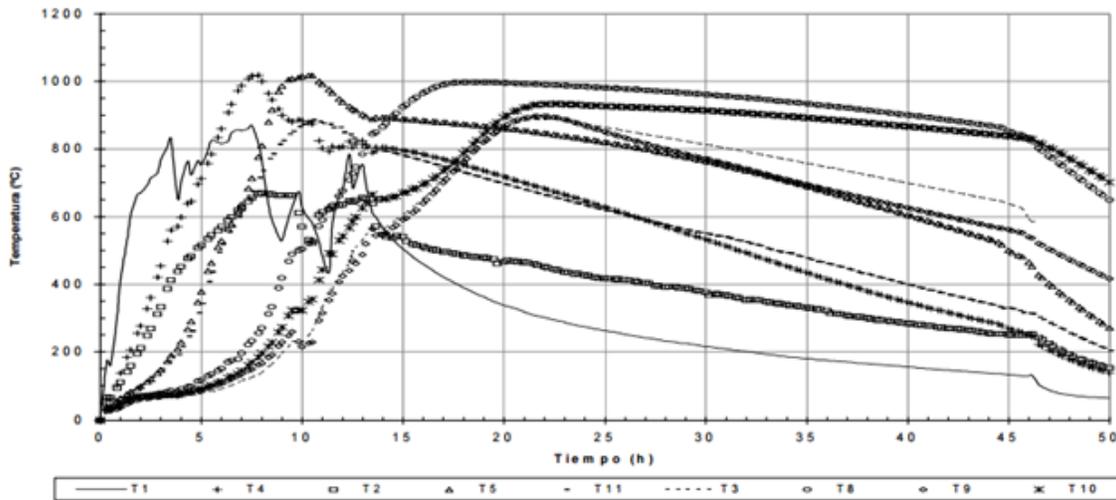


Fig. 4 Perfiles de temperatura en un horno tipo escocés. (Rodríguez Ramírez, 2004)

Se realizarán pruebas de límites de consistencia a diferentes tipos de barro, con la finalidad de clasificar estas arcillas ya que son un compuesto fundamental en la fabricación de ladrillos, esto con el propósito de lograr estandarizar la fabricación de ladrillos, las pruebas a los barros aunadas con los experimentos de temperatura y tiempo de cocción abonan para dicho fin.

Por otro lado, se propondrá un plan de trabajo para continuar con el esfuerzo de réplica para la reproducción de los efectos del estabilizador de suelos enzimático EarthZyme, enunciando en este las pruebas a realizar tanto al producto como a suelos expuestos al mismo producto y con esto, determinar las enzimas, proteínas y aditivos que contiene el producto estabilizador de suelos; con esta información se espera replicar sus efectos haciendo un uso mínimo de recursos.

Respecto a la parte del factor humano/trabajador de este proyecto se buscarán nuevas oportunidades y espacios para seguir transmitiendo información útil para los trabajadores, para así concientizar a todas las personas involucradas en estas actividades y no solo a unos cuantos.

Una vez que se logren estos espacios y existan trabajadores mejor informados, no solo tendremos una disminución en la contaminación del aire y suelo sino que también habrá una reducción en los accidentes dentro de estas áreas de trabajo, optimizando el tiempo y dinero de los mismos.

Es sumamente importante darle seguimiento a este tipo de actividades ya que crean un lazo muy importante con las personas que laboran en las ladrilleras, se crea una empatía y confianza que ayudan a que ambas partes cumplan con lo que les corresponde. Los trabajadores con laborar de manera más ecológica y segura y las organizaciones con darle seguimiento a los proyectos, incluidos el ITESO por supuesto.

### **3.2 Metodología**

Una parte importante del proyecto, es el conocer a fondo de manera cualitativa y cuantitativa todo lo que implica una ladrillera, sin dejar de lado el lado humano de la misma. Al acudir a la ladrillera se tiene como principal propósito conocer el proceso de producción en general: qué materiales utilizan, de dónde se consiguen dichos materiales, qué proporciones utilizan de cada uno, el proceso de secado del ladrillo y el proceso de quema.

#### **3.2.1 Ensayos de laboratorio**

Incluso en procesos aparentemente triviales, si se desean obtener resultados precisos y confiables, es necesario apegarse a los lineamientos establecidos por las normas correspondientes.

La determinación de la resistencia a compresión de elementos estructurales de mampostería se realiza con base en las normas mexicanas ONNCCE “Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación”. Estas indican como han de llevarse a cabo los métodos de ensayo que determinan de la resistencia de los ladrillos y otras unidades de mampostería. Las

normas utilizadas para este fin se enlistan a continuación seguidas por su metodología, la cual fue implementada en el PAP ladrillera Primavera 2017.

- NMX-C-038-ONNCCE-2013 “Determinación de las dimensiones de ladrillos, tabiques, bloques y tabicones para la construcción”
- NMX-C-036-ONNCCE-2013 “Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines – método de ensayo”
- NMX-C-404-ONNCCE-2012 “Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural – especificaciones y métodos de ensayo”
- NMX-C-109-ONNCCE-2010 “Determinación del cabeceo de especímenes”

### **Especificaciones de ladrillos para uso estructural, norma NMX-C-404-ONNCCE-2012**

- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma establece las características, dimensiones y propiedades que deben cumplir los diferentes tipos de piezas de mampostería para uso estructural.

- DEFINICIONES

#### BLOQUE

Pieza de mampostería cuyo largo nominal es mayor o igual a 400 mm y su ancho nominal es mayor o igual a 200 mm. Su altura varía entre los 100 y 300 mm.

## TABIQUE (LADRILLO O TABICÓN)

Pieza de mampostería con dimensiones menores que el bloque. **Al tabique macizo de arcilla se le conoce comúnmente como ladrillo** y al tabique macizo de concreto como tabicón.

Con estas definiciones queda claro que los objetos de estudio podrían clasificarse como ladrillos de arcilla de elaboración artesanal, los cuales deben cumplir con lo siguiente.

- DIMENSIONES MÍNIMAS

50 mm de alto, 100 mm de ancho y 190 mm de largo.

- RESISTENCIA MÍNIMA A LA COMPRESIÓN

Para tabiques de arcilla artesanal macizos, la **resistencia mínima individual a la compresión** será de 70 kg/cm<sup>2</sup>. Esta resistencia se obtendrá siguiendo lo establecido por la norma NMX-C-036-ONNCCE-2013.

Nótese que la resistencia mínima a la compresión es individual, es decir, es la resistencia de una sola unidad de mampostería, que es considerablemente mayor que la resistencia a compresión de un muro.

## **Determinación de las dimensiones de probeta, norma NMX-C-038-ONNCCE-2013**

- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma establece el método de prueba para la determinación de las dimensiones de los tabiques, ladrillos, bloques y tabicones para la construcción.

- EQUIPO

### REGLA O VERNIER

Es aceptable usar cualquier regla o escuadra graduada en mm o de preferencia un vernier, siempre que se puedan tomar lecturas con aproximación de 1 mm. Se deben utilizar los dispositivos que se deseen para garantizar que se abrace la pieza en dirección perpendicular a la regla como mínimo un 25% de la longitud de la pared a medir (véase figura).

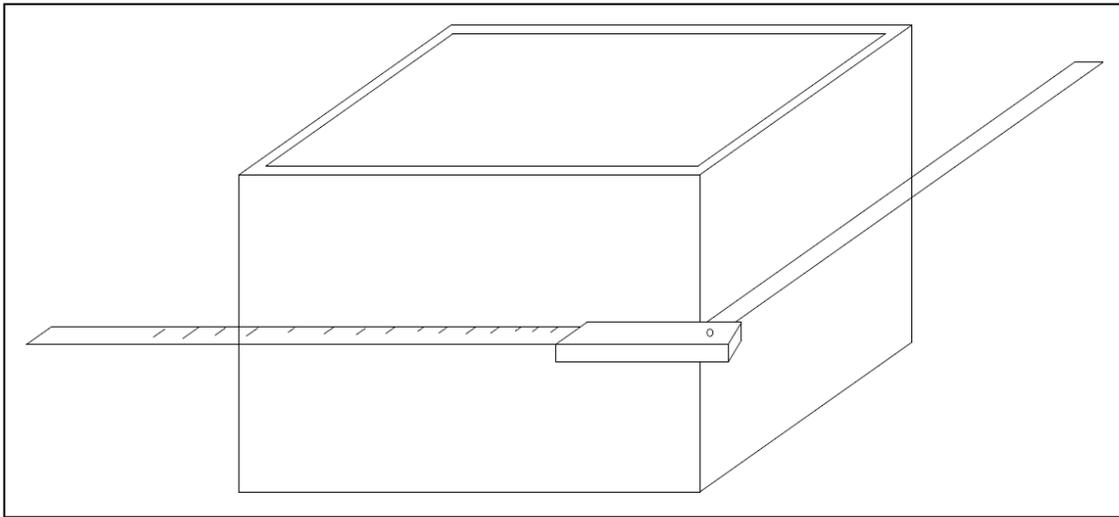


Fig. 5 Descripción gráfica del uso apropiado de la regla o vernier para la medición de ladrillos.

- MÉTODO DE PRUEBA

### COLOCACIÓN DEL ESPÉCIMEN

El espécimen debe colocarse en una superficie plana, descansando en la cara conveniente para usar el instrumento de medición en posición horizontal.

### MEDICIONES

De cada una de los lados del ladrillo se hacen dos determinaciones, una colocando el instrumento de medición longitudinalmente y otra transversalmente como se muestra en la siguiente figura.

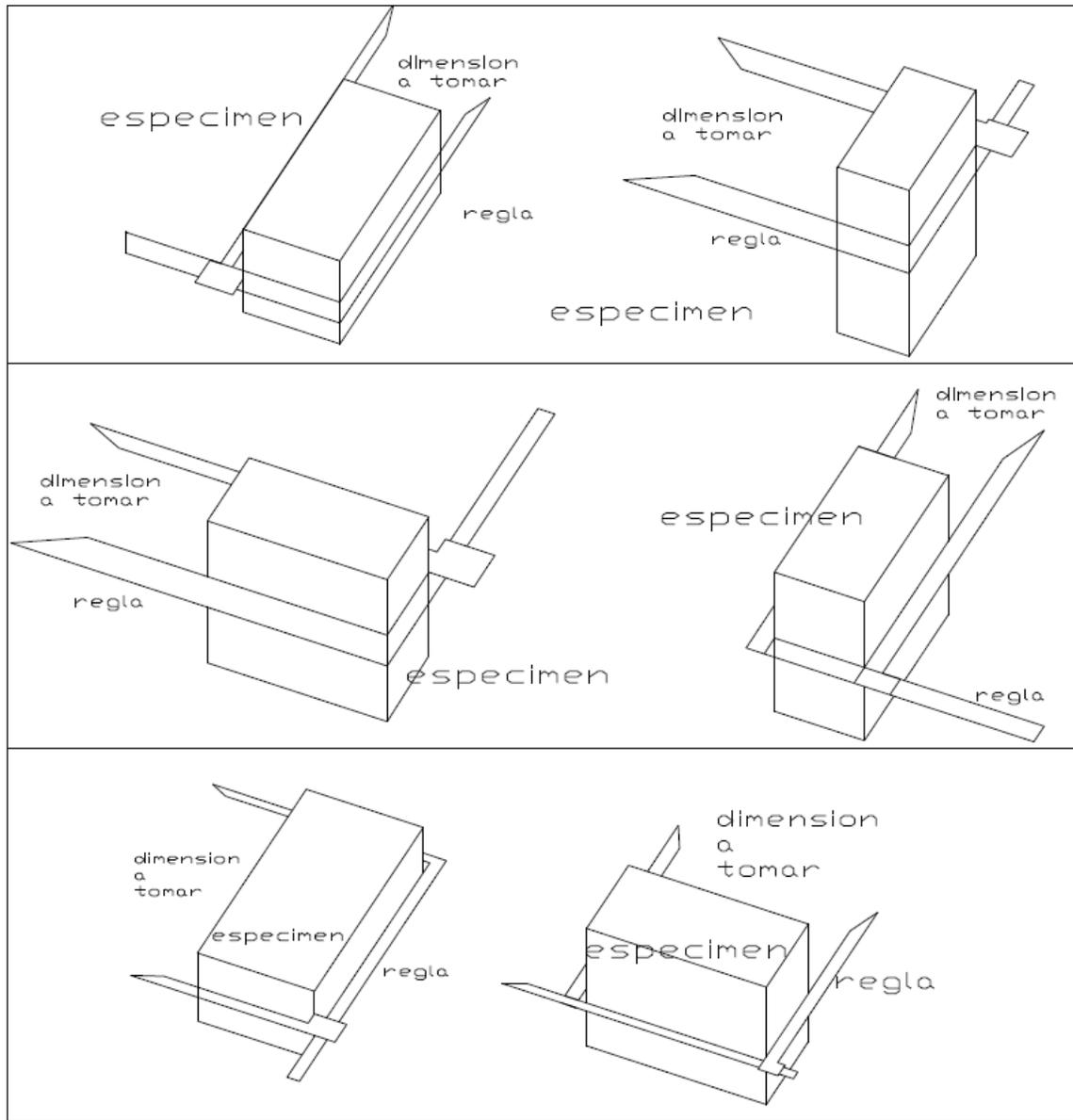


Fig. 6 Descripción gráfica de cómo se hicieron las medidas a cada ladrillo.

- **CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS**

CÁLCULO

Se promedian los resultados de las dos mediciones hechas en cada lado de los ladrillos.

## RESULTADOS

Las medias aritméticas obtenidas de las dimensiones de cada lado deben reportarse con una aproximación de  $\pm 1\text{mm}$ . Con estas dimensiones se obtiene la superficie de la cara de interés del ladrillo, dato que será necesario tener a la mano para el cálculo de la resistencia a compresión.

### **Resistencia a la compresión, norma NMX-C-036-ONNCCE-2013**

- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma establece el método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión en cualquier unidad de mampostería, ya sea de fabricación artesanal o industrial.

- MATERIALES AUXILIARES

### MORTERO DE AZUFRE

Debe tener una resistencia mínima a la compresión de  $350\text{ kg/cm}^2$

- EQUIPO

### MÁQUINA DE ENSAYO (PRENSA)

Debe contar con la capacidad suficiente para hacer que la probeta falle en no menos de un minuto y en no más de dos.

La máquina debe estar equipada con dos bloques sólidos de acero para la aplicación de la carga, además de placas de acero que cubran completamente la superficie superior e inferior de la probeta, de manera que la carga sea aplicada de manera uniforme. (ver siguiente foto)



Fig. 7 Imagen que muestra el acomodo del ladrillo cabeceado dentro del compresor.

El apoyo superior debe contar con una rótula y cumplir con las consideraciones de la siguiente figura.

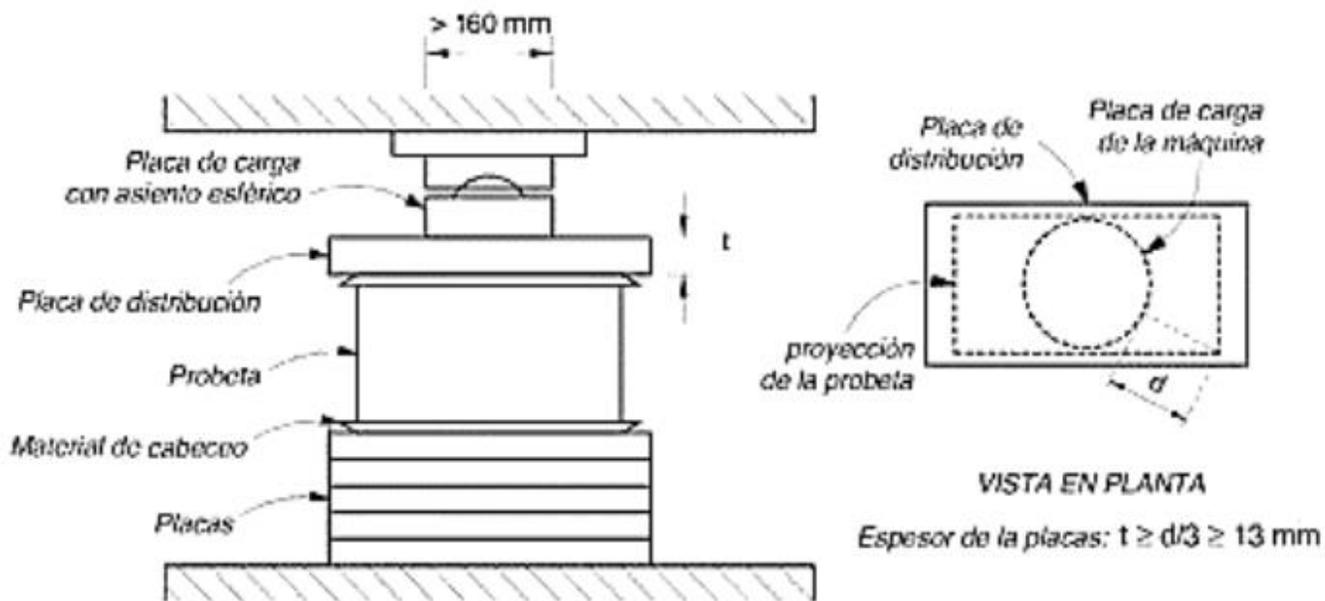


Fig. 8 Imagen descriptiva del acomodo apropiado del ladrillo cabeceado dentro del compresor.

- CONDICIONES AMBIENTALES

Las condiciones ambientales no son determinantes en esta prueba, por lo que se puede efectuar a la temperatura ambiente.

- PROCEDIMIENTO

### CABECEO

(Información obtenida de NMX-C-109-ONNCCE-2010 "Determinación del cabeceo de especímenes") Es recomendable utilizar una placa cabeceadora dedicada, fabricada por una empresa que suministre material de laboratorio. (ver siguientes fotos)



Fig. 9 Imagen demostrativa del proceso de cabeceo.



Fig. 10 Molde de cabeceo.

La placa deberá ser debidamente lubricada antes de verter el azufre líquido. Inmediatamente después de colocar el azufre, deberá introducirse el ladrillo en la placa cuidando que el azufre cubra todo el perímetro del borde del ladrillo y que tenga un espesor de aproximadamente 6 mm sin exceder 8mm. Hecho esto y endurecido el azufre, se deberá realizar el proceso en la cara opuesta del ladrillo.

después de cabeceado un ladrillo, deberá transcurrir un tiempo de cuando menos 2 horas para que pueda ser probado en la prensa, pues el mortero de azufre debe enfriarse hasta alcanzar la temperatura ambiente para alcanzar su resistencia máxima.

Es clave el cuidar que las caras cabeceadas guarden paralelismo, pues la razón para cabecear las probetas es para asegurar una transmisión uniforme de la fuerza.

### COLOCACIÓN DE LA PROBETA

Coloque la probeta alineando el centroide de las superficies cabeceadas con los centroides de las placas metálicas inferior y superior, así como con el centroide de los apoyos.

- **CÁLCULO E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

Tomar la resistencia a la compresión de la probeta como la carga máxima soportada dividida entre el área transversal de la probeta obtenida conforme a la norma NMX-C-038-ONNCCE-2013. La resistencia a la compresión deberá reportarse con una aproximación de 1 kgf/cm<sup>2</sup>.

Es importante analizar con cuidado e interpretar desde el conocimiento los datos entregados por la prensa. Pues esta genera archivos CSV con cientos o miles de renglones además de gráficas ilustrativas en tiempo real del esfuerzo-deformación que no se detienen automáticamente cuando el ladrillo falla, sino hasta que se le indique a la prensa. Lo anterior puede dar lugar lecturas o interpretaciones incorrectas por parte del ojo no experimentado, puesto que incluso después de la falla del ladrillo, suele ocurrir que los fragmentos triturados sigan aportando una mayor resistencia aunque el ladrillo ya no exista como tal.

El primer segmento de las curvas esfuerzo-deformación mostrará un comportamiento de aparente fluidez del ladrillo, en el que se miden deformaciones sin un incremento en el esfuerzo resistido. Ello no es más que el acercamiento de

un par de milímetros del apoyo superior de la prensa a la parte superior de la probeta, es decir, antes de hacer contacto con ella. Pues la prensa comienza a medir y a desplazarse a velocidad uniforme en el momento que se le indique, haya o no hecho contacto firme con la probeta.

#### **3.2.1.4 Tiempos de cocción y temperatura del ladrillo**

En primera instancia, se trasladó material necesario para producir una pequeña cantidad de ladrillos en el laboratorio del ITESO con el objetivo de realizarles las pruebas en las muflas a los ladrillos fabricados por el equipo PAP.

Se propuso como experimento inicial la cocción a mayor temperatura en base a la práctica industrial común en hornos de túnel en donde la temperatura máxima de quemado es de 1200°C (Universidad de Oviedo; 2017) después de un aumento gradual de temperatura.

Los experimentos se realizan en un horno tipo mufla Terlab de capacidad de 2.16 L con una capacidad máxima de 1 200°C disponible en el laboratorio del Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales (ubicado dentro de las instalaciones ITESO), este tipo de horno está diseñado para altas temperaturas. Recomendados por el fabricante para tratamientos térmicos en pruebas de laboratorio, calcinación de pruebas orgánicas e inorgánicas, ensayos de función y ensayos de templado, entre otros. Se utiliza un horno tipo mufla en detrimento de un horno de cerámica por la capacidad de controlar las condiciones de quemado y evitar bajas súbitas de temperatura.

A continuación se presenta el primer diseño de experimentos propuesto para el proyecto:

	Esfuerzo máximo (kg/cm <sup>2</sup> )			
	Tiempo de cocción (h)			
Temperatura (°C)	4	5	6	11
600				
700				
800				
900				
1 000				

Fig. 11 Diseño de experimentos inicial para la quema de ladrillos

Los primeros experimentos realizados simultáneamente con temperaturas de 1 000 y 900°C haciendo uso de 4 ladrillos preparados con las proporciones definidas como las óptimas para el trabajo de la mezcla apilados uno sobre otro dentro de la mufla. Esto causó una serie de problemas en el lote de ladrillos cocidos a 1 000°C dado que, al parecer, la mufla no fue capaz de circular el exceso de los vapores orgánicos del ladrillo quemado y se generaron chispas y, posteriormente, flamas, por lo que el ladrillo colocado en el fondo de la mufla sufrió daños fundiéndose parcialmente, asimismo, el experimento de ladrillos a 900°C fue detenido por precaución de uso de las muflas, por lo que el centro de los mismos no alcanzó a cocerse. Se concluyó que era preferible hacer pruebas a menor temperatura y mayor tiempo, para evitar cocimientos irregulares y calcinación de ladrillos.

Se diseñó el siguiente conjunto de experimentos, limitados por la capacidad de temperatura de la mufla quemando ladrillos demostrada en los experimentos anteriores y el tiempo restante; cabe mencionar que el uso de la mufla no es exclusivo para el propósito de este proyecto; por lo cual el tiempo se convertía en una limitante aún mayor.

	Esfuerzo máximo (kg/cm <sup>2</sup> )			
	Tiempo de cocción (h)			
Temperatura (°C)	4	5	6	11
600				
700				
800				
900				

Fig. 12 Diseño de experimentos para quema de ladrillos.

Se propuso probar la quema de ladrillos a 600°C durante 4 horas como límite inferior, observar qué tan cocido queda el ladrillo a ese tiempo y a esa temperatura, proponiendo acomodar únicamente 3 ladrillos dentro de la mufla para evitar un exceso de vapores de la siguiente manera:



Fig. 13 Imagen de acomodo de ladrillos.

La cocción de los ladrillos se consideró como satisfactoria y se continuó con el estudio de tiempo de cocción y temperatura óptima, cuidando como tope los 900°C, los experimentos continúan de manera más controlada cuidando la integridad de los ladrillos en cuestión y de las muflas utilizadas.

Una vez realizados los primeros experimentos en muflas, el equipo observó que la mano de obra para la fabricación de los ladrillos es crítica para su calidad, los ladrillos fabricados por el equipo resultaban con superficies poco planas u homogéneas, y la resistencia máxima a la compresión que resistían estaba muy por debajo de los ladrillos control.

Se optó por contratar la mano de obra de una ladrillera en la que se hicieran 100 ladrillos con las proporciones que se les indicara sin que fuesen quemados para así tener muestras que se acercasen más a la realidad de la geometría, aspecto y calidad de un ladrillo artesanal. Esta decisión fue determinante para el proyecto; una vez que se comenzaron a hacer las respectivas pruebas de compresión en estos ladrillos, la resistencia que tenían estos fue considerablemente superior con respecto a los ladrillos fabricados por el equipo.

El trabajo en el laboratorio es sumamente importante, indispensable, sin embargo la parte de socializar con los trabajadores también lo es, ya que gracias a

ellos se obtienen muestras y datos reales que ayudan a que los experimentos tengan un grado de confiabilidad cada vez más alto. Aún existen muchas áreas de mejora, pero sin estas personas el proyecto no sería posible, es por eso que se llevó a cabo con la siguiente metodología, tomando en cuenta este periodo y periodos anteriores:

Visitar diferentes ladrilleras para poder observar los diferentes métodos, herramientas, combustibles, etc. que se utilizan, así como empezar a socializar con los distintos trabajadores, demostrar la importancia que tiene su labor para los involucrados en el proyecto y hacerles saber que no únicamente se busca combatir la contaminación del medio ambiente, sino también ayudarlos a ellos a tener una mejor calidad laboral y contar con herramientas para defender su producto y su trabajo.



Fig. 14 Ladrillera de Don Leo en Tlajomulco de Zúñiga.

Una vez creando un lazo con los trabajadores cumplir con lo propuesto, las pláticas informativas por ejemplo y compartirles un poco de lo que se ha trabajado en los laboratorios y el análisis que se ha hecho con los datos obtenidos.

Posterior a esto, no olvidarse de darle seguimiento ya que es un proyecto que está sujeto a cambios constantes. Consultar las normas, estar al tanto de si se aplicaron nuevas tecnologías o se utilizó un nuevo producto en alguna de las



- ✓ Evidenciar proyecto: toma de fotografías/video
- ✓ Obtención de muestras de ladrillo y materiales para su elaboración

### **3.3.3 ETAPA DE EXPERIMENTACIÓN**

- ✓ Recreación de ladrillo con base en materiales que utilizan en su respectivo municipio
- ✓ Experimentación de un lote de muestras: deshidratación del ladrillo en horno eléctrico
- ✓ Pruebas físicas en laboratorio
  - Cabeceo con azufre
  - Nivelación de las tapas del cabeceo
  - Lectura en la prensa: prueba de compresión acorde a norma mexicana
  - Interpretación de resultados
  - Resistencia a la compresión
  - Humedad

### **3.3.4 CREACIÓN DE CONTENIDOS**

#### **Manual de buenas prácticas**

- ✓ Revisión de manual realizado en otoño 2016
- ✓ Detección de mejoras
- ✓ Diseño editorial
- ✓ Vaciado de información
- ✓ Rediseño de infográficos, tablas y mapas
- ✓ Selección de fotografías

## **CAPÍTULO IV. DESARROLLO DE PROPUESTA DE MEJORA**

### **Observaciones y resultados de laboratorio**

La prensa se utilizó un total de 8 ocasiones, probando una cantidad variable de ladrillos de uno o más lotes en cada ocasión.

De los resultados de la prensa, destaca como principal observación, que los ladrillos elaborados in situ por los integrantes del PAP ladrillera obtuvieron una resistencia a la compresión mucho menor que los elaborados por personal experimentado en la ladrillera de Don Leo, esto a pesar de que en ambos casos se utilizaron los mismos tipos y proporciones de material y que todos los ladrillos salvo los de control, fueron cocidos en las muflas del ITESO. Esta observación realizada a partir de los datos generados, pudo además ser respaldada por el contraste de apariencia, textura y calidad en general de los ladrillos elaborados in situ y los elaborados por Don Leo. (ver siguientes fotos).



Fig. 16 Ladrillos elaborados por Don leo. 800 °C 11 horas (izquierda), 700 ° C 5 horas (derecha)



Fig. 17 Ladrillos elaborados in situ. 700 ° C 5 horas

La siguiente gráfica esfuerzo-deformación compara cuantitativamente los resultados obtenidos por tres ladrillos elaborados in situ y tres ladrillos elaborados por Don Leo, todos ellos cocidos en las muflas del ITESO. En ella se observa claramente el déficit de calidad en la mano de obra que representa el fabricar ladrillos in situ respecto a encargarlos a una ladrillera con personal altamente experimentado.

Las muescas en las curvas se deben a los momentos en los que la prensa realizó un cambio de marcha, en dichos momentos la celda de carga sigue realizando mediciones, lo que provoca tal efecto. Ello parte del funcionamiento normal de cualquier prensa de alta capacidad y no afecta los resultados ni la precisión de las mediciones.

Note que el esfuerzo máximo resistido por el ladrillo ocurre cuando la pendiente de la curva cambia apreciablemente tornándose menos inclinada, por lo que no necesariamente es el punto más alto de la misma. Si la curva alcanza valores más altos se debe a la resistencia que proveen los fragmentos triturados del otrora ladrillo. Estos valores deberán ignorarse tal como indica la metodología. La curva

“ideal” con forma de media campana, se vuelve más común y más definida mientras mayor altura tenga la probeta y mientras mayor resistencia tenga la misma.

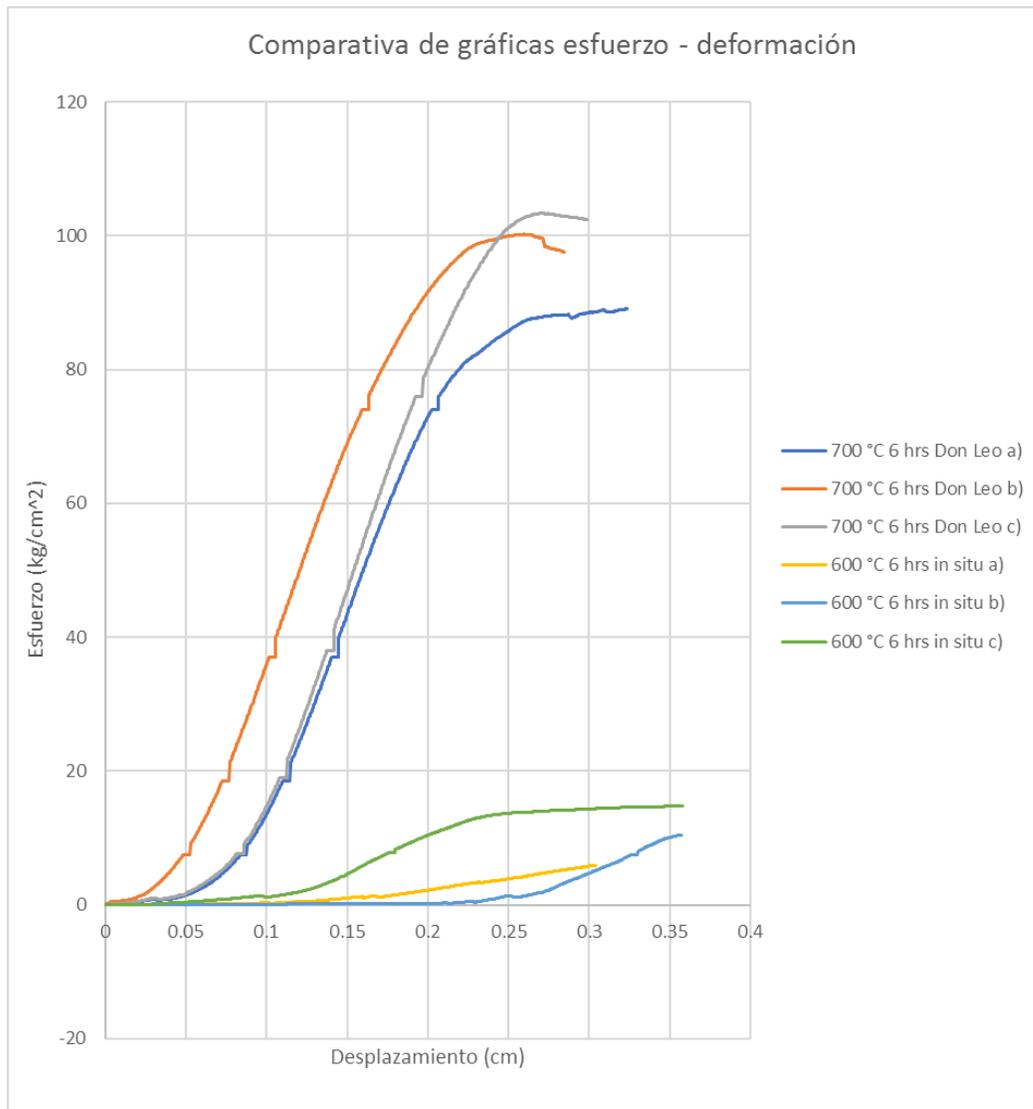


Fig. 18 Curvas esfuerzo-deformación.

Cabe mencionar que, por razones puntuales desconocidas, pero seguramente relacionadas con la calidad de mano de obra, todos los ladrillos fabricados in situ y solamente los ladrillos fabricados in situ presentaron en su interior una coloración negra, dando la apariencia de no haberse cocido por completo. Esto se observó después de haberse probado en la prensa por supuesto.

En un principio se supuso podría deberse al hecho de que las muflas, por su propósito y pequeño tamaño, alcanzan la temperatura deseada muy rápidamente

en comparación con los hornos ladrilleros, por lo que se conjeturó que el interior de los ladrillos no habría tenido el tiempo suficiente para alcanzar la temperatura del exterior. También se sospechó que las temperaturas usadas en los primeros lotes podrían haber sido demasiado bajas. Sin embargo, la coloración negra del interior no disminuyó de manera significativa independientemente de del tiempo y temperatura de cocción, y sólo desapareció cuando se hizo el cambio a ladrillos elaborados por Don Leo.



Fig. 19 Fragmento de ladrillo hecho in situ. Se observa coloración negra anormal en el centro.



Fig. 20 Fragmento de ladrillo hecho por Don Leo. No se observa coloración negra anormal en el centro.

A continuación, se grafican los esfuerzos máximos obtenidos para todos los ladrillos cabeceados, incluyendo los de control y los

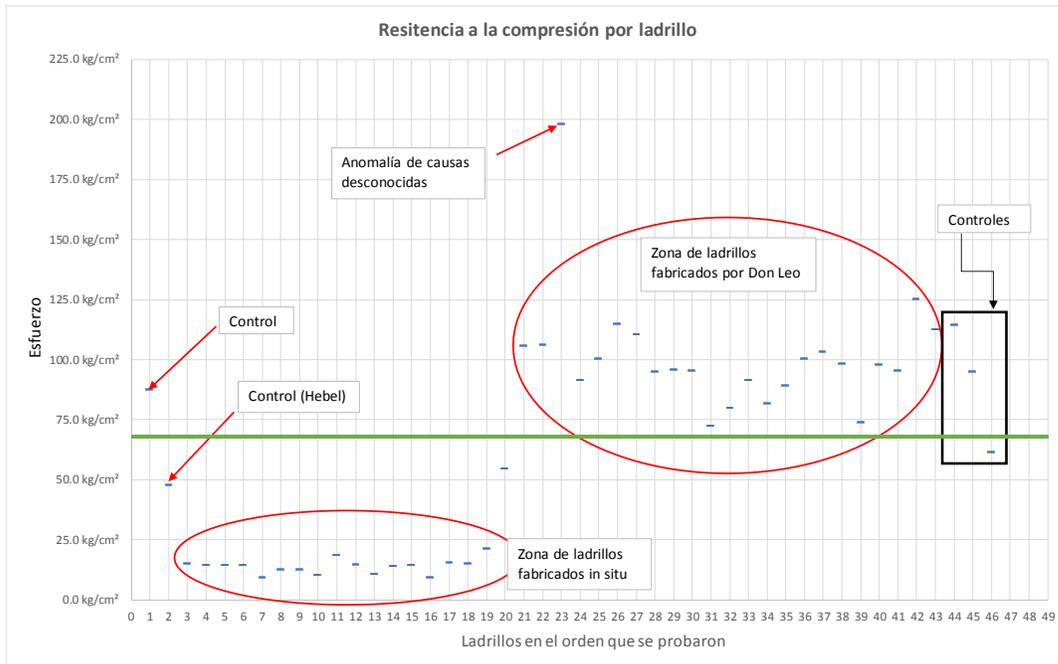


Fig. 21 Grafica de esfuerzos máximos.

Se lograron hacer aproximadamente 25 experimentos efectivos sin contar los realizados a ladrillos fabricados por el equipo ni las pruebas realizadas a ladrillos cocidos por ladrilleras como control de calidad, los datos se muestran en la tabla A en los anexos.

Se lograron hacer aproximadamente 25 experimentos efectivos sin contar los realizados a ladrillos fabricados por el equipo ni las pruebas realizadas a ladrillos cocidos por ladrilleras como control de calidad, los datos se muestran en la tabla A en los anexos.

Los resultados fueron depurados desde el software de la prensa de compresión a un archivo de Excel; estos datos se muestran en la siguiente tabla:

	Esfuerzo máximo (kg/cm <sup>2</sup> )			
	Tiempo de cocción (h)			
Temperatura (°C)	4	5	6	11
600	12,4		14,6	91,2
	12,5		10,8	81,6
	10,2		13,8	
700		95,0	89,1	72,4
		95,8	100,2	79,8
		95,2	103,4	91,3
800	14,8	98		100,5
	21,0	73,8		114,8
	54,6	97,7		110,6
900		105,8		
		106,1		

Fig. 22 Resultados obtenidos para pruebas de resistencia a ladrillos.

Posteriormente, los resultados fueron introducidos al software Minitab 17 para el análisis de los mismos, verificar homogeneidad y aleatoriedad en los experimentos. A continuación, se presenta la gráfica de residuales y el histograma que, juntos comprueban la aleatoriedad de los experimentos realizados:

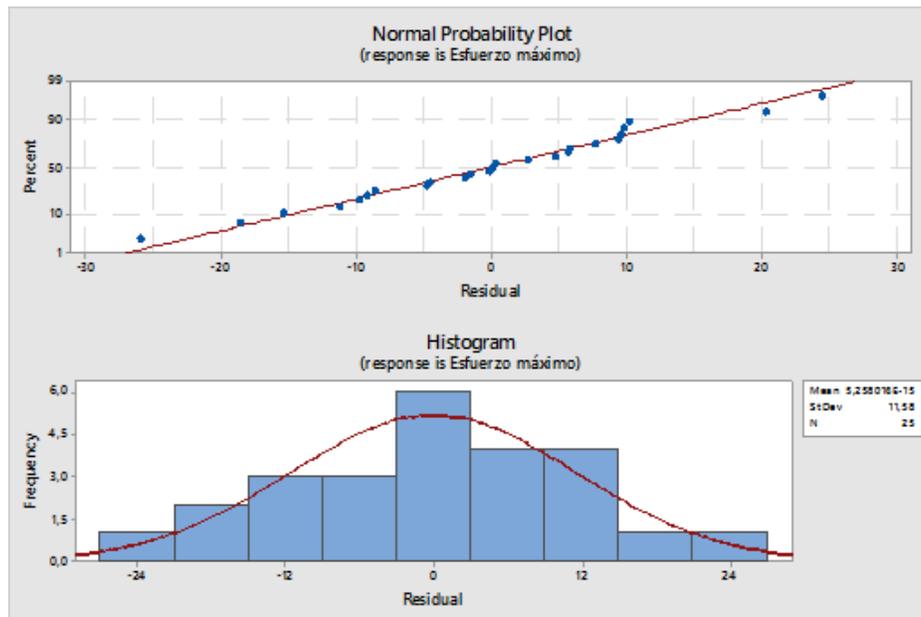


Fig. 23 Histograma y gráfico de probabilidad normal de los datos obtenidos.

Para concluir en las combinaciones óptimas de temperatura y tiempo obtenidas con los experimentos realizados se presentan en la siguiente gráfica los datos obtenidos en la tabla 2 (se coloca una marca en 70 kg/cm<sup>2</sup> tomando como referencia la resistencia mínima necesaria para pasar pruebas de la NOM):

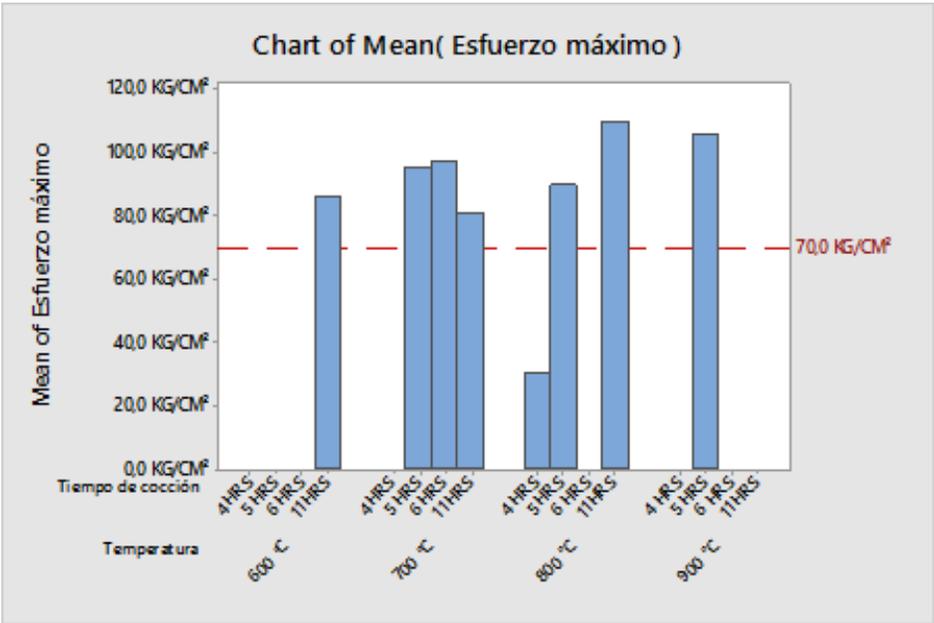


Fig. 24 Gráfico de medias para esfuerzo máximo según tiempo y temperatura de cocción.

A continuación, se presenta la gráfica en la que se grafican los efectos principales según el esfuerzo máximo:

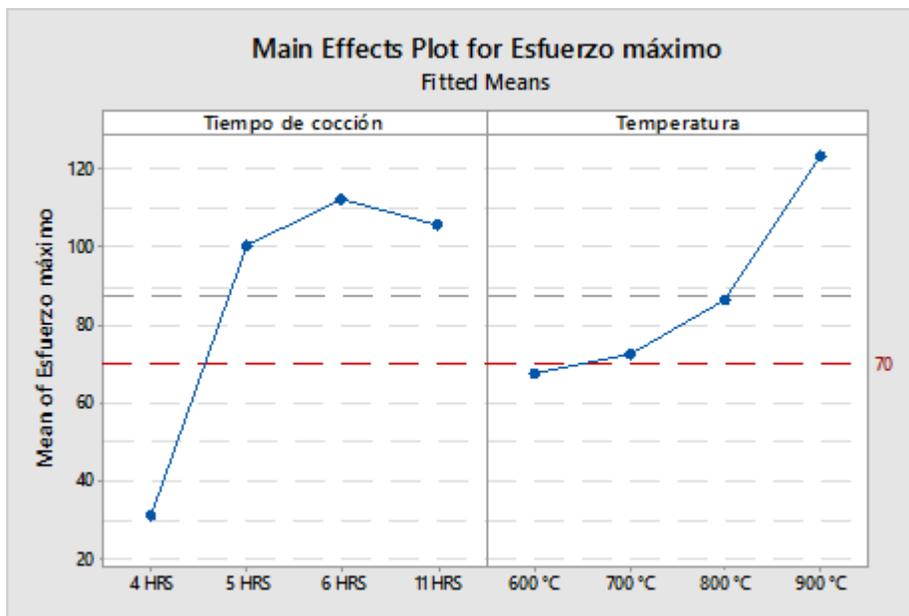


Fig. 25 Gráfico de efectos de temperatura y tiempo para esfuerzo máximo.

Se observa que a partir de 5 horas y 700°C todos los experimentos superarán los 70 kg/cm<sup>2</sup> reglamentarios, asimismo, se observa que no hay un cambio significativo en el aumento de 6 a 11 horas para ninguno de los experimentos; por lo cual se puede concluir que para una maximizar la resistencia a la compresión se pueden proponer 2 tipos de quema, una quema larga con poco combustible a no mucha temperatura o una quema no tan larga pero haciendo uso de más combustible; el escoger cuál es más conveniente no es parte del desarrollo de este proyecto.

El concluir qué proceso de quema es óptimo se logra cuantificando y caracterizando los combustibles típicos utilizados por los ladrilleros y simulando el proceso de quema por lotes con el acomodo óptimo de los ladrillos, buscando todas las fuentes de transferencia de calor para su mayor aprovechamiento y así, lograr que el tiempo encontrado en este experimento se replique en la zona estacionaria del perfil de temperatura que los ladrillos tienen dentro del horno durante el proceso de cocción.

## **4.1 Plan de trabajo para réplica de enzima compactadora de suelos EarthZyme.**

4.1.1 Adquirir el producto estabilizador de suelos con base enzimática, dado que todas las pruebas sobre actividad enzimática están basadas en el producto y en los efectos que se tienen al exponer la arcilla sobre la cual se va a trabajar a la enzima.

4.1.2 Una vez que se tenga el producto hay 2 vertientes sobre las que se deben trabajar.

4.1.2.1. Análisis de la actividad enzimática sobre un suelo previamente caracterizado físico químicamente.

- El suelo se debe caracterizar y contar con la información cuantitativa de por lo menos, los siguientes parámetros:
  - i. pH.
  - ii. Porcentaje de humedad.
  - iii. Acidez del suelo.
  - iv. Nitrógeno total.
  - v. Carbón disuelto como CO<sub>2</sub>.
  - vi. Fósforo asimilable.
  - vii. Carbonatos.
  
- Aplicar la enzima al suelo previamente caracterizado y permitir que haga su actividad sobre el mismo.
  
- Medir los mismos parámetros mencionados en el apartado 2.2 y observar los cambios ocurridos y con esta información, concluir qué tipo de enzima es la que actúa.

4.1.2.2. Análisis cualitativo al producto Earthzyme para determinar la actividad enzimática con las técnicas colorimétricas existentes (Técnica de Miller o DNS ácido dinitrosalicílico).

- Una vez que se determine la proporción que existe de las enzimas (e.g. 0,01% de proteínas) se buscan en la bibliografía las posibles combinaciones de enzimas que componen el producto.
1. El siguiente paso es hacer un diseño de experimentos en el cual se utiliza una mezcla de los aditivos a la enzima (dextrosa, maltosa, electrolitos, tensioactivos, etc... mencionados en el correo anterior) y se agregan a esta mezcla las enzimas determinadas en los experimentos mencionados en el apartado 2 y buscar la combinación de enzimas y concentraciones que resulte en la resistencia más alta del elemento de mampostería en cuestión.
  2. Cotización de las materias primas para el producto dado que, por ejemplo, los tensoactivos no son baratos y suponen un porcentaje alto de la composición del aditivo para el suelo, una vez teniendo una cotización completa, se puede tener un panorama más real de la posibilidad de producir el aditivo a bajo costo.

### **Materiales utilizados y proporciones**

Se decidió tomar las proporciones que usa Don Leo en su ladrillera, ya que para determinar cuáles son las proporciones ideales para lograr la mayor resistencia, primero debemos determinar la temperatura y tiempo de cocción óptimo. Las proporciones usadas para todos los ladrillos hechos en este semestre fueron las siguientes: una cubeta de barro negro por cada cubeta de tepetate,  $\frac{1}{2}$  de estiércol de caballo y  $\frac{1}{4}$  de aserrín (cubetas de 19 litros).

La arcilla (barro) es uno de los principales de ingredientes de la mezcla para la elaboración del ladrillo rojo, dado que una de las propiedades de la arcilla es la cohesión, la cual es una fuerza de atracción entre partículas que las mantiene unidas después del proceso de quema. Es la principal diferencia con las arenas, las cuales se mantienen unidas solo por fricción.



Fig. 26 La porción del suelo utilizada es sólo la que pasa la malla #40.



Fig. 27 Copa de Casagrande, utilizada para obtener los límites de Atterberg.

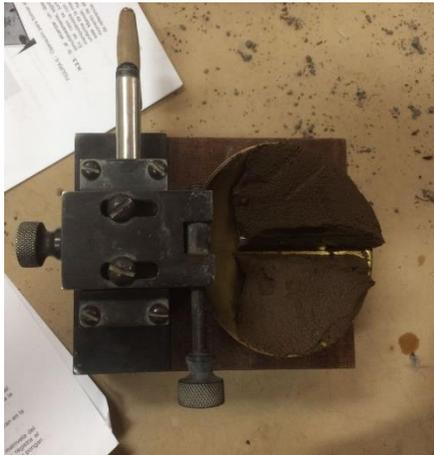


Fig. 28 Muestra de arcilla homogeneizada y ranurada sobre la copa de Casagrande. Antes de golpear.

Se realizaron pruebas de laboratorio para calcular los límites de consistencia del barro negro, eventualmente se propuso analizar también el barro rojo y el barro gris, en caso de que en otras regiones del país se utilice otro tipo de barro como base térrica para la elaboración de ladrillos.

Seguimos los lineamientos de acuerdo a la norma **M-MMP-1-07/07** “Métodos de muestreo y prueba de materiales para terracerías”. Se analizaron los resultados y se presentaron de forma gráfica. Eventualmente los suelos fueron clasificadas según S.U.C.S.

De los diferentes tipos de barro se obtuvieron características distintas en cuanto a límites de Atterberg y plasticidad. Se obtuvo en el barro negro una plasticidad alta, en el barro gris plasticidad media, mientras que en el barro rojo plasticidad baja.

Al analizar los resultados obtenidos nos damos cuenta que los diferentes tipos de barro presentan características distintas, sobre todo en cuanto a la plasticidad, lo que evidentemente influye en la maleabilidad de la mezcla para la elaboración del ladrillo rojo.

Con los resultados obtenidos sería pertinente hacer más pruebas a los diferentes tipos de arcillas. Es posible que la plasticidad de éstas influya en otras características del ladrillo, por ejemplo, en la pérdida de volumen al cocer, el tiempo de quema e inclusive en la resistencia final del ladrillo rojo, pero para poder llegar a esas conclusiones serían necesarias diferentes pruebas.

## Diagrama del Proceso Actual de la Fabricación del Ladrillo

En la actualidad, el proceso de producción para la fabricación del ladrillo requiere de cuatro pasos



Fig. 29 Proceso de producción actual de ladrillo. Fuente: Diagrama tomado de Reporte final PAP Ladrilleras Verano 2016

## 1. MEZCLA:

- Para la creación de la mezcla se revolvieron todos los materiales mencionados anteriormente.
- Después se utilizó una trituradora para moler la mezcla y evitar que tuviera pedazos de residuos dentro de ella, de ser así se debe separar.
- Se cubrió la mezcla con un plástico y se dejó por 2 días para que se mantuviera húmeda completamente.



Fig. 30 Área de trabajo de la ladrillera ubicada en Tlajomulco de Zúñiga. Fuente (Imagen propia PAP)

## 2. MOLDEADO:

- Ya húmeda la mezcla, se acomodó en el suelo.
- Para llevar a cabo este proceso se utilizó una cimbra metálica.
- Se tomó la mezcla con las manos y se rellenó dicha cimbra metálica, al levantar la cimbra se dejó el ladrillo en el suelo para poder pasar al siguiente paso: el secado.



Fig. 31 Área de moldeado en la ladrillera ubicada en Tlajomulco de Zúñiga. Fuente (Imagen propia PAP)

### 3. SECADO:

- Se dejan de 24 horas a 72 horas en el suelo para comenzar el proceso de secado, después se acomodan verticalmente y se dejan de 3 a 7 días. Todo dependiendo el tamaño del ladrillo.



Fig. 32 Área de secado en la ladrillera ubicada en Tlajomulco de Zúñiga. Fuente (Imagen propia PAP)

### 4. HORNEADO

- El horno se fabricó con los mismos ladrillos que vende Don Leo, se acomodan y se pegan con barro. Al quemar el ladrillo se le pone la cantidad exacta de madera que se necesita para que el horno se apague solo automáticamente.
- Exactamente a la mitad, se le ponen cañitas de leña para que el fuego suba a todos y cada uno de los ladrillos.



Fig. 33 Área de horneado. Horno tipo “campaña” en la ladrillera ubicada en Tlajomulco de Zúñiga. Fuente (Imagen propia PAP)

## Diagrama del Proceso Actual de cabeceo de ladrillos con azufre



Fig. 34 Proceso de cabeceo de ladrillos con azufre. Fuente (Imagen propia PAP).

### 1. QUEMADO DE AZUFRE

- Precalear en estufa de gas el recipiente metálico en el que se calentará el azufre.

- Introducir la cantidad necesaria de azufre en el recipiente metálico, ya sea en pedazos reciclados o en su forma natural en polvo de piedra.
- Agitar el azufre constantemente a fuego bajo, cuidando que la sustancia no tome una consistencia chiclosa, de ser así retirar del fuego el recipiente metálico e introducir en el un poco más de azufre y continuar agitando hasta que el azufre se encuentre completamente líquido.



Fig. 35 Azufre natural en polvo



Fig. 36 Calentado azufre en recipiente metálico

## 2. PREPARACION DE LA PLACA

- Sellar correctamente con sus tornillos la placa metálica en la que verteremos el azufre líquido.
- Untar con aceite de motor la superficie de la placa metálica para posteriormente poder desprender de la placa el azufre endurecido.



Fig. 37 Placa metálica, untada con aceite de motor y tornillos correctamente apretados.

### 3. VERTER AZUFRE

- Una vez teniendo el azufre suficientemente caliente en su forma líquida, cuidadosamente verter el líquido en la placa metálica.
- Verter aproximadamente 8 mm de espesor de azufre líquido.



Fig. 38 Azufre líquido vertido en placa previamente aceitada. Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=LPKz7cUCVhg>

### 4. COLOCAR LADRILLO EN AZUFRE LIQUIDO

- Después de verter 8 mm de grosor de líquido de azufre en la placa, cuidadosamente colocar el ladrillo dentro del líquido sumergiendo 5 mm aproximadamente de la superficie del ladrillo.
- Dejar que el azufre se endurezca y enfríe.
- Cuidadosamente retirar el ladrillo con el azufre endurecido.
- Repetir mismo proceso para ambas cara del ladrillo



**Imagen 5. Ladrillo colocado en placa metálica con azufre en forma líquida**

**Imagen 6. Ladrillos cabeceados en ambas caras**

### **Pruebas de prensa en laboratorio**

Una vez elaborado el producto (ladrillos cabeceados) se procedió a realizar las pruebas de resistencia a la compresión. Dichas pruebas se llevaron a cabo en la Prensa Universal ubicada en el laboratorio de Estructuras Mayores dentro del edificio H del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO).

## **CAPÍTULO V. PRODUCTOS, RESULTADOS E IMPACTOS GENERADOS**

**“Determinar la temperatura y tiempo de cocción óptimo del ladrillo, es decir, la temperatura y tiempo en el que el ladrillo alcanza su máxima resistencia a compresión”**

### **Resumen.**

Se tomarán muestras de un mismo lote comprado a maestro ladrillero ubicado en Tlajomulco, se buscó que las muestras fueran del mismo lote para así no variar en cuestiones de materiales, mano de obra, temperatura de secado etc.

Lo que se busca en esta experimentación es someter las muestras de ladrillos a diferentes tiempos de cocción y diferentes temperaturas en muflas que

nos permiten quemar ladrillos a temperaturas y tiempos controlados. Y con esto encontrar cual fue la muestra que tuvo mejor resistencia en las pruebas de compresión y así poder definir cuál sería la mejor temperatura y el mejor tiempo de cocción para que los ladrillos nos otorguen una resistencia mecánica satisfactoria.

### **Procedimiento.**

**Pruebas de laboratorio para clasificación de suelos:** se realizaron pruebas de laboratorio para calcular los límites de consistencia del barro negro, barro rojo y el barro gris, con la finalidad de que puedan consultarse las propiedades de estos materiales.

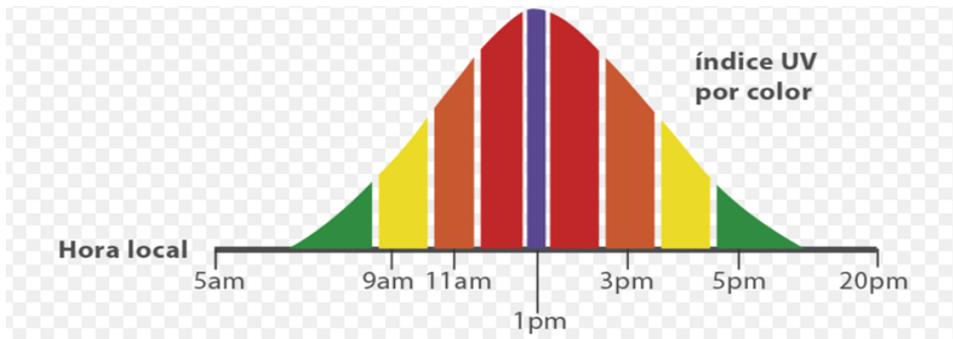
Seguimos los lineamientos de acuerdo a la norma M-MMP-1-07/07 “Métodos de muestreo y prueba de materiales”. Se analizaron los resultados y se presentaron de forma gráfica. Eventualmente los suelos fueron clasificados según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S)

### **5.2 Resultados alcanzados**

Referido al factor humano se logró concientizar a un porcentaje bastante alto de los trabajadores que acudieron a las pláticas, muchos cayeron en cuenta que la aplicación de buenas prácticas y trabajar de manera más segura no es para nada complicado o muy costoso.

Se les mostraron gráficas y datos confiables sobre cómo está el mundo hoy en día para que pudieran darse una idea de lo importante que es colaborar con el medio ambiente, y así, todos poder llevar una vida un poco más sana y segura. También se les dieron recomendaciones muy sencillas para que puedan cuidar de su salud mientras trabajan, ya que como se mencionaba anteriormente, el proyecto no solo está interesado en mejorar el producto (el ladrillo) y la calidad del medio ambiente, también está interesado en la salud y el bienestar de los trabajadores.

Imágenes de lo visto en las pláticas:



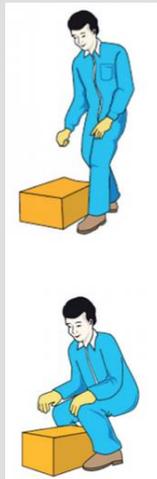
([https://www.google.com.mx/searchq=indice+UV+por+colore&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjJnduOxN\\_TAhUGSiYKHTmuBgsQ\\_AUIBigB&biw=1707&bih=806#imgrc=8-GZG4-cYNiEvM:](https://www.google.com.mx/searchq=indice+UV+por+colore&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjJnduOxN_TAhUGSiYKHTmuBgsQ_AUIBigB&biw=1707&bih=806#imgrc=8-GZG4-cYNiEvM:))

ÍNDICE UV	1-2	Baja	Puede permanecer en el exterior sin riesgo
	3-5	Moderada	- Manténgase a la sombra durante las horas centrales del día - Póngase camisa, crema de protección solar y sombrero
	6-7	Alta	- Evite salir durante las horas centrales del día - Busque la sombra Son imprescindibles camisa, crema de protección solar y sombrero
	8-10	Muy alta	
	11+	Extremadamente alta	

([https://www.google.com.mx/searchq=indice+UV+por+colore&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjJnduOxN\\_TAhUGSiYKHTmuBgsQ\\_AUIBigB&biw=1707&bih=806#imgrc=aPqQQZyWSk8vYM:](https://www.google.com.mx/searchq=indice+UV+por+colore&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjJnduOxN_TAhUGSiYKHTmuBgsQ_AUIBigB&biw=1707&bih=806#imgrc=aPqQQZyWSk8vYM:))

## Trabajo – trabajador – cuerpo

- Postura durante la carga de ladrillos:
- Agarre correcto:
- Movimiento de sacos:
- Alturas:



([www.redladrilleras.net/apps/manual\\_ccac/pdf/es/Cartilla-Buenas-Praticas-en-Ladrilleras-Artesanales-Bolivia.pdf](http://www.redladrilleras.net/apps/manual_ccac/pdf/es/Cartilla-Buenas-Praticas-en-Ladrilleras-Artesanales-Bolivia.pdf))

# Higiene, Seguridad y Protección Personal

## NOM 017 STPS 2009



(NOM 017 STPS 2009)

### 5.3 Impactos generados:

Se recibieron estímulos y respuestas muy positivas a lo largo de las pláticas y las visitas, lo cual indica que ésta parte del proyecto va por buen camino y que es importante no dejarlo caer para que no pierda credibilidad ni información valiosa. Muchos de los trabajadores comentaron que la información proporcionada les había sido de mucha ayuda y que esperaban que siguiera habiendo pláticas y apoyos como los que hasta ahora se han dado.

Debido a que no se cuenta con las herramientas necesarias para medir el impacto ambiental no es posible dar un dato duro sobre la mejora en cuanto a buenas prácticas, sin embargo se puede apreciar el cambio y la mejora de los malos hábitos cuando se visitan las ladrilleras. Se puede observar el tipo de combustible que utilizan, la manera en que los trabajadores realizan y organizan sus actividades, etc.



## **CAPITULO VI. APRENDIZAJES INDIVIDUALES Y GRUPALES**

### **6.1 Aprendizajes profesionales: competencias reforzadas y conocimientos adquiridos.**

Hoy en día, los profesionistas se enfrentan a un mundo donde se presentan diversos obstáculos donde cada quien debe enfocarse en la solución de dicho problema pero buscando el bien común, tomando en cuenta los requisitos y/o necesidades a satisfacer, ya que siempre están involucrados los factores tanto social, como económico y ambiental.

El conocimiento adquirido a través de la investigación realizada y el trabajo en campo y en conjunto con la ladrillera en Tlajomulco la cual siempre se ha mostrado cooperativa al proyecto de ladrilleras es el mayor aprendizaje que el proyecto nos dejó. Gracias a personas como Don Leo el proyecto se ha mantenido en pie, ya que amablemente ha apoyado tanto con conocimiento y experiencia como con materiales y producto, es una persona que se ha mantenido fiel al proyecto y seguro verá grandes resultados.

Lo más importante fue darnos cuenta que a pesar de que existen normas, materiales establecidos, procesos de producción que ya tienen años, décadas y que han pasado de generación en generación y lineamientos que debe cumplir estrictamente el producto propuesto, se puede lograr una mejora gracias a la colaboración multidisciplinaria. Ya que el conocimiento que cada quien aportó desde su punto de vista profesional, fue lo que ayudó para que esta etapa pudiera llevarse a cabo logrando productos viables, de alta calidad, con una resistencia aceptable, la cual poco a poco y siguiendo con las pruebas experimentales podrían llegar muy lejos.

Es fundamental saber trabajar en equipo, ya que como se menciona en el párrafo anterior, el hecho de trabajar con personas de diferentes carreras amplía el panorama. Se obtienen diferentes puntos de vista ante una situación, diferentes ideas, opciones de mejora y diferentes maneras de solucionar un mismo problema.

## **6.2 Aprendizajes sociales**

En la actualidad, la contaminación afecta, no solo al medio ambiente, sino también a todos los seres vivos del entorno, tanto plantas, animales, a nosotros mismos y a nuestras futuras generaciones. Hoy en día tenemos que preocuparnos por todo tipo de contaminación, suelo, aire y agua, y además ocuparnos de ello de por vida si queremos tratar de mantener al planeta con una buena calidad de vida para ofrecernos.

Es importante hacer un análisis de todos los factores que pueden llegar a influir en un proyecto. En esta etapa del proyecto se comprobó por medio de pruebas experimentales que si se puede optimizar el tiempo y temperatura de quemado para la fabricación del ladrillo. El cual tomando en cuenta que el sector de la construcción seguirá creciendo con el paso del tiempo, se debe comenzar a pensar en todas las personas que pueden favorecerse si el impacto ambiental es menor.

Las personas beneficiadas no solo serán aquellas que busquen construir con materiales que tengan menor impacto en el ambiente, sino también aquellas personas que se dediquen a la elaboración de dicho producto. Ya que si se

disminuye el tiempo que requiere fabricar un ladrillo entonces la producción aumenta, si la producción aumenta dicho trabajo se vuelve competitivo y si los ladrilleros ofrecen un producto de buena calidad con un menor impacto ambiental, pueden vender su producto a un mayor precio del que ahora manejan. Se benefician ellos mismos y benefician la calidad de vida de las personas ya que generan un impacto ecológico mínimo.

### **6.3 Aprendizajes éticos**

El buscar innovar para poder ayudar a las demás personas sin esperar nada a cambio y dejando el egoísmo por un lado es el mayor aprendizaje que el trabajar en conjunto con diferentes disciplinas nos dejó este proyecto. Ya que todo lo que se logró hasta la fecha fue gracias a la colaboración de los investigadores pero sobre todo las personas que merecen mayor reconocimiento son los artesanos, quienes abrieron las puertas de sus negocios para transmitir el conocimiento que tienen sobre la fabricación de dicho producto y gracias al interés y la disposición de crear productos de calidad pero sobre todo productos que tengan menor impacto en el medio ambiente para que la sociedad pueda tener una mejor calidad de vida es algo que nos llena de satisfacción.

El trabajar con estas personas también te hace valorar la posición en la que te encuentras, no eres solo una persona que tuvo la oportunidad de ir a la universidad, estudiar una carrera y obtener un título, eres una persona que cuenta con las herramientas y los saberes necesarios para ayudar a una gran cantidad de personas a gran escala, y se deben aprovechar estos momentos porque son momentos en los que podemos lograr un cambio, ese cambio del que tanto hablamos en el día a día, poner nuestro granito de arena.

## 6.4 Aprendizajes en lo personal

### Paz Rebeca Partida Padilla (Ing. Civil)

Dentro de la formación como Ingeniera Civil, una de las principales competencias socio-profesionales de la formación, es aplicar los saberes adquiridos en un proyecto viable que favorezca a una comunidad en situación vulnerable, para un mejor desarrollo de su entorno social.

Por lo que la participación en este proyecto me deja satisfecha ya que pude aportar desde mi profesión un punto de vista para un fin común como lo fue la optimización de quema de ladrillo

Aún hay mucha información que desconocemos que podemos seguir desarrollando más sin embargo es un camino largo de recorrer debido a lo meticuloso que se debe ser para lograr un buen resultado por lo tanto debemos seguir recaudando información y avanzar a favor de los elementos que se presenten.

### Gerardo José Núñez Alarcón (Ing. Civil):

Resulta de gran importancia el que todos los productos u elementos estén apegando a las normas correspondientes y cumplan con los requisitos que estas dicten. En este proyecto en específico, se buscó buscar el tiempo y temperatura óptimo que dieran como resultado un elemento de mampostería que cumpliera con la resistencia a la compresión del ladrillo para disminuir el tiempo de en que se cuecen estos elementos y por ende, disminuir las emisiones de gases que su quema producen.

Fue satisfactorio el poder aplicar conocimientos y experiencias dadas a lo largo de la carrera de manera profesional y el poder aplicarlo a algo que al final

beneficie tanto al ser humano como al medio ambiente y sobre todo el haber llegado a resultados concretos que nos ayudan a confirmar que tenemos competencias profesionales para aportar y resolver problemas tanto en el campo laboral como en el profesional.

Constanza Moreno Aldrete (Ing. Civil):

Concluyo que este PAP es uno de los más pro-activos que hay en el ITESO, ya que promueve la innovación de materiales, pero se sale de lo convencional y lleva a los alumnos que lo toman a experimentar cada etapa de un proyecto: desde la planificación hasta la mano de obra.

Carlos Enrique Macías Calleja (Ing. Química):

Este proyecto me ha ayudado a entender que como ingeniero químico es importante utilizar los conocimientos técnicos no sólo en el desarrollo tecnológico e industrial, sino que también es fundamental apoyar a las pequeñas empresas que producen de manera artesanal, dado que también éstas necesitan conocimiento técnico y desarrollo tecnológico para mejorar y estandarizar sus procesos.

También me parece importante poder trabajar en equipo con gente de una disciplina distinta a la que practico, dado que estos aportan nuevas y más maneras de abordar los problemas, esta práctica es muy enriquecedora, espero poder seguir trabajando en este proyecto para aportar y abonar más a este esfuerzo que seguramente continuará por mucho tiempo.

Jorge Juan Palomar Villalvazo (Lic. Arquitectura):

Uno de los aspectos más importantes dentro de mi profesión es tener un amplio conocimiento en todo lo que tenga que ver con el uso de los materiales y su aplicación para diferentes necesidades, la habilidad de un buen arquitecto radica en la solución de problemas dentro del entorno en el que se trabaja y esto se hace por

medio de los materiales; el conocer las funciones principales de cada elemento constructivo lleva a cabo una obra de calidad y funcional.

El PAP es de gran ayuda para entender éste concepto de la materialidad de una forma más técnica. Los procesos que se llevan a cabo para dar resultados y conocer los parámetros que llega a alcanzar un material son fundamentales para la práctica laboral.

Conocí el proceso completo de la elaboración del ladrillo, teniendo en cuenta que es considerado uno de los materiales más comunes para la construcción, se podría afirmar que éste cumple con todos los estándares de las normal para su eficaz fabricación cuando en realidad no es así. Entendí que las ladrilleras son negocios sin apego a los reglamentos ni a las prácticas seguras. Esto provocó más interés en el PAP, para poder darle valores concretos a lo que creímos que se llevaba haciendo bien durante mucho tiempo.

Creo que es muy importante darle las ladrilleras la importancia que merecen ya que ellas proveen un importantísimo recurso para la construcción. Es necesario seguir implementando recursos y tecnologías para seguir desarrollando y mejorando un elemento tan importante como lo es el ladrillo.

Diego Armando Camacho Zepeda (Ing. Civil):

En ocasiones nos encontramos tan encerrados en nuestro mundo que no nos damos cuenta de las realidades que nos rodean. El trabajo en las ladrilleras es muy sufrido, la gente trabaja de sol a sol en condiciones que no son óptimas y que a la larga puede causar graves afectaciones en su salud.

Como profesionistas es nuestro deber social, mediante conocimientos e ideas, mejorar las condiciones de vida de estas personas en la medida de lo posible.

En lo personal el PAP de ladrillera me ha dejado grandes aprendizajes, el más importante fue conocer que requerimientos debe cumplir un elemento de mampostería, como resistencia, dimensiones, métodos de prueba, entre otros.

No cabe duda que el barro, principal elemento del ladrillo, es un material muy noble y de muchas bondades, puede tomar casi cualquier forma y en una amplia variedad de colores. Por lo que es una lástima que esté perdiendo terreno frente al block gris, que salvo por el costo no tiene mucho más que ofrecer en comparación a los elementos de arcilla.

Marisol Reyes Bayardo:

Me llevo muchos aprendizajes de este proyecto, del PAP en general, y a la buena o a la mala aprendí y reforcé muchas cosas. Algunas de ellas son:

Que es importante lograr un ambiente de trabajo agradable para todos, no todos tienen que ser mejores amigos o bromear entre sí, pero sí lograr tener un trato cordial, objetivo, amigable y con la mejor disposición posible. Todos necesitamos de todos y para que un proyecto de frutos es indispensable el factor social. Alguien puede tener una idea brillante, pero sin la ayuda y el apoyo de los demás esa idea difícilmente llegará a ser algo real.

Otra de las cosas que aprendí es que realmente un granito de arena puede hacer un gran cambio y que es verdad que si todos aportamos un poquito de lo nuestro se puede generar una mejora notable y agradable para todos los seres que habitamos este planeta.

También reforcé que la vida no se trata de saberlo todo y ser perfecto, a veces lo más importante para lograr transmitir una idea, información importante y hasta aprender de otros, es generar empatía con las demás personas, generar lazos de confianza, aprender a solucionar problemas y comprometerte con tu trabajo. Bien dicen que el coeficiente intelectual no es precisamente lo que hace distintiva a una

persona, suele resaltar más la inteligencia emocional, ya que todos dependemos de todos y en esta vida si no nos unimos, lo que eventualmente va a suceder es que nos vamos a destruir los unos a los otros. Tuve la oportunidad y la dicha de unirme a un equipo a mitad de semestre que me recibió de manera muy agradable, me adoptó como si hubiera sido parte del equipo desde un principio y me enseñó todo lo que ellos ya sabían y creo y siento que esto es lo que siempre debemos de hacer, en todos los aspectos no solo en proyectos de la escuela; debemos aprender a integrar a las personas que se cruzan en nuestro camino y tratar de dejar una huella en ellos, así como también estar abiertos a aprender de esas personas y mejorar como seres humanos, para nosotros mismos y para nuestro planeta.

#### Alexia Ramírez Montero (Ing. Química)

El propósito del PAP (Proyecto de Aplicación Profesional) es dar al alumno una capacitación, experiencia y/o reto de resolver problemáticas reales laborales mediante herramientas y conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera universitaria. Este proyecto me ofreció ese reto y experiencia laboral, así como, conocimientos de mampostería, experiencia en trabajar en equipo (aun cuando éste esté conformado por individuos de distintas carreras con distintos puntos de vista) y desarrollar la capacidad de investigación y desarrollo de proyectos nuevos. El proyecto de ladrillera me dio la oportunidad de diseñar un diseño de experimento, encontrar procesos con necesidad de optimización, plantear mis ideas, investigaciones y experiencias en un reporte que le servirá en un futuro a cualquiera que quiera continuar con este proyecto y a adquirir experiencia laboral y de compromiso.

## **Capítulo VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### 7.1 Conclusiones.

Los datos obtenidos en este experimento pueden servir ampliamente como base para el futuro de este proyecto, así como las pautas que se marcaron en la capacitación y talleres fundamentados en las normas NOM de la Secretaría del

Trabajo y Previsión Social (STPS), el trabajo realizado en el presente proyecto (tanto los experimentos como la caracterización del material) debe ser utilizado como pauta para la estandarización de la producción artesanal del ladrillo rojo en la ZMG.

Creemos que los resultados que se obtuvieron durante este periodo son un claro indicador de todos los factores que afectan al ladrillo desde el principio de su elaboración hasta el producto terminado, los valores variarán de acuerdo a la proporción de materias primas junto con los agregados de agua y el tiempo de calor que se les da. Es necesario tener una base fija y equilibrada que dé como resultado un ladrillo que cumpla con las normas y reglamentos para la construcción.

Es importante colaborar con distintas profesiones para brindar al equipo de trabajo diferentes perspectivas que ayudan a solucionar problemas desde diferentes puntos de vista. El trabajo grupal influye en la toma de decisiones y facilita un rápido desempeño durante los procesos de investigación.

## 7.2 Recomendaciones y perspectivas a futuro.

En esta etapa del proyecto se logró demostrar el impacto de la temperatura y el tiempo de cocción influyen directamente en la resistencia a compresión del ladrillo por lo que se considera necesario para continuar con dichos experimentos, hacer otro tipo de pruebas, a cortante por ejemplo. De igual manera todos los experimentos realizados a lo largo del semestre van orientados al desarrollo de un horno que permita aprovechar el máximo porcentaje de energía.

Se desarrolló también en el transcurso de este semestre un manual de buenas prácticas, lo ideal sería que estas prácticas se lleven a cabo en las ladrilleras, para ello lo que se esperaría del proyecto es crear algún tipo de certificación al ladrillo que se elabore siguiendo los procesos ahí señalados. Además de una campaña de concientización entre los clientes y usuarios del ladrillo.

Por último, se realizó también la caracterización del barro, principal elemento del ladrillo, la cual resultó en diferentes grados de plasticidad del mismo. Sería conveniente probar ladrillos elaborados con diferentes tipos de barro e inclusive

elaborar ladrillos con cada tipo de barro. Para así verificar que ésta variable afecta o no al producto final.

#### **Referencias:**

1. Rodríguez Ramírez, J.; Diego Nava, F.; Martínez Alvarez, C.; Méndez Lagunas, L.; Aguilar Lescas, M.; (2004). Perfiles de temperatura en un horno ladrillero. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, . 209-217.
2. Universidad de Oviedo; (2017). Cerámicas /// Lección 7.- Cocción. [online]. Available at <http://www.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion7.coccion.pdf>. [Accessed 8 Apr. 2017].
3. Cárdenas González, Beatriz. (2011). EELA. Determinación de emisiones de gases de efecto Invernadero en base a factores de emisión y monitoreos de eficiencia energética en la comunidad ladrillera el Refugio, León, Guanajuato. [online]. Available at: [http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgcenica/2011\\_informe\\_gei\\_ladrilleras\\_refugio.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgcenica/2011_informe_gei_ladrilleras_refugio.pdf) [Accessed 8 Apr. 2017].

Secretaría de comunicaciones y transporte. (2007). *Métodos de muestreo y pruebas de materiales. Límites de consistencia*. DF: SCT.

#### **Anexos:**

Número	Temperatura	Tiempo	Esfuerzo máximo	Observaciones
1	-	-	87,5 kg/cm <sup>2</sup>	Control
2	-	-	47,6 kg/cm <sup>2</sup>	Hebel
3	1 000 °C	2 hrs	15,1 kg/cm <sup>2</sup>	Se interrumpió cocción, elaboración propia
4	1 000 °C	2 hrs	14,4 kg/cm <sup>2</sup>	
5	1 000 °C	2 hrs	14,3 kg/cm <sup>2</sup>	
6	900 °C	2 hrs	14,1 kg/cm <sup>2</sup>	
7	900 °C	2 hrs	9,1 kg/cm <sup>2</sup>	
8	900 °C	2 hrs	12,4 kg/cm <sup>2</sup>	
9	600 °C	4 hrs	12,5 kg/cm <sup>2</sup>	Elaboración propia
10	600 °C	4 hrs	10,2 kg/cm <sup>2</sup>	
11	600 °C	4 hrs	18,5 kg/cm <sup>2</sup>	
12	600 °C	6 hrs	14,6 kg/cm <sup>2</sup>	
13	600 °C	6 hrs	10,8 kg/cm <sup>2</sup>	
14	600 °C	6 hrs	13,8 kg/cm <sup>2</sup>	
15	800 °C	4 hrs	14,3 kg/cm <sup>2</sup>	
16	800 °C	4 hrs	9,2 kg/cm <sup>2</sup>	
17	800 °C	4 hrs	15,2 kg/cm <sup>2</sup>	
18	800 °C	4 hrs	14,8 kg/cm <sup>2</sup>	
19	800 °C	4 hrs	21,0 kg/cm <sup>2</sup>	
20	800 °C	4 hrs	54,6 kg/cm <sup>2</sup>	
21	900 °C	5 hrs	105,8 kg/cm <sup>2</sup>	
22	900 °C	5 hrs	106,1 kg/cm <sup>2</sup>	
23	900 °C	5 hrs	198,1 kg/cm <sup>2</sup>	
24	600 °C	11 hrs	91,2 kg/cm <sup>2</sup>	
25	800 °C	11 hrs	100,5 kg/cm <sup>2</sup>	
26	800 °C	11 hrs	114,8 kg/cm <sup>2</sup>	
27	800 °C	11 hrs	110,6 kg/cm <sup>2</sup>	
28	700 °C	5 hrs	95,0 kg/cm <sup>2</sup>	
29	700 °C	5 hrs	95,8 kg/cm <sup>2</sup>	
30	700 °C	5 hrs	95,2 kg/cm <sup>2</sup>	
31	700 °C	11 hrs	72,4 kg/cm <sup>2</sup>	
32	700 °C	11 hrs	79,8 kg/cm <sup>2</sup>	
33	700 °C	11 hrs	91,3 kg/cm <sup>2</sup>	Cabeceado regular
34	600 °C	11 hrs	81,6 kg/cm <sup>2</sup>	
35	700 °C	6 hrs	89,1 kg/cm <sup>2</sup>	
36	700 °C	6 hrs	100,2 kg/cm <sup>2</sup>	
37	700 °C	6 hrs	103,4 kg/cm <sup>2</sup>	
38	800 °C	5 hrs	98,0 kg/cm <sup>2</sup>	
39	800 °C	5 hrs	73,8 kg/cm <sup>2</sup>	
40	800 °C	5 hrs	97,7 kg/cm <sup>2</sup>	
41	800 °C	11 hrs	95,2 kg/cm <sup>2</sup>	
42	800 °C	11 hrs	125,3 kg/cm <sup>2</sup>	
43	800 °C	11 hrs	112,6 kg/cm <sup>2</sup>	
44	-	-	114,6 kg/cm <sup>2</sup>	Control hecho y cocido por don Leo sin cabecear
45	-	-	95,0 kg/cm <sup>2</sup>	
46	-	-	61,3 kg/cm <sup>2</sup>	

Tabla A: Resultados de esfuerzo máximo en función de tiempo y temperatura.

