

Análisis Estadístico de la Resistencia a la Compresión de Ladrillos para Construcción

Pérez Galindo, J.A., Cervantes Mata, M., Nogueira Castro, G.
Instituto Tecnológico de Durango
Felipe Pescador 1830 Ote.
Durango, Dgo. C.P. 34080
Tel (18)184812 Fax (18)184813

Martín Domínguez, I.R.
CIIDIR, IPN, Durango
Sigma s/n
Fracc. 20 de Noviembre
Durango, Dgo., C.P. 34220

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados de un análisis estadístico realizado sobre una muestra de ladrillos que se obtuvieron de un fabricante de la localidad. Dado que solamente se trabajó con un fabricante y la medición de resistencia a la compresión solamente se realizó una vez, los resultados no pueden ser generalizados. Sin embargo, por la gran similitud entre los hornos de distintos fabricantes y en el procedimiento de formación y cocción de los ladrillos, los resultados obtenidos si pueden ser considerados típicos.

Se encontró que hay una diferencia estadística significativa entre la resistencia obtenida de los ladrillos que se cocieron en distintas partes del horno y que el promedio de resistencia es apenas superior al valor mínimo especificado para el ladrillo de más baja calidad por las normas más estrictas del país.

Abstract

This work presents results of the statistical analysis performed on a sample of bricks from a local manufacturer. These results may not be generalized, since only one manufacturer and one set of resistance measurements were effected. However, in view of the great similarity among manufacturers procedures and equipment, the results may be considered typical.

There was a statistically significant difference on the resistance of bricks which were fired in different locations of the firing chamber, and the average brick resistance was barely above the minimum permissible value for the lowest grade of bricks, according to the most strict mexican norms.

Introducción

Casi el 100% de los ladrillos para construcción empleados para edificar casas en México se fabrican de una mezcla de arcilla con materia orgánica (aserrín, virutas o paja) que, después de formados y secados, se cuecen en un horno (llamado obrador) que

es fabricado comúnmente por el mismo propietario y de acuerdo a tecnología rudimentaria. La composición de la mezcla utilizada varía de obrador a obrador y se obtiene por prueba y error por los fabricantes. Los ladrillos se cuecen en lotes, bajo condiciones de control muy pobres y

por tiempos que también se ajustan de acuerdo a la experiencia de los fabricantes.

Todo esto se traduce en un control de calidad muy deficiente, con el consecuente detrimento en las características deseables del producto que son, básicamente, buena resistencia a la compresión y a la humedad. En un esfuerzo para mejorar el proceso de fabricación, en el Instituto Tecnológico de Durango se desarrolló un proyecto cuyo objetivo es obtener información para diseñar hornos de ladrillo.

La primera etapa del proyecto, consistió en la determinación de las características de operación de un obrador típico, así como de la resistencia a la compresión de los ladrillos producidos [1]. En este trabajo se presenta la evaluación estadística de las resistencias medidas.

Descripción del Obrador

La ladrillera, de la cual se obtuvieron las muestras, consta de un área de mezclado, una de secado a la intemperie y de un obrador típico. Este está formado por una cámara de combustión, localizada abajo del nivel de piso y que en su parte superior tiene cuatro arcos sobre los cuales se colocan las camas de ladrillo para ser quemado. Los arcos son, a su vez, la parte inferior de la cámara en donde se colocan los ladrillos, la cual es un simple cubículo de 2.25m de ancho por 2.9 m de profundidad por 2.6 m de altura.

El ladrillo se posiciona de canto, en grupos de aproximadamente cinco piezas en formación de tapetillo, dejando aproximadamente 1 a 1.5 cm de separación entre ladrillo y ladrillo. La orientación entre ladrillos de hileras adyacentes es de 90°, con

lo cual se forman conductos de sección rectangular para permitir el paso de los gases de la combustión.

En el obrador muestreado, el área del hogar es de aproximadamente 60% de la del cubículo superior, por lo que las primeras tres hileras de ladrillos, de aproximadamente 150 piezas por hilera, solo cubren el área central del cubículo superior. En las 15 hileras restantes se tienen aproximadamente 400 piezas por hilera, acomodadas en el área total del cubículo de 2.25 x 2.9 m.

Resistencias Medidas

La medición de resistencias fue realizada sobre una sola muestra de ladrillos del obrador, ya que de antemano se esperaba una gran variabilidad en los resultados y el objetivo de las mediciones fue obtener información para diseñar un conjunto de experimentos de cocción de ladrillo a temperatura y tiempos controlados [2].

Sin embargo, debido a la similitud entre lotes de ladrillos y entre distintas ladrilleras, las mediciones pueden ser consideradas representativas del proceso.

Del obrador descrito en el inciso anterior se seleccionaron tres localidades. La primera fue la columna localizada en la parte frontal izquierda del cubículo, la segunda fue el centro y la tercera la parte posterior derecha. Se extrajeron todos los ladrillos de cada columna mencionada y la prueba de resistencia se llevó a cabo de acuerdo a normas en una máquina universal de pruebas de resistencia a tensión y compresión con capacidad de 50 toneladas [1].

Para medir su resistencia, cada pieza se partió a la mitad, canteando las mitades con

pega-azulejo para obtener dos superficies totalmente planas y paralelas. De acuerdo a la norma utilizada, las dos piezas se pegaron una sobre la otra, formando así la pieza que se probó en la máquina universal.

El resultado de las mediciones se muestra en la Tabla 1, en la cual se proporcionan los valores de resistencia última a la compresión para cada una de las piezas probadas. En la primera columna de la tabla se indica la posición horizontal de la pieza en el obrador, correspondiendo el número uno a la parte superior del cubículo, o sea al nivel más alejado del hogar, y el número 18 a la cama inmediatamente arriba del hogar del obrador. Como ya se mencionó, en el centro el área es menor, y es por esto que las columnas del frente y del fondo tienen menor número de ladrillos

Tabla 1.- Resistencias a la Compresión
(kg/cm²)

No. Hilera	Frente, Izquierda	Centro	Fondo, Derecha
1	46.22	40.67	52.29
2	32.35	54.54	42.06
3	43.68	53.15	36.69
4	46.68	49.40	47.38
5	45.99	54.31	42.18
6	47.38	68.87	44.20
7	51.54	67.89	47.95
8	14.56	68.87	40.33
9	49.46	67.95	34.67
10	48.88	57.31	63.32
11	42.75	61.24	49.46
12	41.77	50.61	56.33
13	49.34	48.88	62.86
14	53.04	66.44	58.70
15		70.95	60.09
16		77.19	
17		70.37	
18		61.47	

Una comparación a simple vista entre la información de las columnas de la tabla muestra que, en general, los ladrillos del centro tienen mayor resistencia que los de los extremos. Aunque menos evidente, también se nota que hay un aumento de resistencia entre los ladrillos de los niveles superiores e inferiores. La cuantificación de estas diferencias es el tema del análisis estadístico que se presenta a continuación.

Análisis Estadístico

Aún cuando la muestra total es relativamente pequeña (47 de un total de aproximadamente 6,500 ladrillos), es mayor que la demandada por la Norma de la SCT [3], ya que esta propone una muestra de diez ladrillos en un lote de producción de 50,000 o menor

Respecto a los valores de resistencia que deberían obtenerse, y contra los cuales se evaluarán los resultados, existen normas editadas por instancias gubernamentales con ingerencia en proyectos de construcción como son la SCT, el IMSS, el INFONAVIT, el CAPFCE y los institutos de vivienda estatales. Las más completas, y a las cuales se refieren algunas de las demás, son las editadas por la SCT [3]. Estas normas definen tres calidades de ladrillo, A, B y C, y demandan valores de resistencia última a la compresión de 70, 60 y 50 kg/cm² respectivamente.

La primera evaluación se refiere al promedio de resistencia del lote de ladrillos. Debido a que se observa una variación considerable entre las columnas muestreadas, también se consideran los promedios por columna. La evaluación consiste en analizar hipótesis postuladas acerca de los valores de los promedios con respecto a valores de funciones estadísticas estándar. De entre

ellas las más comunes son la distribución "F" y la distribución "t". La primera de estas se utiliza cuando la desviación estándar de la muestra es conocida, lo cual implica que con anterioridad se ha obtenido información considerable acerca de la variable que se está evaluando. La segunda se aplica en problemas en los cuales la desviación estándar se calcula de los valores disponibles, que en general son pocos.

Puesto que siempre se asume que la distribución de la variable que se está evaluando es aproximadamente normal, el primer paso en el análisis consistió en obtener esta distribución, la cual se muestra en la Figura 1. Como se observa en la forma aproximada de campana de la Figura 1, la distribución de los valores de resistencia de los ladrillos sí cumple con el requisito de ser más o menos normal.

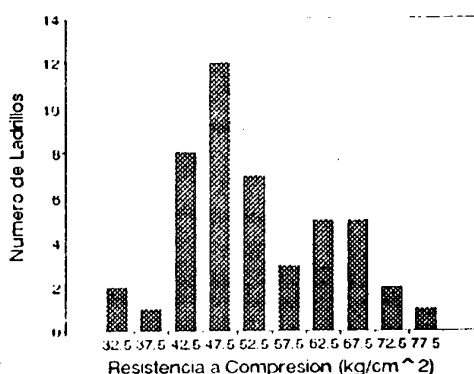


Figura 1.- Distribución de Resistencias

La hipótesis que se prueba es que el valor promedio calculado es igual a un valor dado, esta se llama la hipótesis nula. Adicionalmente se propone una hipótesis alternativa, que puede ser que el valor promedio es mayor, o menor, o diferente del valor dado.

A continuación se selecciona el valor de significancia de la prueba, que mide el grado

de certidumbre de la conclusión que se obtenga de la prueba. El valor más comúnmente utilizado es 95%, aunque para aumentar la certidumbre se pueden utilizar valores mayores y si la conclusión que se desea obtener no es muy crítica, se puede relajar a valores menores.

Finalmente se calcula el valor de la estadística de prueba y si éste resulta estar dentro de un rango de valores de la distribución estándar apropiada ("Z" o "t"). llamado la región crítica, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Si la estadística cae fuera de la región crítica se acepta la hipótesis nula.

Se utilizó la siguiente ecuación para evaluar la estadística de prueba de los valores promedio:

$$T = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S / \sqrt{n}}; v = n - 1$$

donde:

- T = Valor de la estadística
- \bar{X} = Valor promedio de la variable
- μ_0 = Valor dado para comparación
- S = Desviación estándar
- n = Número de mediciones
- v = Grados de libertad

Esta ecuación fue evaluada variando μ_0 hasta encontrar valores de T que hicieran que se rechazara la hipótesis nula $\bar{X} = \mu_0$, aceptándose en su lugar que $\bar{X} > \mu_0$, y que $\bar{X} < \mu_0$, para encontrar el rango dentro del cual varían los promedios a cierto grado de significancia. Los resultados se presentan en la Tabla 2, para cada una de las columnas de valores de la Tabla 1 y para el promedio de estas. El valor de significancia seleccionado fue de 95%.

Tabla 2.- Rango de variación de Resistencias
(kg/cm²)

	Frente Izq.	Centro	Fondo Der.	Promedio
\bar{X}	46.08	60.56	49.23	52.78
S	5.28	8.88	9.28	10.63
\bar{X}_{\min}	43.47	56.92	45.01	50.14
\bar{X}_{\max}	48.70	64.21	53.46	55.41

Como puede observarse, comparando los valores de resistencia promedio y sus respectivos rangos de variación, los ladrillos del frente a la izquierda no cumplen siquiera con el valor mínimo de 50 kg/cm² que demanda la norma de SCT, mientras que los del fondo a la derecha apenas lo cumplen y los del centro tienen una resistencia mucho mayor. En promedio, el lote de ladrillos sí se puede considerar como clase "C" de acuerdo a la norma.

Para evaluar estadísticamente si la diferencia entre los valores promedio de las columnas es significativa se aplica la siguiente estadística:

$$T = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - d_0}{\sqrt{(S_1^2/n_1) + (S_2^2/n_2)}}$$

$$v = \frac{(S_1^2/n_1) + (S_2^2/n_2)}{\frac{(S_1^2/n_1)^2}{n_1 - 1} + \frac{(S_2^2/n_2)^2}{n_2 - 1}}$$

donde los subíndices se refieren a los dos promedios que se están comparando.

Los resultados de evaluar las diferencias entre el centro y frente izquierda (C-I), entre el frente izquierda y el fondo derecha (I-D) y entre el centro y el fondo derecha (C-D), así como entre promedios de las 9 hileras de abajo y las 9 de arriba (A-A) se muestran en la Tabla 3. Para cada caso, con el objetivo

de mostrar el efecto de la selección del grado de significancia, se han utilizado tres valores de este, 90%, 95% y 99.5%. Los valores que se presentan en el cuerpo de la Tabla 3 son la diferencia estadísticamente probada entre los valores promedio bajo comparación al nivel de significancia correspondiente. Todos ellos se presentan como porcentaje del valor promedio global de resistencia.

Tabla 3.- Diferencia entre localidades (% del valor promedio)

	C-I	I-D	C-D	A-A
90%	21	0	14.6	12.1
95%	19.2	0	11.1	9.4
99.5%	14.1	0	4.7	1.4

Los resultados de la Tabla 3 muestran que, mientras que entre el fondo y el frente no hay diferencia estadística significativa (I-D), los valores de resistencia de los ladrillos del centro son mucho mayores que los del frente y fondo (C-I y C-D). Cabe hacer notar que esto se cumple aún al nivel de significancia mayor del 99.5%, y que relajarlo produce que se acepten diferencias mayores como estadísticamente significativas.

La diferencia se puede explicar si se considera que la resistencia de los ladrillos se adquiere como resultado de una reacción química de cocción, la cual depende de la temperatura alcanzada y del tiempo de exposición de las piezas a esa temperatura, así como de la velocidad del flujo sobre su superficie. Con esto en consideración, y dado que la temperatura de los gases debe variar uniformemente de abajo hacia arriba se puede establecer que los ladrillos de las orillas no reciben la suficiente energía y que esto se debe a la falta de flujo de gases de la combustión llegando a ellos.

Sobre esta base, se puede sugerir que una corrección basada en modificaciones simples

a la geometría de los obradores, que promuevan una mejor distribución del flujo en toda la sección transversal del obrador, servirá para incrementar la calidad del producto, ya que se evitarán las diferencias tan grandes que existen entre las localidades que se compararon.

Por otra parte, la evaluación de las diferencias entre la parte inferior y la superior del obrador (A-A) también arroja que los ladrillos de la parte inferior son superiores a los de la parte superior. Este hecho, que físicamente es de esperarse y se comprueba aquí estadísticamente, se debe a que la energía de los gases de la combustión se utiliza primero en los niveles inferiores y los gases de la combustión llegan a mucho menor temperatura a los niveles superiores.

Al contrario de las diferencias entre centro y orillas, en este caso no hay una solución sencilla para el proceso por lotes que ocurre en los obradores, ya que se requerirían modificaciones considerables tanto en el diseño de los obradores como en la operación de los mismos para redirigir el flujo en forma tal que la energía pudiera distribuirse uniformemente en dirección vertical. Sin embargo, de acuerdo a los resultados del análisis realizado, este problema es menor, ya que las diferencias en el sentido vertical son mucho menores que en el horizontal.

Conclusiones

Se analizaron los valores de resistencia última a la compresión de una muestra de ladrillos, obtenidos de tres posiciones en un lote de fabricación de un obrador de la localidad.

El análisis estadístico permitió evaluar las diferencias en resistencia a la compresión que existen entre las distintas localidades, bajo límites de significancia preestablecidos.

Las diferencias fueron explicadas en función de los fenómenos físicos que ocurren dentro del obrador, encontrándose que la mala distribución de flujo ocasiona que al centro haya mejor cocción, y por lo tanto mayor resistencia de los ladrillos, y que en las regiones superiores, al llegar menos energía por haber sido utilizada en las regiones inferiores, la resistencia del producto sea menor.

Agradecimientos

Este trabajo se realiza con el soporte de COSNET y de DGIT al proyecto "Diseño de un Homo Continuo para Fabricación de Ladrillo".

Referencias

- 1.- Santos, F., "La resistencia a la Compresión de Ladrillos de Barro Cocido", Tecnológico Noticias, 1995, ITD.
- 2.- Pérez Domínguez, E., "Efecto del Tiempo y Temperatura de Cocción en la Resistencia del Ladrillo para Construcción". Tesis de Licenciatura, ITD, 1995.
- 3.- SCT, "Normas de Construcción", Tomo VIII.

SEP

DGIT

SEIT

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHIHUAHUA

M E M O R I A

II CONGRESO Y REUNIÓN DE LA ACADEMIA NACIONAL
DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA
ANIIM-SNIT

DEL 26 AL 28 DE NOVIEMBRE DE 1997.

