

# INFORMACIÓN ANÁLISIS DE BANCOS DE ARCILLAS PARA LA FABRICACIÓN DE BTC EN COAHUILA, MÉXICO

**Rubén Salvador Roux Gutiérrez<sup>1</sup>; Jesús Velazquez Lozano<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Arquitectura Unidad Saltillo – Universidad Autónoma de Coahuila-, Red Iberoamericana PROTERRA  
rroux33@hotmail.com

<sup>2</sup>Facultad de Arquitectura Unidad Saltillo – Universidad de Coahuila

**Palabras clave:** suelo, pruebas, calidad, BTC

## Resumen

La presente investigación trata los estudios realizados a diversos bancos de arcillas en el Estado de Coahuila, México, para determinar la calidad del material y así poder determinar si estos suelos son adecuados para la fabricación de bloques de tierra comprimida (BTC), los bancos estudiados se localizan en diversas ciudades del Estado, Torreón, Monclova, Saltillo, Ramos Arizpe, Arteaga, esto con la finalidad de poder tener bancos con un radio no mayor a 25 kilómetros, para que los costos de transporte de la materia prima no impacten en el costo del producto. Por otra parte se presenta una propuesta de mezcla con varios estabilizadores y cada una de las arcilla estudiadas con el fin de comprobar si los resultados de resistencia a la compresión, durabilidad, permeabilidad, eran adecuados para la fabricación de mampostería de buena calidad. Finalmente se muestran todos los estudios realizados a las arcillas y los BTC con lo que se demuestra que los materiales estudiados son factibles de ser utilizados en la fabricación de BTC para ser utilizados en muros en viviendas.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los suelos son el elemento principal en la construcción con tierra, el poder determinar la calidad de los suelos, para determinar si estos son adecuados para realizar cualquier técnica de construcción, permite saber si los materiales que se fabricarán con dicho suelo serán adecuados y de buena calidad.

Para lograr lo anterior se deben hacer pruebas para determinar la plasticidad del suelo, así como saber el contenido de suelo fino, esto tiene dos finalidades, determinar en primer lugar su clasificación de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y segundo poder determinar el tipo de estabilizante a utilizar, ya que no se pueden utilizar los estabilizantes de manera genérica.

### Objetivo

Determinar la calidad de los suelos de diversos bancos en el Estado de Coahuila, como materia prima, para la fabricación de bloques de tierra comprimida

## 2. METODOLOGÍA

La metodología empleada para determinar la calidad de los bancos de suelos estudiados se basa en la pruebas límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico) y en la prueba de sedimentación

### 2.1 Límite líquido

El límite líquido es el contenido de humedad, expresado en porcentaje del peso del suelo seco, existente en un suelo en el límite entre el estado plástico y el estado líquido del mismo. Este límite se define arbitrariamente como el contenido de humedad necesario para que las dos mitades de una pasta de suelo de 1 cm de espesor fluyan y se unan en una longitud de 12 mm, aproximadamente, en el fondo de la muesca que separa las dos mitades, cuando la capsula que la contiene golpea 25 veces desde una altura de 1 cm, a la velocidad de 2 golpes por segundo (Borfitz; Bochs, 2008)

### 2.1.1. Aparatos

- Mortero de porcelana o de madera con pisón revestido con goma, de medidas corrientes.
- Tamiz IRAM de 420 micrones (N° 40).
- Cápsula de porcelana o hierro enlozado de 10 cm a 12 cm de diámetro.
- Espátula de acero flexible con hoja de 75 mm a 80 mm de largo y 20 mm de ancho, con mango de madera.
- Aparato para la determinación semimecánica (o mecánica) del límite líquido de las dimensiones y demás características indicadas en la figura 1.
- Acanalador de bronce o de acero inoxidable de las dimensiones y demás características indicadas en la figura No 2.
- Pesa filtros de vidrio o de aluminio de 40 mm de diámetro y de 30 mm de altura, aproximadamente.
- Pobrutas de vidrio
- Balanza de precisión con sensibilidad de 1 centigramo.
- Estufa para secado de muestras, regulable, que asegure temperaturas de 105-110 °C.
- Elementos varios de uso corriente en laboratorio de suelos.

### 2.1.2. Preparación de la muestra

El ensayo se realiza sobre la muestra de suelo que pasa la malla N° 40. Suelos finos: si se trata de suelo fino, se toma por cuarteo una porción de 400 g a 500 g de suelo secado al aire y se lo hace pasar por la malla N° 40. La porción retenida por este tamiz se coloca en el mortero y se desmenuza con el pisón revestido de goma. Se la tamiza y se repite la operación hasta que pase su totalidad o se evidencie que la parte retenida está constituida por partículas individuales, de tamaño mayor que la abertura del tamiz. Debe tenerse en cuenta que la operación de desmenuzar con el pisón tiene por finalidad deshacer los grumos de suelos formados naturalmente y no la rotura de partículas de arena. Se reúnen las porciones obtenidas y se mezcla cuidadosamente para obtener un material homogéneo.

Suelos con material granular: si la muestra contiene material grueso, se separa esta por tamizado a través de la malla según norma del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) de 2 mm (No 10). Con la parte fina se procede como se indicó en el punto anterior. Si a pesar del desmenuzado se observa que queda material fino adherido a las partículas gruesas, estas se ponen en maceración con la menor cantidad de agua posible y se hace pasar por el tamiz No 40. Se recoge el líquido que pasa, el que será evaporado a sequedad, a temperatura no mayor de 50°C. El residuo se desmenuza y se incorpora a las fracciones ya obtenidas mezclándose cuidadosamente para obtener un material homogéneo (Juárez Badillo, 1996).

### 2.1.3. Calibración del aparato

Verificar que el aparato de Casagrande para la determinación del límite líquido este en buenas condiciones de funcionamiento, que el eje sobre el cual gira la capsula no este desgastado hasta el punto de permitir desplazamientos laterales de la misma; que los tornillos que conectan la capsula al brazo estén apretados y que la superficie de la capsula no presente excesivo desgaste.

La base, de 50 mm de espesor, debe ser de ebonita o de madera dura con una placa de ebonita, de no menos de 10 mm de espesor, firmemente encastrada en la madera.

La capsula debe ser de bronce pulido, debe tener las dimensiones fijadas en el croquis de la figura No 1 y su peso, incluido el engarce y la pestaña, debe ser de 205 g aproximadamente.

El acanalador que acompaña al aparato, debe ser de bronce o de acero inoxidable, con las dimensiones y demás características indicadas en el croquis de la figura 1.

La calibración mecánica del aparato es una práctica sencilla que no requerirá mayor conocimiento; bastara con el ajuste de la caída de la capsula en 10 mm con el mango del acanalador, que frecuentemente cuenta con un cubito metálico destinado a tal fin. Se pondrá el excéntrico en su parte superior y ajustar los tornillos. Efectuar los retoques necesarios.

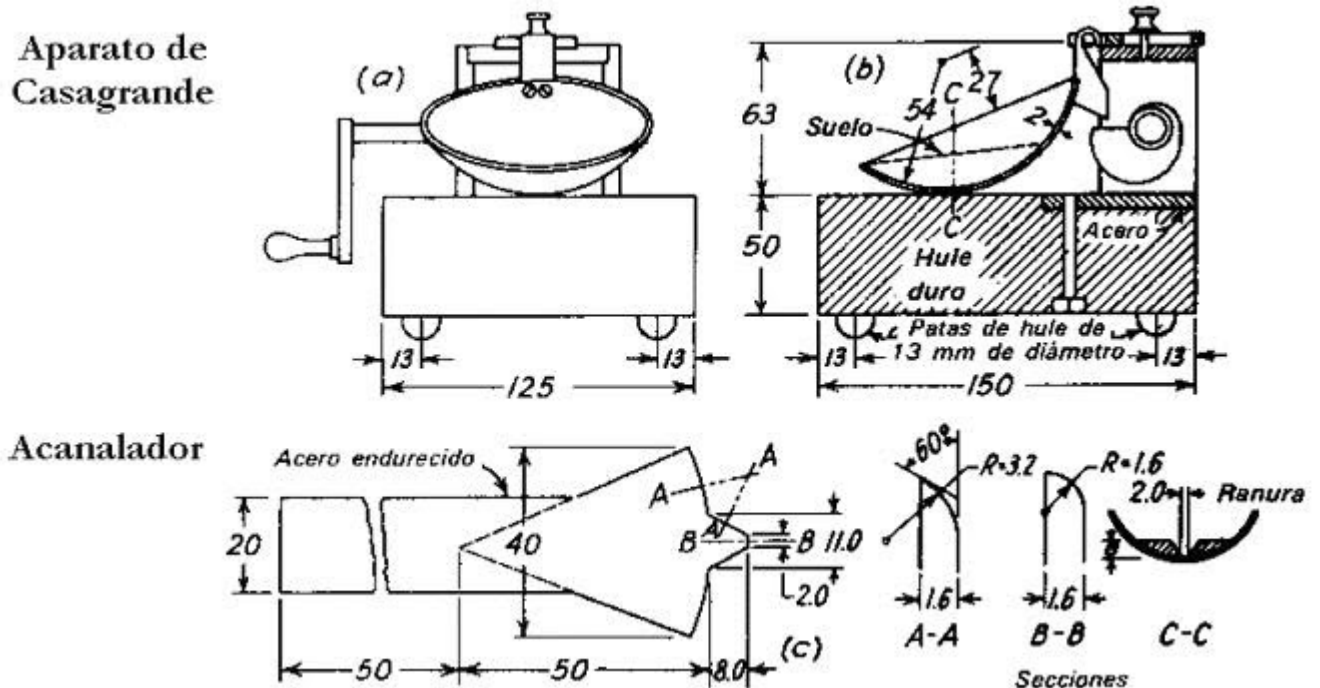


Figura 1. Copa de Casagrande y acanalador. Medidas en milímetros  
([http://geotecnia-sor.blogspot.mx/2010\\_11\\_14\\_archive.html](http://geotecnia-sor.blogspot.mx/2010_11_14_archive.html))

#### 2.1.4. Procedimiento

- Se toman 50 g o 60 g del material obtenido de acuerdo al punto “preparación de la muestra” y se colocan en una capsula especificada en “aparatos”.
- Se humedece con agua destilada o potable de buena calidad, dejándose reposar por lo menos durante 1 hora.
- Posteriormente se continúa agregando agua en pequeñas cantidades, mezclando cuidadosamente con la espátula después de cada agregado, procurando obtener una distribución homogénea de la humedad y teniendo especial cuidado de deshacer todos los grumos que se vayan formando.
- Cuando la pasta adquiere una consistencia tal que, al ser dividida en dos porciones, estas comiencen a fluir cuando se golpea la capsula contra la palma de la mano; se transfiere una porción de la misma a la capsula de bronce del aparato, se la amasa bien y se le distribuye de manera que el espesor en el centro sea aproximadamente 1 cm.
- Con el acanalador se hace una muesca en forma tal que quede limpio el fondo de la capsula en un ancho de 2 mm; la muesca debe seguir una dirección normal al eje de rotación en su punto medio, figura 2. (Borfitz; Bochs, 2008)
- Se acciona la manivela a razón de dos vueltas por segundo, y se cuenta el número de golpes necesarios para que, por fluencia, se cierren los bordes inferiores de la muesca, en una longitud de aproximadamente 12 mm.

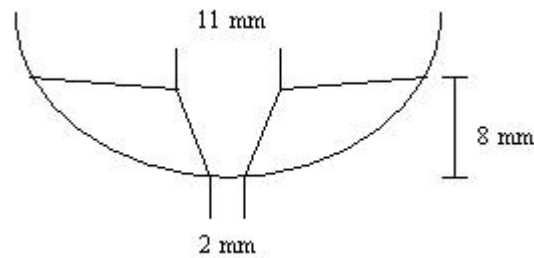


Figura 2. Forma de la ranura en el suelo.  
([http://geotecnia-sor.blogspot.mx/2010\\_11\\_14\\_archive.html](http://geotecnia-sor.blogspot.mx/2010_11_14_archive.html))

- Verificar si la unión es por fluencia y no por corrimiento de toda la masa. Para esto se procura separar con la espátula los bordes unidos. Si ha habido corrimiento de toda la masa, la separación se logra fácilmente, quedando limpio el fondo de la capsula. En cambio si ha habido fluencia, la espátula mueve únicamente la parte que ataca y el resto queda adherido al fondo de la capsula.
- Se retira la porción de pasta, de peso más o menos 10 g, de la parte en que se produjo la unión, y se coloca en un pesafiltro previamente tarado. Se pesa y se anota en la planilla. También se anotara el peso del pesafiltro, su número de identificación y el número de golpes requeridos para lograr la unión de la pasta.
- Se repiten estas operaciones dos o más veces, con contenidos crecientes de agua, procurando que el número de golpes requeridos para el cierre de la muesca sean, uno mayor y otro menor de 25 golpes.
- La pasta colocada en los pesafiltros serán llevadas en estufa hasta lograr el peso constante a una temperatura entre los 105°C y 110°C.

#### 2.1.5. Cálculos

La humedad porcentual de cada punto se calcula con la fórmula:

$$H = \frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_f}$$

Donde:

$P_1$  = peso del pesafiltro más la porción de pasta de suelo húmedo (g)

$P_2$  = peso del pesafiltro mas la porción de pasta de suelo seco (g)

$P_f$  = peso del pesafiltro (g)

Sobre un sistema de coordenadas rectangulares se toma, en abscisa escala logarítmica el número de golpes, y en ordenadas el porcentaje de humedad. Se ubican los puntos obtenidos los que estarán sensiblemente alineados. Se traza la línea recta que mejor ligue a esos puntos y sobre el eje de las ordenadas, en el punto correspondiente a aquel en que esta recta corta a la perpendicular trazada a las abscisas por el punto No 25, se lee el valor del límite líquido (figura 3).

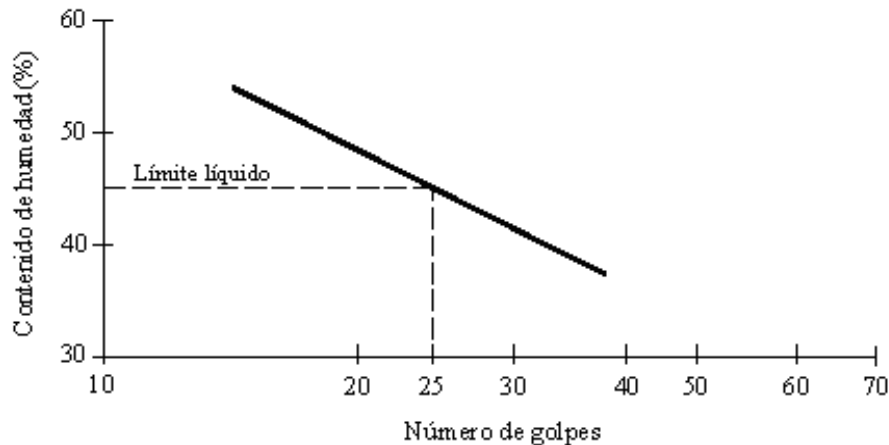


Figura 3. Cálculo gráfico del límite líquido.

(<http://apuntesingenierocivil.blogspot.mx/2010/11/se-llama-liquidez-al-estado-liquido-que.html>)

## 2.2. Límite plástico – índice de plasticidad

Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje del peso del suelo seco, existente en un suelo en el límite entre el estado plástico y el estado semi-sólido del mismo.

Este límite se define arbitrariamente como el más bajo contenido de humedad con el cual el suelo, al ser moldeado en barritas cilíndricas de menor diámetro cada vez, comienza a agrietarse cuando las barritas alcanzan a tener 3 mm de diámetro. (Borfitz & Bochs, 2008)

### 2.2.1. Aparatos

- Mortero de porcelana o de madera con pisón revestido con goma, de medidas corrientes.
- Tamiz que cumpla con las especificaciones Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) de 420 micrones (N° 40).
- Capsula de porcelana o hierro enlozado de 10 cm a 12 cm de diámetro.
- Espátula de acero flexible con hoja de 75 mm a 80 mm de largo y 20 mm de ancho, con mango de madera.
- Vidrio plano de 30 cm x 30 cm, o un trozo de mármol de las mismas dimensiones.
- Trozos de alambre galvanizado redondos de 3 mm de diámetro para ser utilizados como elemento de comparación.
- Pesafiltros de vidrio o de aluminio de 40 mm de diámetro y de 30 mm de altura, aproximadamente.
- Probetas de vidrio
- Balanza de precisión con sensibilidad de 1 centigramo.
- Estufa para secado de muestras, regulable, que asegure temperaturas de 105-110°C.
- Elementos varios de uso corriente en laboratorio de suelos.

### 2.2.2. Preparación de la muestra

El ensayo se realiza sobre la muestra de suelo que pasa la malla N° 40.

Suelos finos: si se trata de suelo fino, se toma por cuarteo una porción de 400 g a 500 g. de suelo secado al aire y se lo hace pasar por la malla N° 40. La porción retenida por este tamiz se coloca en el mortero y se desmenuza con el pisón revestido de goma. Se la tamiza y se repite la operación hasta que pase su totalidad o se evidencie que la parte retenida está constituida por partículas individuales, de tamaño mayor que la abertura del tamiz. Debe

tenerse en cuenta que la operación de desmenuzar con el pisón tiene por finalidad deshacer los grumos de suelos formados naturalmente y no la rotura de partículas de arena. Se reúnen las porciones obtenidas y se mezcla cuidadosamente para obtener un material homogéneo.

Suelos con material granular: si la muestra contiene material grueso, se separa esta por tamizado a través de la malla IRAM de 2 mm (N° 10). Con la parte fina se procede como se indicó en el punto anterior. Si a pesar del desmenuzado se observa que queda material fino adherido a las partículas gruesas, estas se ponen en maceración con la menor cantidad de agua posible y se hace pasar por el tamiz No 40. Se recoge el líquido que pasa, el que será evaporado a sequedad, a temperatura no mayor de 50°C. El residuo se desmenuza y se incorpora a las fracciones ya obtenidas mezclándose cuidadosamente para obtener un material homogéneo (Borfitz; Bochs, 2008).

### 2.2.3. Procedimiento

- Se toman 15 g o 20 g. del material obtenido de acuerdo al punto “preparación de la muestra” y se colocan en una capsula especificada en “aparatos”.
- Se humedece con agua destilada o potable de buena calidad, dejándose reposar por lo menos durante 1 hora.
- Posteriormente se continúa agregando agua en pequeñas cantidades, mezclando cuidadosamente con la espátula después de cada agregado, procurando obtener una distribución homogénea de la humedad y teniendo especial cuidado de deshacer todos los grumos que se vayan formando.
- Se continúa el mezclado hasta obtener que la pasta presente una consistencia plástica que permita moldear pequeñas esferas sin adherirse a las manos del operador.
- Una porción de la parte así preparada se hace rodar con la palma de la mano sobre la lámina de vidrio, dándole la forma de pequeños cilindros.
- La presión aplicada para hacer rodar la pasta debe ser suficiente para obtener que las barritas cilíndricas mantengan un diámetro uniforme en toda su longitud.
- La velocidad con que se manipula a la pasta haciéndola rodar debe ser tal de obtener de 60 a 70 impulsos por minuto, entendiéndose como un impulso un movimiento completo de la mano hacia adelante y atrás.
- Si el diámetro de los cilindros es menor de 3 mm y no presentan fisuras o signos de desmenuzamiento, se unen los trozos y se amasan nuevamente tantas veces como sea necesario. La operación también se repite si las barritas cilíndricas se fisuran y agrietan antes de llegar al diámetro 3 mm. En este caso se reúnen los trozos y se amasan nuevamente con el agregado de agua hasta lograr la completa uniformidad.
- El ensayo se da por finalizado cuando las barritas cilíndricas comienzan a fisurarse y agrietarse al alcanzar los 3 mm de diámetro, punto que resulta fácil de establecer comparándolas con los trozos de alambre.
- Las barritas cilíndricas colocadas en los pesafiltros serán llevadas a la estufa hasta lograr el peso constante a una temperatura entre los 105°C y 110°C.

### 2.2.4. Cálculos

La humedad porcentual correspondiente al límite plástico de un suelo se calcula con la fórmula:

$$LP = \frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_f}$$

Donde:

P1= peso del pesafiltro más las barritas de suelo húmedo (g)

P2= peso del pesafiltro más las barritas de suelo seco (g)

P3= peso del pesafiltro (g)

### 2.2.5. Índice Plástico

El índice de plasticidad de un suelo es la diferencia numérica entre los valores del límite líquido y el límite plástico del mismo. Es decir:

$$IP = LL - LP$$

## 2.3. Prueba de sedimentación

### 2.3.1 Equipo para la prueba de tierras

- Una malla de 1/4" a 3/8" (6 mm a 10 mm)
- Una pala
- Un balde
- Un envase transparente de boca ancha

### 2.3.2 Procedimiento

- Se tamiza a tierra por una malla de 1/4" o 6 mm
- Se pone dentro de la botella de boca ancha tierra hasta la mitad
- Agregar dos cucharaditas de sal
- Se llena la botella con agua y se tapa.
- Agitar la botella por dos minutos

Deje reposar por media hora en una superficie plana.

Las piedritas o gravas se asientan en el fondo, luego se encuentra la arena, en seguida la arcilla (el lodo) con arenilla fina ó limo, después el agua turbia por encima la materia orgánica flotando. Mida los niveles de cada capa marcándolos en la botella, los niveles por encima de la arcilla no cuentan. Arcilla se queda arriba. Flotando queda la materia orgánica (Juarez Badillo, 1996).

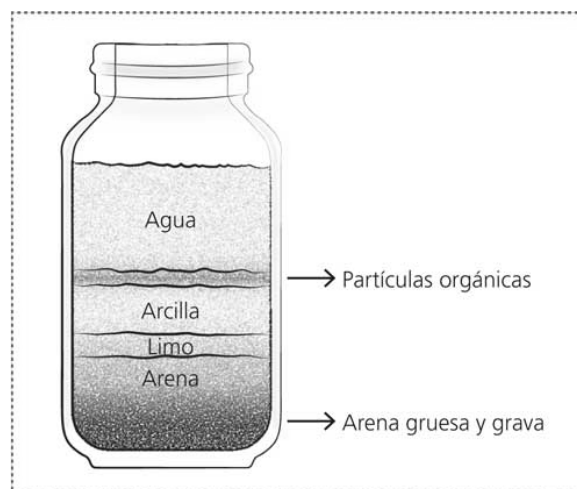


Figura 4. Prueba de sedimentación. Fuente de obtención: <http://www.correodelmaestro.com/>

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Análisis de suelos

Una vez que se realizaron las pruebas de plasticidad y sedimentación a los diferentes suelos de los bancos estudiados; se obtuvieron los siguientes resultados que se presentan en la tabla 1

Tabla 1. Resultados de pruebas de sedimentación y plasticidad a los suelos de los bancos estudiados

BANCO	% de Arcilla	% de Limo	% de Arena	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Tipo de suelo
Torreón, Coahuila	48,60	23,40	28,00	24	10	14	CL
Arteaga, Coahuila	50,00	4,55	45,45	28	16	12	SCL
Tunal	40,50	5,50	54,00	40	22	18	SCL
Monclova, Coahuila	44,00	2,00	54,00	39	21	18	SCL
Abasolo, Coahuila	48,20	2,12	49,64	26	12	14	SCL
Cd. Acuña, Coahuila	91,00	9,00	0,00	45	10	35	CL
Piedras Negras, Coahuila	47,86	4,19	48,95	23	12	11	SCL
Nueva Rosita, Coahuila	32,90	2,85	64,25	21	8	13	SCL
Monclova, Coahuila	47,05	1,45	51,50	34	9	25	SCL
Saltillo, Coahuila	38,24	2,94	58,82	20	9	11	SCL

#### 3.2. Fabricación de BTC para prueba de compresión simple

Terminado el análisis de suelos se procedió la fabricación de las poblaciones de muestras con una población de 20 piezas, de las cuales se probaron cinco piezas de cada población. Los BTC se fabricaron con dos tipos de máquinas: una prensa CinvaRam, manual, que produce BTC de 11,0 cm x 18,5 cm x 38,5 cm, dicha prensa se verificó la fuerza de compresión que fue de 10 kgf/cm<sup>2</sup> o 1 MPa; la otra fue una prensa hidráulica marca Ital Mexicana, modelo 3000, la cual produce BTC de 12 cm x 20 cm x 40 cm, la fuerza de compresión de esta prensa es de 24,38 kgf/cm<sup>2</sup> o 2,43 MPa. Se tomó la decisión de estabilizar estos tipos de suelos con 3% de cal y 3% de cemento CP-20 con dos tipos de humedades de acuerdo al tipo de prensa: para la CinvaRam la humedad fue del 25% en peso y para la prensa Ital Mexicana de 16% en peso. A continuación la tabla 2 se presentan los resultados promedios de las pruebas a compresión simple:

Tabla 2. Resultados de pruebas de compresión simple de los BTC realizados con los suelos de los bancos estudiados

Banco	Prensa CinvaRam		Prensa Ital Mexicana	
	kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	kgf/cm <sup>2</sup>	MPa
Torreón, Coahuila	26,45	2,64	73,23	7,32
Arteaga, Coahuila	60,25	6,05	120,24	12,02
Tunal	40,10	4,01	75,67	7,56
Monclova, Coahuila	27,25	2,72	67,12	6,71
Abasolo, Coahuila	36,18	3,61	57,64	5,76
Cd. Acuña, Coahuila	29,80	2,98	79,50	7,95
Piedras Negras, Coahuila	33,78	3,37	43,75	4,37



Nueva Rosita, Coahuila	28,50	2,85	50,34	5,03
Monclova, Coahuila	37,62	3,76	67,07	6,70
Saltillo, Coahuila	71,43	7,14	267,32	26,73

Nota: La resistencia a la compresión simple de un bloque de concreto realizado en Saltillo, Coahuila es de  $38 \text{ kgf/cm}^2$  (3,8 MPa) y del ladrillo regional de Saltillo es de  $54 \text{ kgf/cm}^2$  (5,4 MPa).

#### 4. CONCLUSIONES

Una vez terminadas todas las pruebas planteadas en la metodología se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. El 80% de los suelos analizados son arenas arcillosas, por otra parte la fracción fina de todos los suelos son arcillas de baja plasticidad (CL)-
2. El 30% de los BTC realizados con la CinvaRam estuvo por encima de la resistencia del bloque de concreto y el 20% sobre la resistencia del ladrillo regional.
3. El 100% de los BTC realizados con la CinvaRam estuvo por encima de la resistencia del bloque de concreto y el 90% sobre la resistencia del ladrillo regional.
4. Se concluye que la fuerza de compresión que aplica la prensa mecánica influye favorablemente en la resistencia a la compresión simple que se obtienen finalmente, ya que esta se incrementa en promedio en 115,32% con respecto a la obtenida por la prensa manual CinvaRam.
5. En cuanto a la comparativa de resistencia a la compresión simple con los materiales convencionales, como el bloque de concreto que tiene una resistencia de  $31,66 \text{ kgf/cm}^2$  (Morales, 2008) y el ladrillo recocido regional que tiene una resistencia de  $85,27 \text{ kgf/cm}^2$  (Hernández, 2008)

#### REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Borfitz, A.; Bochs, D. (2008). Cátedra: Geotecnia. Facultad de Ingeniería UNNE. Argentina: Universidad Nacional del Nordeste.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1976). Norma IRAM-1501- Tamices de ensayo. Buenos Aires: IRAM.
- Hernández Hernández, José Luis. (2008). Evaluación de la resistencia a la compresión de tabique rojo de la región de Xalapa en base a la Norma NMX-C-036-ONNCCE-2004 (Tesis de Pregado). Universidad Veracruzana, Xalapa.
- Juárez Badillo, E. R. (1996). Mecánica de suelos, Tomo I, Fundamentos básicos de la mecánica de suelos. México: Limusa.
- Morales Padilla, Marco Antonio (2008). Evaluación de la resistencia a la compresión de blocks fabricados en región de Perote, Ver., de acuerdo a la Norma NMX-C-ONNCCE-2004 (Tesis de Pregado). Universidad Veracruzana, Xalapa.

#### AUTORES

Rubén Salvador Roux Gutiérrez, Maestro Investigador de la Facultad de Arquitectura Unidad Saltillo de la Universidad Autónoma de Coahuila, Miembro de la Red PROTERRA, Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT, México.

Jesús Velázquez Lozano, Maestro Investigador de la Facultad de Arquitectura Unidad Saltillo de la Universidad Autónoma de Coahuila, Líder Cuerpo Académico de Tecnología de la Arquitectura y profesor con perfil PRODEP de la Secretaría de Educación Pública de México.