



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Ciencias (Mecánica de Suelos)

**“MATERIALES DE ALTA DENSIDAD UTILIZANDO TEPETATE”**

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

**Presenta:**

Ing. Pedro Mateo Armendáriz Márquez

**Dirigido por:**

Dra. Teresa López Lara

**SINODALES**

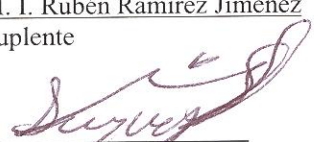
Dra. Teresa López Lara  
Presidente

Dra. María de la Luz Pérez Rea  
Secretario

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza  
Vocal

Dr. Alfredo Pérez García  
Suplente

M. I. Rubén Ramírez Jiménez  
Suplente

  
Dr. Aurelio Domínguez González  
Director de la Facultad de Ingeniería


  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Dr. Irineo Torres Pacheco  
Director de Investigación Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Septiembre, 2012  
México

## RESUMEN

### **RESUMEN:**

El Tepetate es considerado un material inerte y ampliamente usado en la industria de la construcción pero únicamente como material de relleno o como material para las terracerías en los pavimentos, hasta el día de hoy no se ha definido formalmente su constitución y las propiedades que debería tener como material inerte, en esta investigación se realiza la caracterización geotécnica al tepetate, además a este material se le aplican diferentes técnicas existentes para el incremento de su densidad aplicando diferentes energías de compactación y con ello de su resistencia y permeabilidad. Además se realiza un mejoramiento de Tepetate utilizando cal, ceniza volante (que es material de desperdicio) y puzolana con el objeto de obtener mejores propiedades mecánicas en el Tepetate. El tepetate compactado bajo una energía óptima y agregándole cementantes (cal y ceniza volante) logra ser un material más resistente que el sillar en condición seca, pero además en condición saturada, es un material más impermeable que el sillar, lo que puede asegurar un mejor comportamiento de la resistencia. Los materiales Tepetate-cal, Tepetate-cal-ceniza volante y el sillar rosa son materiales cristalinos, los cuales son más resistentes y menos permeables que los sillares tabaco, naranja, naranja con blanco y gris, que son materiales amorfos y esto se debe a su estructura, que fue posible apreciar que un sillar (rosa) tiene una estructura muy diferente al resto de los sillares gracias a la caracterización fisicoquímica.

(Palabras clave: Tepetate, puzolana, ceniza volante, alta densidad).

## SUMMARY

Tepetate is considered to be an inert material and is widely used in construction industry as a filling material or in dirt roads. To this day there is not a formal definition of the composition of tepetate and of its properties as a inert material. In this work tepetate is geotechnically characterized and it is subjected to diverse techniques to increase its density, thus improving its resistance and permeability by the application of different compaction energies. Also, the mechanical properties of tepetate are enhanced by mixing it with lime, fly ash and pozzolana. The tepetate, compacted under an optimum energy and mixed with a proper cementing material (fly ash, lime), becomes a more resistant material than dry ashlar, and also when saturated has lower permeability than ashlar, making it more resistant. Tepetate-lime, tepetate-lime-fly ash and pink ashlar are crystalline materials, which are more resistant are less permeable than other types of amorphous ashlar, the structure of the above materials was characterized using different physicochemical tests.

(Key words: Tepetate, pozzolana, fly ash, high density)

## **Dedicatoria**

**A la memoria de mi hermano Luis Adrian**

Cuyo ejemplo de alegría y ganas de vivir me guían en el camino de la vida.

**A mis padres**

**Pedro Armendáriz Jáquez y Guadalupe Márquez Rojo**

Por apoyarme de manera incondicional y por formarme como persona.

**A mi novia Adda**

Por estar siempre a mi lado y apoyarme en todas mis nuevas metas que a diario emprendo.

# **Agradecimientos**

## **A DIOS**

Por darme el privilegio de vivir y sobre todo por enseñarme que conforme más aprendo, más me doy cuenta de lo poco que se.

## **A mi familia**

Por el apoyo brindado durante toda mi formación académica.

## **Al CONACYT**

Por el apoyo brindado para poder estudiar mi maestría.

## **A mi director de tesis**

Dra. Teresa López Lara, por su invaluable ayuda para la escritura de esta tesis y sobre todo por su amistad.

## **A mis maestros**

Por los conocimientos que me transmitieron.

## **A mis amigos y alumnos**

Por su amistad y apoyo en todo momento, y sobre todo por confiar en mí.

## **Al Director de Posgrado de la FI**

Dr. Manuel Toledano Ayala, por su apoyo, enseñanzas y sobre todo por la confianza en mí durante estos últimos 2 años.

A todos ellos muchas Gracias.

*“El verdadero éxito de una persona está en dar la vida al trabajo del que uno está enamorado”*

# ÍNDICE

RESUMEN .....	i
SUMMARY .....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xv
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Descripción del problema .....	1
1.2 Justificación .....	2
1.3 Objetivo e Hipótesis.....	3
1.3.1 Objetivo .....	3
1.3.2 Hipótesis .....	3
2 ESTADO DEL ARTE.....	4
2.1 Generalidades.....	4
2.2 Tepetate.....	4
2.3 Cal.....	7
2.3.1 Tipos de cal.....	8
2.3.2 Aplicaciones de la Cal .....	10
2.4 Puzolana.....	13
2.5 Diferentes Métodos Para Mejoramiento del Comportamiento de Suelos en Obras 14	
2.5.1 La Compactación como técnica de trabajo de campo. ....	16
2.6 Materiales de construcción tipo block .....	17
2.6.1 Sillar .....	18
2.6.2 Blocks .....	21
2.6.3 Ladrillos.....	21
3 METODOLOGÍA .....	22
3.1 Extracción de tepetate .....	23

3.2	Caracterización Geotécnica del tepetate natural .....	24
3.2.1	Granulometría vía seca y vía húmeda (ASTM D-422-63,2002). .....	24
3.2.2	Propiedades índice (ASTM D-4318, 2000).....	29
3.2.3	Densidad de sólidos (ASTM D-854,2002).....	32
3.3	Compactación Proctor Estándar (ASTM D698 - 07e1, 2010).....	38
3.4	Obtención de la permeabilidad y la resistencia a compresión simple para cada energía de compactación obtenida y para 5 diferentes tipos de sillar.....	40
3.4.1	Permeabilidad (ASTM D2434 – 68, 2006): .....	40
3.4.2	Resistencia a compresión simple (Valor de resistencia del material) ASTM Standard D 2166, 2006.....	44
3.5	Elaboración de los blocks con el contenido optimo de cal y ceniza volante y remoldeados con la energía de compactación optima.....	46
3.5.1	Unidades o piezas .....	46
1.1.1.	Dimensiones de las piezas (cm) .....	52
1.1.2.	Resistencia a la compresión ( $f_p$ ) ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) .....	53
3.5.2	Prueba a Flexión o Modulo de Ruptura ( $f_r$ ) ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).....	54
1.1.3.	Absorción Máxima a 24 hrs (%).....	55
3.6	Caracterización Fisicoquímica de los materiales.....	56
3.6.1	Fluorescencia de Rayos x .....	56
3.6.2	Difracción de Rayos x .....	57
4	RESULTADOS.....	58
4.1	Selección del banco de material.....	58
4.2	Caracterización Geotécnica del Suelo Seleccionado .....	59
4.2.1	Propiedades de Plasticidad, Granulometría Vía Seca, Vía Húmeda y Clasificación del Suelo.....	59
4.3	Realización de la Prueba Proctor con Diferentes Energías de Compactación.....	60
4.4	Obtención de la permeabilidad (carga variable) y la resistencia a compresión simple para cada energía de compactación obtenida .....	61
4.5	Determinación de las propiedades mecánicas a diferentes contenidos del material cementante con el tepetate para observar su evolución. ....	64
4.5.1	Tepetate con cal + energía de compactación ( $30 \text{ kg cm}/\text{cm}^3$ ) .....	64
4.5.2	Tepetate con ceniza volante y puzolana + energía de compactación ( $30 \text{ kg cm}/\text{cm}^3$ ) para estudio por separado .....	65

4.5.3	Tepetate con contenidos óptimos (cal-ceniza volante y cal-puzolana) + energía de compactación (30 kg cm/cm <sup>3</sup> ) .....	67
4.6	Obtención de la permeabilidad y la resistencia a compresión para 5 diferentes tipos de sillar .....	68
4.7	Comparación de resultados .....	71
4.8	Ensaye de la prueba a compresión de los tabicones (tepetate-cal-ceniza volante) y de los 5 diferentes sillares .....	73
4.9	Ensaye de la prueba a flexión de los tabicones (tepetate-cal-ceniza volante) y de los 5 diferentes sillares .....	77
4.10	Prueba de absorción máxima a 24 horas de los tabicones (tepetate-cal-ceniza volante) y de los 5 diferentes sillares .....	78
4.11	Comparación de resultados para pruebas de compresión, flexión y absorción. ....	79
4.12	Caracterización fisicoquímica de los materiales .....	80
4.12.1	Fluorescencia de Rayos X .....	80
4.12.2	Difracción de Rayos X .....	88
4.13	Análisis de Costos de Materiales .....	100
5	CONCLUSIONES .....	102
6	ANEXOS .....	113
6.1	Tepetate Bajo Proctor A Diferentes Energías De Compactación .....	113
6.2	Compresión Simple .....	118
6.2.1	Compresión simple de tepetate a diferentes energías de compactación .....	118
6.2.2	Compresión simple para tepetate con 1 aditivo + Ee = 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 30 días .....	133
6.2.3	Compresión simple al material tepetate-cal-puzolana + Ee = 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a diferentes edades 7, 15, 30 y 60 días .....	143
6.2.4	Compresión simple al material tepetate-cal-ceniza volante + Ee = 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a diferentes edades 7, 15, 30 y 60 días .....	155
6.2.5	Compresión simple a los 5 diferentes sillares. ....	167
6.3	Prueba a Compresión para tabicones de tepetate-cal-ceniza volante + Ee = 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración y para los 5 sillares .....	182
6.4	Prueba a flexión para tabicones de tepetate-cal-ceniza volante + Ee = 30 kg cm/cm <sup>3</sup> y para los 5 sillares .....	184
6.5	Prueba de absorción máxima a 24 horas para tabicones de tepetate-cal-ceniza volante + Ee = 30 kg cm/cm <sup>3</sup> y para los 5 sillares .....	186



6.6	Difraccion de rayos X .....	188
-----	-----------------------------	-----

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
2.1	Métodos De Mejoramiento De Suelos	14
3.1	Coefficientes de uniformidad y curvatura	26
3.2	Relaciones volumétricas y gravimétricas	33
3.3	Datos obtenidos para la calibración del matraz.	36
3.4	Clasificación de piezas de acuerdo a los materiales empleados en su fabricación (NMX-C-404-ONNCCE-2005).	50
3.5	Dimensiones nominales de piezas de mampostería.	51
4.1	Caracterización Geotécnica de los Bancos de Tepetate de la región de Querétaro, Qro (López-Lara et al., 2010)	58
4.2	Propiedades del suelo seleccionado	59
4.3	Resultados de la prueba proctor a diferentes energías de compactación (Ee).	60
4.4	Resultados de la prueba de permeabilidad (carga variable) y compresión simple para cada una de las diferentes energías de compactación (Ee)	62
4.5	Compresión Simple del Material Tepetate-Cal con Curado Constante.	64
4.6	Compresión Simple del Material Tepetate-Puzolana y Tepetate-Ceniza Volante.	66
4.7	Compresión Simple del Material Tepetate-Cal-Ceniza Volante y Tepetate-Cal-Puzolana.	67
4.8	Resultados de la prueba de permeabilidad (carga variable) y compresión simple para 5 diferentes sillares.	70
4.9	Evolución de la permeabilidad y la resistencia del tepetate con incremento de energía de compactación, así como con la adición de cal y ceniza volante	71
4.10	Comparación de Resultados entre el tepetate con cementantes naturales y 5 diferentes sillares.	72
4.11	Ensaye a compresión para sillares y tabicones	76
4.12	Ensaye a Flexión para sillares y tabicones	77

4.13	Prueba Absorción Máxima a 24 horas para sillares y tabicones	78
4.14	Prueba a Compresión, Flexión y Absorción de los materiales en estudio	79
4.15	Análisis De Fluorescencia De Rayos X En Muestras De Sillar	81
4.16	Análisis De Fluorescencia De Rayos X a Materiales que componen a los tabicones	85
4.17	Costos de materiales para la elaboración de los block macizos arena-cemento y de los tabicones de Tepetate-Cal-Ceniza volante	101
6.1	Proctor Estándar (Ee= 6kg cm /cm <sup>3</sup> )	113
6.2	Proctor con Energía de compactación = 12.89 kg cm/cm <sup>3</sup>	114
6.3	Proctor modificada ( Ee = 27 kg cm/cm <sup>3</sup> )	115
6.4	Proctor con energía de compactación = 30 kg cm/cm <sup>3</sup>	116
6.5	Proctor con energía de compactación = 40 kg cm/cm <sup>3</sup>	117
6.6	Compresión simple para Ee = 6 kg cm /cm <sup>3</sup> Probeta 1	118
6.7	Compresión simple para Ee = 6 kg cm /cm <sup>3</sup> Probeta 2	119
6.8	Compresión simple para Ee = 6 kg cm /cm <sup>3</sup> Probeta 3	120
6.9	Compresión simple para Ee = 12.89 kg cm /cm <sup>3</sup> Probeta 1	121
6.10	Compresión simple para Ee = 12.89 kg cm /cm <sup>3</sup> Probeta 2	122
6.11	Compresión simple para Ee = 12.89 kg cm /cm <sup>3</sup> Probeta 3	123
6.12	Compresión simple para Ee = 27 kg cm /cm <sup>3</sup> Probeta 1	124
6.13	Compresión simple para Ee = 27 kg cm /cm <sup>3</sup> Probeta 2	125
6.14	Compresión simple para Ee = 27 kg cm /cm <sup>3</sup> Probeta 3	126
6.15	Compresión simple para Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> Probeta 1	127
6.16	Compresión simple para Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> Probeta 2	129
6.17	Compresión simple para Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> Probeta 3	131
6.18	Compresión simple Tepetate-Cal 10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración	133
6.19	Compresión simple Tepetate-Ceniza volante 4% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración	135
6.20	Compresión simple Tepetate-Ceniza volante 6% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración	136
6.21	Compresión simple Tepetate-Ceniza volante 8% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a	

	30 días de elaboración	137
6.22	Compresión simple Tepetate-Ceniza volante 10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración	138
6.23	Compresión simple Tepetate-Puzolana 4% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración	139
6.24	Compresión simple Tepetate-Puzolana 6% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración	140
6.25	Compresión simple Tepetate-Puzolana 8% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración	141
6.26	Compresión simple Tepetate-Puzolana 10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración	142
6.27	Compresión simple Tepetate-cal10%-puzolana10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 7 días de elaboración Probeta 1	143
6.28	Compresión simple Tepetate-cal10%-puzolana10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 7 días de elaboración Probeta 2	144
6.29	Compresión simple Tepetate-cal10%-puzolana10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 7 días de elaboración Probeta 3	145
6.30	Compresión simple Tepetate-cal10%-puzolana10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 15 días de elaboración Probeta 1	146
6.31	Compresión simple Tepetate-cal10%-puzolana10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 15 días de elaboración Probeta 2	147
6.32	Compresión simple Tepetate-cal10%-puzolana10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 15 días de elaboración Probeta 3	148
6.33	Compresión simple Tepetate-cal10%-puzolana10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración Probeta 1	149
6.34	Compresión simple Tepetate-cal10%-puzolana10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración Probeta2	150
6.35	Compresión simple Tepetate-cal10%-puzolana10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración Probeta3	151
6.36	Compresión simple Tepetate-cal10%-puzolana10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 60 días de elaboración Probeta1	152

6.37	Compresión simple Tepetate-cal10%-puzolana10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 60 días de elaboración Probeta 2	153
6.38	Compresión simple Tepetate-cal10%-puzolana10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 60 días de elaboración Probeta 3	154
6.39	Compresión simple Tepetate-cal10%-ceniza10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 7 días de elaboración Probeta 1	155
6.40	Compresión simple Tepetate-cal10%-ceniza10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 7 días de elaboración Probeta 2	156
6.41	Compresión simple Tepetate-cal10%-ceniza10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 7 días de elaboración Probeta 3	157
6.42	Compresión simple Tepetate-cal10%-ceniza10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 15 días de elaboración Probeta 1	158
6.43	Compresión simple Tepetate-cal10%-ceniza10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 15 días de elaboración Probeta 2	159
6.44	Compresión simple Tepetate-cal10%-ceniza10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 15 días de elaboración Probeta 3	160
6.45	Compresión simple Tepetate-cal10%-ceniza10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración Probeta 1	161
6.46	Compresión simple Tepetate-cal10%-ceniza10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración Probeta 2	162
6.47	Compresión simple Tepetate-cal10%-ceniza10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración Probeta 3	163
6.48	Compresión simple Tepetate-cal10%-ceniza10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 60 días de elaboración Probeta 1	164
6.49	Compresión simple Tepetate-cal10%-ceniza10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 60 días de elaboración Probeta 2	165
6.50	Compresión simple Tepetate-cal10%-ceniza10% + Ee= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 60 días de elaboración Probeta 3	166
6.51	Compresión simple sillar anaranjado con blanco probeta 1	167
6.52	Compresión simple sillar anaranjado con blanco probeta 2	168
6.53	Compresión simple sillar anaranjado con blanco probeta 3	169

6.54	Compresión simple sillar anaranjado probeta 1	170
6.55	Compresión simple sillar anaranjado probeta 2	171
6.56	Compresión simple sillar anaranjado probeta 3	172
6.57	Compresión simple sillar gris probeta 1	173
6.58	Compresión simple sillar gris probeta 2	174
6.59	Compresión simple sillar gris probeta 3	175
6.60	Compresión simple sillar rosa probeta 1	176
6.61	Compresión simple sillar rosa probeta 2	177
6.62	Compresión simple sillar rosa probeta 3	178
6.63	Compresión simple sillar tabaco probeta 1	179
6.64	Compresión simple sillar tabaco probeta 2	180
6.65	Compresión simple sillar tabaco probeta 3	181
6.66	Prueba a compresión de tabicones Tepetate-cal-ceniza volante a 30 días de elaboración	182
6.67	Prueba a compresión de sillares rosas	182
6.68	Prueba a compresión de sillares naranjas	182
6.69	Prueba a compresión de sillares tabaco	183
6.70	Prueba a compresión de sillares naranjas con blanco	183
6.71	Prueba a compresión de sillares grises	183
6.72	Prueba a flexión de tabicones Tepetate-cal-ceniza volante a 30 días de elaboración	184
6.73	Prueba a flexión de sillares rosas	184
6.74	Prueba a flexión de sillares naranjas	184
6.75	Prueba a flexión de sillares tabaco	185
6.76	Prueba a flexión de sillares naranja con blanco	185
6.77	Prueba a flexión de sillares grises	185
6.78	Prueba de absorción de tabicones Tepetate-cal-ceniza volante a 30 días de elaboración	186
6.79	Prueba de absorción de sillares rosas	186
6.80	Prueba de absorción de sillares naranjas	186
6.81	Prueba de absorción de sillares tabaco	187

6.82	Prueba de absorción de sillares naranjas con blanco	187
6.83	Prueba de absorción de sillares grises	187

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras		Página
2.1	Eje Neovolcánico Transversal Mexicano (Martinez Molina, 2011)	20
3.1	Diagrama De Resumen de Metodología	22
3.2	Localización del banco de tepetate con Coordenada geográfica Latitud 20°39'07"N - Longitud 100°28'53" O y del banco de los sillares Latitud 20°33'25"N- Longitud 100°10'23" O.	23
3.3	Análisis granulométrico por mallado	25
3.4	Granulometría de finos por hidrómetro	25
3.5	Ejemplo de curvas para un suelo mal graduado y uno bien graduado. Obtención de D10, D30, D60.	27
3.6	Carta de plasticidad	32
3.7	Matraces de vidrio de 500 ml. al vacío para obtención de la densidad de sólidos	34
3.8	Curva de calibración del matraz.	35
3.9	Peso de matraz con suelo y agua.	37
3.10	Grafica de peso volumétrico vs. % de humedad	39
3.11	Esquema de un permeámetro de carga variable.	43
3.12	Esquema de ensaye de compresión simple	45
3.13	Esquema de funcionamiento de una bloquera comercial	46
3.14	Tipos de mampostería de piedras naturales (Vasconcelos y Sánchez, 2003).	47
3.15	Piezas en relieve para mampostería (Vasconcelos y Sánchez, 2003).	48
3.16	Piezas de concreto a y b (Ramírez, 2004).	48
3.17	Piezas de barro industrializadas.	48
3.18	Fabricación artesanal de tabique de barro recocido (Ramírez, 2004).	49
3.19	Fabricación industrializada de bloques de concreto.	49
3.20	Tabicones ensayados.	52
3.21	Ensaye a compresión de tabicones.	53
3.22	Corte de sillares a tamaño de tabicón	53
3.23	Prueba para determinar el modulo de ruptura.	54



3.24	Especímenes en saturación por 24 horas en agua fría.	55
4.1	Pruebas Proctor a diferentes energías de compactación	61
4.2	Pruebas Proctor a diferentes energías de compactación	61
4.3	Evolución de la permeabilidad con el incremento de la energía de compactación.	62
4.4	Permeámetro de carga variable	63
4.5	Evolución del tepetate con la cal en el tiempo con curado constante	65
4.6	Resistencia a la compresión simple a diferentes contenidos de ceniza volante y puzolana	66
4.7	Evolución de la resistencia a la compresión simple en el tiempo de los materiales	68
4.8	Labrado de las probetas	70
4.9	Los sillares en estudio	70
4.10	Grafica esfuerzo-deformación comparando 5 sillares con los materiales tepetate-cal-ceniza a 60 días y tepetate-cal a 30 días de su elaboración.	72
4.11	Permeabilidad para los 5 sillares y para los materiales tepetate-cal y tepetate-cal-ceniza volante.	73
4.12	Bloquera utilizada para la elaboración de los tabicones de tepetate-cal-ceniza volante	74
4.13	Moldes para la elaboración de los tabicones de tepetate-cal-ceniza volante	74
4.14	Motor para someter a vibrocompactación los tabicones de tepetate-cal-ceniza volante	75
4.15	Colocación de lo tabicones tepetate-cal-ceniza volante sobre tarimas	75
4.16	Tabicones de tepetate-cal-ceniza volante cubiertos por lona de plástico	76
4.17	Análisis de fluorescencia de rayos X en muestras de sillar gris	82
4.18	Análisis de fluorescencia de rayos X en muestras de sillar naranja con blanco	82
4.19	Análisis de fluorescencia de rayos X en muestras de sillar naranja	83
4.20	Análisis de fluorescencia de rayos X en muestras de sillar rosa	83
4.21	Análisis de fluorescencia de rayos X en muestras de sillar tabaco	84

4.22	Análisis de fluorescencia de rayos X en muestra de cal	86
4.23	Análisis de fluorescencia de rayos X en muestra de ceniza volante	86
4.24	Análisis de fluorescencia de rayos X en muestra de tepetate natural	87
4.25	Análisis de fluorescencia de rayos X en muestra de tepetate-cal 10%	87
4.26	Análisis de fluorescencia de rayos X en muestra de tepetate-cal 10%- ceniza volante 8%	88
4.27	Difractómetro de Rayos X	89
4.28	Difracción de rayos X en muestra de tepetate natural.	91
4.29	Difracción de rayos X en muestra de tepetate-cal a 0 días	92
4.30	Difracción de rayos X en muestra de tepetate-cal a 15 días	93
4.31	Difracción de rayos X en muestra de tepetate-cal a 30 días	94
4.32	Blocks de tepetate-cal-ceniza volante	95
4.33	Difracción de rayos X en muestra de tepetate-cal-ceniza volante a 0 días	95
4.34	Difracción de rayos X en muestra de tepetate-cal-ceniza volante a 15 días	96
4.35	Difracción de rayos X en muestra de tepetate-cal-ceniza volante a 30 días	97
4.36	Difracción de rayos X en muestra de sillar color gris	98
4.37	Difracción de rayos X en muestra de sillar color naranja con betas blancas	99
4.38	Difracción de rayos X en muestra de sillar color rosa	100
6.1	Tepetate Bajo Proctor Estandar ( $E_e = 6 \text{ kg cm/cm}^3$ )	113
6.2	Tepetate Bajo Proctor con energía de compactación = $12.89 \text{ kg cm/cm}^3$	114
6.3	Tepetate Bajo Proctor modificada ( $E_e = 27 \text{ kg cm/cm}^3$ )	115
6.4	Tepetate Bajo Proctor con energía de compactación = $30 \text{ kg cm/cm}^3$	116
6.5	Tepetate Bajo Proctor con energía de compactación = $40 \text{ kg cm/cm}^3$	117
6.6	Grafica esfuerzo-deformación para $E_e = 6 \text{ kg cm/cm}^3$ Probeta 1	118
6.7	Grafica esfuerzo-deformación para $E_e = 6 \text{ kg cm/cm}^3$ Probeta 2	119
6.8	Grafica esfuerzo-deformación para $E_e = 6 \text{ kg cm/cm}^3$ Probeta 3	120
6.9	Grafica esfuerzo-deformación para $E_e = 12.89 \text{ kg cm/cm}^3$ Probeta 1	121
6.10	Grafica esfuerzo-deformación para $E_e = 12.89 \text{ kg cm/cm}^3$ Probeta 2	122

6.11	Grafica esfuerzo-deformación para Ee = 12.89 kg cm /cm <sup>3</sup> Probeta 3	123
6.12	Grafica esfuerzo-deformación para Ee = 27 kg cm /cm <sup>3</sup> Probeta 1	124
6.13	Grafica esfuerzo-deformación para Ee = 27 kg cm /cm <sup>3</sup> Probeta 2	125
6.14	Grafica esfuerzo-deformación para Ee = 27 kg cm /cm <sup>3</sup> Probeta 3	126
6.15	Grafica esfuerzo-deformación para Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> Probeta 1	128
6.16	Grafica esfuerzo-deformación para Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> Probeta 2	130
6.17	Grafica esfuerzo-deformación para Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> Probeta 3	132
6.18	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal al 10% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup>	134
6.19	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con ceniza volante 4% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup>	135
6.20	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con ceniza volante 6% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup>	136
6.21	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup>	137
6.22	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con ceniza volante 10% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup>	138
6.23	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con puzolana 4% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup>	139
6.24	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con puzolana 6% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup>	140
6.25	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con puzolana 8% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup>	141
6.26	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con puzolana 10% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup>	142
6.27	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 7 días de elaboración probeta 1	143
6.28	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg cm/cm <sup>3</sup> a 7 días de elaboración probeta 2	144
6.29	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 7 días de elaboración probeta 3	145

6.30	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 15 días de elaboración probeta 1	146
6.31	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 15 días de elaboración probeta 2	147
6.32	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 15 días de elaboración probeta 3	148
6.33	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración probeta 1	149
6.34	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración probeta 2	150
6.35	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración probeta 3	151
6.36	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración probeta 1	152
6.37	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración probeta 2	153
6.38	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración probeta 3	154
6.39	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 7 días de elaboración probeta 1	155
6.40	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 7 días de elaboración probeta 2	156
6.41	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 7 días de elaboración probeta 3	157
6.42	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 15 días de elaboración probeta 1	158
6.43	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 15 días de elaboración probeta 2	159
6.44	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 15 días de elaboración probeta 3	160
6.45	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante	161

	8% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración probeta 1	
6.46	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración probeta 2	162
6.47	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 30 días de elaboración probeta 3	163
6.48	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 60 días de elaboración probeta 1	164
6.49	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 60 días de elaboración probeta 2	165
6.50	Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm /cm <sup>3</sup> a 60 días de elaboración probeta 3	166
6.51	Grafica esfuerzo-deformación sillar anaranjado con blanco probeta 1	167
6.52	Grafica esfuerzo-deformación sillar anaranjado con blanco probeta 2	168
6.53	Grafica esfuerzo-deformación sillar anaranjado con blanco probeta 3	169
6.54	Grafica esfuerzo-deformación sillar anaranjado probeta 1	170
6.55	Grafica esfuerzo-deformación sillar anaranjado probeta 2	171
6.56	Grafica esfuerzo-deformación sillar anaranjado probeta 3	172
6.57	Grafica esfuerzo-deformación sillar gris probeta 1	173
6.58	Grafica esfuerzo-deformación sillar gris probeta 2	174
6.59	Grafica esfuerzo-deformación sillar gris probeta 3	175
6.60	Grafica esfuerzo-deformación sillar rosa probeta 1	176
6.61	Grafica esfuerzo-deformación sillar rosa probeta 2	177
6.62	Grafica esfuerzo-deformación sillar rosa probeta 3	178
6.63	Grafica esfuerzo-deformación sillar tabaco probeta 1	179
6.64	Grafica esfuerzo-deformación sillar tabaco probeta 2	180
6.65	Grafica esfuerzo-deformación sillar tabaco probeta 3	181
6.66	Difracción de rayos X en muestra de cal	188
6.67	Difracción de rayos X en muestra de sillar color naranja	189
6.68	Difracción de rayos X en muestra de sillar color tabaco	190
6.69	Difracción de rayos X en muestra de ceniza volante	191

# 1 INTRODUCCIÓN

Desde sus comienzos, el ser humano ha modificado su entorno para adaptarlo a sus necesidades. Para ello ha hecho uso de todo tipo de materiales naturales que, con el paso del tiempo y el desarrollo de la tecnología, se han ido transformando en distintos productos, mediante procesos de manufactura de creciente sofisticación. Los materiales naturales sin procesar (arcilla, arena, mármol) se suelen denominar materias primas. No obstante, en los procesos constructivos, muchas materias primas se siguen utilizando con poco o ningún tratamiento previo. En estos casos, estas materias primas se consideran también materiales de construcción propiamente dichos. Los materiales de construcción convencionales están fuera del alcance de la mayoría de la población mundial debido a la falta de recursos. Además del ascenso en el costo de los materiales de construcción, el aumento de las preocupaciones ambientales debido a la explotación extensiva de los recursos naturales relacionadas con la construcción en general y otras actividades de desarrollo de vivienda incita a la búsqueda de las distintas opciones de nuevos materiales que no emitan CO<sub>2</sub>. Por lo que se busca el aprovechamiento de un material abundante y económico como el tepetate usándolo de forma natural o mejorado (con algún material cementante como la cal o la ceniza) en la elaboración de elementos de construcción como el block.

## 1.1 Descripción del problema

En la actualidad las construcciones tienden a usar nuevos materiales que cada vez sean más económicos y resistentes, además de que su elaboración no genere contaminación ambiental.

La explotación del tepetate, por el contrario, no impacta en ninguna medida en la calidad del aire que respiramos, ni tampoco afecta a los terrenos involucrados, ya que se trata de un material que tiene problemas de fertilidad en el cultivo.

El tepetate es considerado un material inerte y ampliamente usado en la industria de la construcción pero únicamente como material de relleno o como material para las terracerías en los pavimentos, debido a que es un material muy económico y abundante.

El tepetate es que al ser un material que contiene arena (Miehlich, 1992), además incluye materiales que tienen en común niveles de cementación que pueden ser desde muy débiles hasta extremadamente fuertes, o grados de compactación que varían de medios a fuertes (Flores et al., 1991). Por lo tanto es necesario aplicar diferentes técnicas para mejorar su densidad y adicionar materiales para poder incrementar la resistencia y disminuir la permeabilidad de dicho material.

Por otro lado existen materiales (sillares) parecidos al tepetate pero de mayor dureza aparentemente, los cuales son comúnmente utilizados para la construcción de viviendas debido a su amplia gama de colores y texturas, desafortunadamente los sillares presentan una estructura muy porosa y pueden llegar a tener pérdida de finos por la filtración del agua y por ende, baja resistencia, además de que sus precios son elevados por lo complicado que es labrarlos en el lugar y van desde los 15 hasta los 30 pesos por pieza (junio 2012) dependiendo de su color.

El sillar es una roca ígnea extrusiva que se labra en el lugar con cortadoras de punta de diamante que generan polvo muy fino el cual es depositado en el medio ambiente, estudios recientes han arrojado que el polvo de las rocas repercuten en la salud de la población con enfermedades como el asma (Turgut, 2008), en Inglaterra se ha llegado a 106 millones de toneladas de polvo al año (Manning, 2004), otro ejemplo es Grecia con 6 millones de toneladas al año (Galetakis y Raka, 2004)..

Es por todo lo anterior que esta investigación pretende desarrollar un nuevo material (sillar artificial) para la construcción el cual no genera contaminación al elaborarlo, además de ser un material muy económico ya que se utilizaran materiales abundantes (Tepetate y cal) y de desperdicio (ceniza volante). Se pretende que tenga mejores propiedades mecánicas que el sillar (resistencia y permeabilidad)

## **1.2 Justificación**

Los materiales de construcción convencionales están fuera del alcance de la mayoría de la población mundial debido a la falta de recursos. Además del ascenso en el costo de los materiales de construcción, el aumento de las preocupaciones ambientales debido a la explotación extensiva de los recursos naturales relacionadas con la construcción en general y otras actividades de desarrollo de vivienda incita a la búsqueda de las distintas

opciones de nuevos materiales que no emitan CO<sub>2</sub>, es por eso que esta investigación nos desarrollara un nuevo material para la construcción el cual no genera contaminación al elaborarlo, además que es un material muy económico ya que se utilizaran materiales abundantes y de desperdicio como lo es el tepetate, la cal y la puzolana artificial, respectivamente. Actualmente existe un material tipo block parecido al tepetate (sillar), por lo que este trabajo pretende ofrecer un material con mejores propiedades que el sillar utilizando algunas técnicas de mejoramiento.

### **1.3 Objetivo e Hipótesis**

#### **1.3.1 Objetivo**

Al tepetate se le aplicaran diferentes técnicas existentes para el mejoramiento de su densidad, así como la adición de algunos aditivos como la cal, ceniza volante y puzolana con la finalidad de incrementar resistencia y disminuir permeabilidad.

Con esto se pretende aprovechar suelos naturales abundantes y económicos como el tepetate en la elaboración de materiales para la construcción con mejores propiedades que algunos existentes, como el sillar.

#### **1.3.2 Hipótesis**

La compactación aplicada al tepetate impactará en un incremento de resistencia y decremento en su permeabilidad. Luego, la adición de cal, ceniza volante y puzolana en el material ya compactado aumentarán aún más dicha resistencia y existirá una disminución mayor en la permeabilidad respecto al sillar.



## 2 ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Generalidades

Los materiales de construcción (sillar, block y ladrillo) se emplean en grandes cantidades, por lo que deben provenir de materias primas abundantes y económicas. Por ello, la mayoría de los materiales de construcción se elaboran a partir de materiales de gran disponibilidad como arena, arcilla o piedra.

Además, es conveniente que los procesos de manufactura requeridos consuman poca energía y no sean excesivamente elaborados. Esta es la razón por la que el vidrio es considerablemente más caro que el ladrillo, proviniendo ambos de materias primas tan comunes como la arena y la arcilla, respectivamente.

Los materiales de construcción tienen como característica común el ser duraderos, dependiendo de su uso, además deberán satisfacer otros requisitos tales como la dureza, la resistencia mecánica, la resistencia al fuego, o la facilidad de limpieza. Por norma general, ningún material de construcción cumple simultáneamente todas las necesidades requeridas: la disciplina de la construcción es la encargada de combinar los materiales para satisfacer adecuadamente dichas necesidades.

### 2.2 Tepetate

El término tepetate es utilizado en México para designar depósitos o estratos de material volcánico endurecido. Este término proviene del náhuatl tepetlatl (Xido en lengua Otomí) que a su vez es formado de las raíces tetl=Piedra y petlatl=estera, que podría ser traducido como petate (estera) de piedra (Simeón, 1885).

El tepetate es considerado un material inerte y ampliamente usado en la industria de la construcción desde hace muchos años en terraplenes para pavimentos, como material de sustitución bajo las cimentaciones y para la elaboración de elementos de construcción como el tabicón (García Rivero, 2008); sin embargo, hasta el día de hoy no se ha definido formalmente su constitución y las propiedades que debería tener como material inerte, además de que no se tiene mucha información acerca del tema, (importantes en la industria

de la construcción). Sobre el tepetate, existe gran cantidad de estudios acerca de sus propiedades agrológicas (importantes para la agronomía), ya que desde tiempos prehispánicos, se ha tratado de incorporarlos a la agricultura, fragmentándolos y abonándolos (Rodríguez-Tapia, 2004; Velázquez-Rodríguez et al, 2001) puesto que presentan contenidos muy bajos de materia orgánica, nitrógeno y fósforo lo que dificulta su incorporación a la producción agrícola (Álvarez-Solís et al, 2000) ; así como estudios de su taxonomía (Williams y Ortiz, 1981), de su clasificación y origen geológico (Nimlos, 1990; Flores-Román et al, 1991).

Los tepetates han sido reportados en diferentes países principalmente en América Latina en los cuales son denominados con diferentes nombres, tales como silcrete en los E.U.A.; talpetate en Nicaragua, el Salvador, Honduras y Costa Rica; hardpan, duripan y cangahua en Colombia y Ecuador; cangagua, moromoro, tosca y ñadis en Chile, hardpan en Perú y kora y masa en Japón (Zebrowski, 1992).

En el caso particular de México, estimaron que aproximadamente el 30% del territorio nacional estaba afectado en mayor o menor grado por la presencia de tepetates (Gama Castro et al., 2007)

Los tepetates se clasifican en dos clases: los tipo fragipán y los tipo duripan (Etchevers et al., 2004). Al roturar los tepetates tipo fragipán y acondicionarlos, se pueden convertir en tierras de cultivo, sin embargo, sólo contienen trazas de carbón (C), Nitrógeno (N) y Fosforo (P) por lo que presentan limitantes físicas, químicas y biológicas para el establecimiento de plantas (Etchevers et al., 1992). El acondicionamiento de los tepetates los convierte en un almacén potencial para el carbón (C), pero la tasa de acumulación es muy baja (Báez et al., 2002).

Posteriormente, se estimó con base en la cartografía de INEGI, que los tepetates, particularmente los duripanes, cubrían un área de 30 700 km<sup>2</sup> (Zebrowski, 1992). En ese mismo año se estimaron una cobertura de 140 000 km<sup>2</sup>, incluyendo no sólo duripanes, sino a horizontes petrocálcicos y petrogípsicos (Guerrero et al., 1992).

En el Valle de Querétaro se encuentran toda la gama de rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas) por lo que en campo se puede observar una gran diversidad de suelos. Entre ellos destacan los residuales y transportados (del tipo lacustre, fluvial) y de precipitación química (Alvarez-Manilla et al., 2002).

En el centro de México los tepetates ocupan una área mayor a 300 mil hectáreas, siendo una superficie importante (Navarro-Garza et al., 2004). En la Ciudad de Querétaro y sus alrededores (Región central de México), el tepetate es muy utilizado como material para sustitución de suelos problemáticos, cuando el suelo del lugar no cumple los requisitos necesarios para la construcción de alguna obra civil, tal es el caso de los suelos expansivos que sufren cambios de volumen por alteraciones en la humedad (López-Lara et al., 2010).

Con base en las investigaciones realizadas por diferentes autores resulta posible inferir que independientemente de su origen, los tepetates siempre presentan, dentro de un rango de oscilación, propiedades físicas, mecánicas y químicas que le son comunes entre sí (Etchevers et al., 1992; Gutiérrez-Castorena y Ortiz-Solorio, 1992; Miehlich, 1992; Peña y Zebrowski, 1992; Peña et al., 1992). Destaca su compactación o cementación, que se reflejan en densidades aparentes altas (1.7-1.9 g/cm<sup>3</sup>), una porosidad baja de 13 a 24%, así como conductividades hidráulicas y retención de humedad bajas. Estas características, impiden o limitan significativamente la incorporación rápida de plantas primarias, debido a que limitan su crecimiento radicular lo que propicia una baja cobertura vegetal y la posterior erosión del suelo.

De acuerdo con los trabajos realizados sobre las propiedades físicas, los tepetates exhiben una matriz compuesta por arena, limo y menores porcentajes de arcilla (Miehlich, 1992; Peña y Zebrowski, 1992), sin embargo en ocasiones pueden presentar contenidos altos de esta fracción.

Los primeros estudios realizados en México acerca del origen de los tepetates, reportaron que éstos se podían constituir a partir de diferentes materiales piroclásticos que

mostraban distintos grados de intemperismo físico y químico, e inclusive lahares. Los tepetates del Valle de México son considerados como tobas “pumosas” del Terciario o Cenozoico en proceso de intemperismo (Gama Castro et al., 2007; Llerena, 1947; García, 1961). Los tepetates de la cuenca de México se formaron por el arrastre aluvial de un fanglomerado que posteriormente se consolidó (Valdés, 1970), el origen de los mismos era por depósitos de loess posteriores a grandes glaciaciones (Heine y Schönhals, 1973). Sin embargo, de acuerdo con los resultados expuestos por dichos autores, no fueron suficientemente precisos y dejaron ambigüedades sobre la génesis de las capas endurecidas, concluyendo que los tepetates pueden tener orígenes diversos (Rodríguez et al., 1999).

Zebrowski (1992) reconoce dos procesos geológicos para explicar el endurecimiento de los horizontes:

- A. Consolidación-compactación simple o por la hidroconsolidación de materiales volcánicos transportados por el agua. En ambos casos, siempre existe un incremento en la densidad aparente del material, una mayor dureza y consecuentemente, una disminución de la porosidad.
- B. Endurecimiento de los materiales volcánicos en el momento de su depósito y posterior enfriamiento, este es el caso de los flujos piroclásticos.

### **2.3 Cal**

Hasta la revolución industrial y el descubrimiento del cemento en 1824 en Pórtland, Inglaterra, la cal ha sido el principal ligante de la construcción en morteros, revestimientos y pinturas (Arredondo, 1980). Es responsable de la solidez de los edificios antiguos y medievales y ha participado en obras tan prestigiosas como los frescos y estucos que los decoran. Los constructores de entonces aplicaban las cales disponibles en las canteras y caleras más próximas.

Es decir, la calidad de las cales reencontradas varía según la roca de extracción, pues de las calizas, las más puras proceden de las cales más grasas, es decir, aéreas y de las

calizas las más arcillosas, pues las más ricas en sílice (margas) procedían las cales magras es decir hidráulicas.

Se entiende por cales aquellos productos que, sea cual fuere su composición y aspecto físico, proceden de la calcinación de piedras calizas y, en menor medida de dolomías (Arredondo, 1980). Como se ha indicado anteriormente, las calizas son rocas o sedimentos, de amplia presencia en la corteza terrestre, que están constituidas en su mayor parte por elementos (partículas, cementos, cristales) de composición carbonato calcio, bien sea con mineralogía de calcita (lo más frecuente) o de aragonito. El origen de estos materiales es comúnmente sedimentario, pudiendo haber sufrido procesos más o menos intensos de metamorfismo.

### 2.3.1 Tipos de cal

#### 2.3.1.1 Cal aérea

La calcinación de la cal aérea se produce por la cocción de la caliza pura (carbonato de calcio) alrededor de 900 grados y está acompañada de una pérdida del 45% de su peso, correspondiente a la pérdida de gas carbónico. Tras la transformación de la cal viva (óxido cálcico), resultante de la cocción, se obtiene la cal apagada apta para su aplicación en la construcción (hidróxido cálcico). Por producir mucho calor, el proceso de apagado se hace en fábrica o bien por personal especializado.

En las calizas dolomíticas el carbono de calcio está asociado al carbonato de magnesio. Tras su cocción a temperaturas inferiores a 900 grados se obtiene una cal aérea (Borrelli et al., 1996).

#### 2.3.1.2 Cal hidráulica natural

Son raras las calizas puras. Casi siempre aparecen mezclados con arcillas, ricas en elementos químicos como el hierro el aluminio y sobre todo el sílice y de las cuales procede la cal hidráulica natural. Entre 800 y 1.500 grados (en general alrededor de 900 grados), el

calcio de la caliza se combina con dichos elementos formando silicatos, aluminatos y ferroaluminatos de calcio. Al contacto con agua estos cuerpos quieren formar hidratos insolubles lo que confieren al ligante un carácter hidráulico. Al contacto con el aire húmedo, la cal y los hidratos así formados carbonizan con el gas carbónico del aire. Esta reacción dura varios meses y es la parte aérea del proceso. Además tolera las transferencias de humedades y sales minerales. Gracias a su mayor endurecimiento inicial la cal hidráulica natural permite al constructor realizar trabajos en el exterior durante todo el año, también en los meses del invierno, siempre que se proporciona una protección contra calores, hielo y aguas pluviales durante las primeras 72 horas de cura.

Los científicos del siglo diecinueve intentaron clasificar las cales hidráulicas según su índice de hidraulicidad, dependiente de su contenido de arcilla (entre 5 y 30%).

En la actualidad se producen cales hidráulicas con baja y alta hidraulicidad formando 3 clases de resistencia de las cuales las más frecuentes son la clase NHL 5 (la más resistente entre las cales hidráulicas naturales, con una resistencia mínima a la compresión 28 días = 5 MPa y un contenido de arcilla de la caliza procedente de entre 15-20%) y clase NHL 3,5 (resistencia mínima a la compresión 28 días = 3,5 Mpa, contenido de arcilla de la caliza procedente = 8-15%) y menos frecuente la clase NHL 2 con un contenido muy bajo de arcilla y una resistencia final a la compresión poco superior a la de una cal aérea.

Las cales de hidraulicidad algo superiores a la de las cales hidráulicas naturales se denominan cales hidráulicas artificiales (cales hidratadas) ya que contienen substancias añadidas antes o después de la cocción, como son, entre otros:

Clinker, son silicatos y aluminatos hidratados, obtenidos por cocción encima de la sinterización (1.500 grados).

Puzolanas de origen natural (volcánico) o bien artificial (mezcla de sílice, aluminio y óxido férrico).

Cenizas volantes, que provienen de la combustión de petróleo o carbon.

### 2.3.2 Aplicaciones de la Cal

#### 2.3.2.1 Morteros para cimentaciones y asentamientos de piedra natural y bloques de fábrica:

La cal aérea aporta la mayor trabajabilidad y flexibilidad debido a una mayor finura frente a la cal hidráulica natural. Pero es preferible la cal hidráulica ya que aparte de buena trabajabilidad y flexibilidad tiene mayor resistencia a la compresión y una mayor resistencia inicial, con la ventaja de poder adelantar el trabajo rápido con ahorro de tiempo y dinero. Además tolera las transferencias de humedades y sales minerales. Gracias a su mayor endurecimiento inicial la cal hidráulica natural permite al constructor realizar trabajos en el exterior durante todo el año, también en los meses del invierno, siempre que se proporciona una protección contra calores, hielo y aguas pluviales durante las primeras 72 horas de cura.

#### 2.3.2.2 Construcción de piscinas naturales y estanques (almacenaje de aguas pluviales, etc.):

Cal hidráulica natural (NHL 5), ya que es más impermeable, más resistente a la compresión, más resistente a sales minerales y capaz de endurecerse incluso debajo del agua, sin la presencia de aire sirve en la construcción de piscinas y estanques.

#### 2.3.2.3 Revestimientos exteriores e interiores:

Los morteros para revestimientos exteriores, en todo caso serían a base de cal hidráulica natural, ya que tiene la mayor resistencia mecánica, la mayor impermeabilidad y la mejor resistencia a agresiones ambientales así como influencias marítimas (González, 2007) y es preferible la cal hidráulica ya que aparte de buena trabajabilidad y flexibilidad tiene mayor resistencia a la compresión y una mayor resistencia inicial, con la ventaja de poder adelantar el trabajo rápido con ahorro de tiempo y dinero.

Los revestimientos interiores podrían ser compuestos de un revestimiento base de mortero de cal hidráulica natural y un acabado fino (en una o varias capas) a base de mortero de cal aérea, sin o con pigmento lo que en su totalidad es un estuco de cal.

La elevada finura y máxima trabajabilidad de la cal aérea, que se puede aumentar aún más trabajando con cal grasa en pasta, es necesaria para un buen resultado final del acabado.

Su elevada porosidad es responsable para un efecto máximo de compensación de vapores de agua en la vivienda así como un excelente aislamiento térmico.

#### 2.3.2.4 Lechadas y pinturas:

Para la fijación de una superficie con mala adherencia, se podrían aplicar una o varias capas de lechada de cal aérea o cal hidráulica natural. Para la fijación de superficies arenosas es aconsejable la cal hidráulica.

Para aumentar la adherencia de un soporte justo antes de revestir da más efecto la lechada de cal aérea, la más grasa posible.

Las pinturas serían a base de cal aérea (color más blanco), preferiblemente cal grasa en pasta, diluido con agua y si acaso mezclado con pigmentos aptos para la cal. La cal en pasta, para pintar, debe estar elaborada de las capas superiores (con ausencia de partículas gruesas sin apagar) de la cal que ha reposado bajo el agua durante un tiempo de meses o años.

Es aconsejable añadir a la pintura un estabilizante natural que entrará en reacción con la cal, como la caseína por ejemplo, ya que de esta forma se aumenta su resistencia al tacto.

El ámbito de aplicación de pinturas de cal son más bien interiores ya que las pinturas de cal son sensibles a las variaciones climáticas (hielo, sol, viento y humedad).



Pues exigen un alto grado de mantenimiento en exteriores.

#### 2.3.2.5 Fijación de tejas, solería (interior y exterior) y piezas de decoración y murales:

Tejas y solería con cal hidráulica natural ya que interesa resistencia mecánica así como máxima impermeabilidad. Para la fijación de piezas decorativas cerámicas o de piedra natural en superficies verticales, además de elaborar un mortero con alto contenido de cal y óptima granulometría, se podría aplicar un mortero a base de cal hidráulica (resistencia mecánica y buena adherencia) y pasta de cal grasa (aumento de adherencia). El soporte, si fuese necesario, se podría preparar con una lechada de cal grasa.

#### 2.3.2.6 Estabilizar suelo con cal:

Se puede estabilizar la arcilla para la fabricación de adobes o tapial y conseguiremos aumentar su resistencia mecánica así como su resistencia al agua.

Los suelos muy arcillosos (40% o más) se estabilizan mejor con cal aérea.

Los suelos muy arenosos se estabilizan mejor con cal hidráulica para ganar más resistencia.

A parte de mezclarlo todo bien, para asegurar un buen proceso de endurecimiento, las mezclas de tierra y cal hidráulica se deben poner en obra pronto, evitando el secado rápido, ya que, si no se puede perder con facilidad el 50% de resistencia (Littleton, 1995).

La cal viva en polvo puede ser utilizada para estabilizar pero tiene la desventaja de producir mucho calor y puede dañar peligrosamente la piel. Por causa del calor de hidratación tiende a secar el suelo rápidamente con el riesgo de dilatación.

En general se aplica un 5% de estabilizante ya que menos cal casi significa una pérdida de resistencia. La estabilización no es una ciencia exacta por ello depende del técnico o constructor, es mejor hacer bloques de prueba para realizar ensayos. El propósito

de estos ensayos es encontrar la menor cantidad de estabilizante que satisfaga los requerimientos (Kinuthia et al., 1999; Kandora, 2008; McCallister and Tidwell, 1997).

## **2.4 Puzolana**

La puzolana es un material de aluminosilicato no vinculante, y en presencia de humedad, a temperatura ambiente, reacciona químicamente con hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) para formar compuestos con propiedades de unión (Verne and Cadoret, 1991). Existen de dos tipos: las puzolanas naturales (rocas sedimentarias, volcánicas y metamórficas) y puzolana artificial, que se encuentran en forma de subproductos industriales (escorias de alto horno, cenizas volantes, humo de sílice).

En diversas investigaciones se ha concluido que al sustituir parcialmente al cemento portland ordinario por diferentes porcentajes de puzolana natural se logra mejorar la resistencia del concreto que a su vez muestra una evolución en el tiempo (Belaidi et al., 2012), así como propiedades térmicas. La elección de un material para ser utilizado como un aislante, obviamente, depende de su disponibilidad y su costo, por lo cual es económicamente ventajoso utilizar puzolana en sustitución de una parte de la escoria como adiciones hidráulicamente activas, así como en composiciones de concretos ligeros en forma de mezclas puzolánicas de agregado, que proporcionan resistencias mecánicas que cumplen con las normas vigentes (Bessenouci et al., 2011).

Un gran número de estudios (Mehta, 1981; Tagnit-Hamou et al., 2003) han demostrado que después de los desastres naturales la puzolana se ha utilizado ampliamente como un sustituto para el cemento Portland en muchas aplicaciones debido a sus propiedades ventajosas que incluyen la reducción de costos, la reducción en evolución de calor, disminución de la permeabilidad y el aumento de resistencia química. Sin embargo, la puzolana natural contribuye a la hidratación después de 28 días para mejorar la resistencia a edades media y posterior de los concretos por lo cual a menudo se asocia con deficiencias tales como la necesidad de húmedo-curado durante más tiempo y una reducción de la resistencia a edades tempranas y hasta 28 días (Ghrici et al., 2007).

## 2.5 Diferentes Métodos Para Mejoramiento del Comportamiento de Suelos en Obras

En rigor, la compactación es uno de los varios métodos de los que hoy se dispone para mejorar la condición de un suelo que haya de Usarse en una obra de construcción pesada; es, además, sin duda uno de los más eficientes y de aplicación más universal; pero no es el único en que pueda pensarse.

La Tabla 2.1 (Rico y del Castillo, 1992) presenta un panorama más general sobre otras técnicas de utilización posible.

En el último renglón, de compactación por medios mecánicos, deben considerarse incluidas las técnicas de compactación a base de grandes impactos producidos por masas muy considerables dejadas caer desde alturas muy grandes, utilizadas con frecuencia para mejorar la condición de suelos naturales que servirán como terrenos de cimentación a diferentes obras de ingeniería; estas técnicas han sido poco utilizadas hasta hoy en obras lineales, pero, por supuesto, están disponibles cuando su uso sea conveniente.

**Tabla 2.1** Métodos de mejoramiento de suelos

<b>MÉTODOS DE MEJORAMIENTO DE SUELOS</b>		
<u>Métodos físicos</u>	<u>Métodos químicos (estabilización)</u>	<u>Métodos mecánicos</u>
Confinamiento ( suelos friccionantes)	Con sal	Compactación
	Con cemento	
Consolidación previa (suelos finos arcillosos)	Con asfalto	
	Con cal	
Mezclas (suelo con suelo)	Con otras sustancias	
Vibroflotación		

La historia del desarrollo de la tecnología de compactación en muchos países merece un comentario especial. En un principio, situado aproximadamente hasta los

últimos años de la década de los cuarentas, los ingenieros manifestaron una frecuente predisposición en contra de su utilización. La razón era la casi siempre invocada en contra de cualquier innovación tecnológica obediente a los incrementos del tránsito tanto en peso como en número, trátase de camiones, trenes o aviones comerciales. Se decía que la compactación vendría únicamente a incrementar los costos de construcción, sin ningún beneficio compensatorio; en el caso de las carreteras y más aún en el de los ferrocarriles, se invocaba que el propio tránsito de los equipos rodantes produciría el mismo efecto, con gasto nulo (Rico y del Castillo, 1992).

Puede verse hoy que las técnicas de compactación lograron ganar en un lapso relativamente breve la confianza de los ingenieros proyectistas y constructores de obras para el transporte, a un grado tal, que hoy su uso puede considerarse prácticamente universal en esos trabajos. De hecho, los criterios evolucionaron definitivamente en sentido opuesto al inicial y en la actualidad la idea es que la compactación es aceptada indiscriminadamente, considerándose que cuanto más se compacte los suelos, mejores resultados han de obtenerse. Este criterio indiscriminadamente aplicado puede conducir fácilmente a todos los riesgos de sobrecompactación de suelos finos con contenido arcilloso apreciable, muy especialmente si se tiene en cuenta que en México y en muchas otras partes, las especificaciones de construcción permiten la utilización de capas con índices de plasticidad excesivamente elevadas, sobre todo en terracerías y subrasantes y con contenidos de materiales finos demasiado altos en subbases y bases y que, adicionalmente, es muy frecuente también en muchas partes una utilización excesivamente restringida de técnicas de sub drenaje que pongan esos suelos peligrosos a cubierto de la acción perjudicial del agua.

Otro caso en que las ideas anteriores conducen a una sobrecompactación perjudicial se tiene cuando se utilizan materiales ligeros, tales como los tezontles, suelos pumíticos y otros materiales de origen volcánico, que deben su deseada ligereza a porosidad en sus partículas, la cual se destruye con un efecto de compactación excesiva; en tales casos, el tezontle, por ejemplo, puede pasar de pesos volumétricos de alrededor de 1 Ton / m<sup>3</sup> a

valores del orden del peso volumétrico del basalto es decir -de más del doble de esa cantidad, perdiéndose evidentemente las características de ligereza que indujeron a su uso.

Los diferentes métodos de mejoramiento mencionados en la Tabla 2.1 deben ser objeto de consideración por parte de los proyectistas y constructores; en especial el de mezclas de suelos diversos puede ofrecer en las obras lineales excelentes oportunidades (Rico y del Castillo, 1986).

### 2.5.1 La Compactación como técnica de trabajo de campo.

Es evidente que la compactación de suelos es ante todo y sobre todo una técnica de trabajo de campo y que si sus particularidades se estudian también en los laboratorios o son objeto de trabajos de investigación teórica, ello no puede tener otra finalidad que el apoyo de las propias obras en donde se aplique.

En principio, el proceso de compactación en el campo debe conducirse para responder a la pregunta fundamental de ¿qué equipo habrá de emplearse y que operaciones habrán de realizarse para obtener en un suelo dado un cierto conjunto de propiedades mecánicas consonantes con las consideradas en el proyecto? Sin embargo, en muchas ocasiones la pregunta anterior adquiere una modalidad diferente, dado que no es difícil que se presenten casos en que para realizar los trabajos de compactación se disponga de un cierto equipo y que resulte difícil o imposible en la práctica obtener algún otro que pudiera considerarse preferible para un caso dado. En esos casos la pregunta fundamental que se plantea al planear un tren de compactación sería ¿qué resultados se pueden obtener con el equipo disponible y cómo manejar ese equipo y el proceso en general, a fin de obtener mejores resultados que sea posible? Obviamente en una situación como la que se plantea el propio proyecto deberá de ser retroalimentado por información realista, para tomar en consideración los resultados a que pueda llegarse en el campo.

Como es sabido existen diversos modos de compactar materiales en el campo.

Los utilizados al presente se suelen clasificar en las siguientes categorías:

- Por amasado
- Por presión
- Por impacto
- Por vibración
- Por métodos mixtos

Dentro de las anteriores categorías caben todas las soluciones comerciales e industriales que hasta el momento se han desarrollado para resolver el problema.

Los tres primeros tipos de compactadores se presentan bajo la forma de rodillos que circulan sobre el terreno que se desea compactar. Los dos últimos en ocasiones aparecen también con técnicas de rolado; pero en otras desarrollan mecanismos diferentes (Rico y del Castillo, 1992).

## **2.6 Materiales de construcción tipo block**

Actualmente, cuando hablamos de construcción se nos vienen a la cabeza miles de materiales que podemos emplear para levantar un edificio o hacer una casa; entre ellos encontramos el hierro, el acero inoxidable, el sillar, el ladrillo, hormigón, diferentes rocas, los bloques dentro de los cuales encontramos el adobe, los elaborados de cemento o concreto, de arcilla cocida, de barro comprimido, de barro esmaltado, etc. La ciencia ha revelado que se verá un gran cambio en a lo que a materiales se refiere y trata de encontrar una mejor y mayor utilidad en dichos materiales para que resulten ser más útiles de lo que ya son. Es por eso, que el desarrollo de los mismos es constante y cada década se pueden encontrar en ellos más aplicaciones, muchas veces impensadas (Abdullah, 1996).

### 2.6.1 Sillar

El sillar es una toba volcánica o tufo volcánico, es un tipo de roca ígnea volcánica, ligera, de consistencia porosa, formada por la acumulación de cenizas u otros elementos volcánicos muy pequeños expelidos por los respiraderos durante una erupción volcánica.

Se forma principalmente por la deposición de cenizas y lapilli durante las erupciones piroclásticas. Su velocidad de enfriamiento es más rápida que en el caso de rocas intrusivas como el granito y con una menor concentración en cristales. No hay que confundirla con la toba calcárea ni tampoco con la pumita.

El sillar es una piedra labrada en el lugar por varias de sus caras que después es pasada en una maquina cortadora para obtener una medida estándar, generalmente en forma de paralelepípedo, y que forma parte de las obras de fábrica.

Los sillares suelen tener un tamaño y peso que obliga a manipularlos mediante máquinas, a diferencia de los mampuestos, que, como su nombre indica, se ponen con la mano (Alvarez et al., 2004).

La mampostería de roca es el más antiguo, duradero y amplio método de construcción ideado por la humanidad. Estructuras de piedra construidas sin mortero se basan en la habilidad de los artesanos y la fuerza de gravedad y resistencia a la fricción. La roca ha sido un medio para la construcción con éxito a través de los tiempos y en todo el mundo debido a su exclusiva gama de beneficios, las estructuras son notablemente duraderas y, si son correctamente diseñadas, se pueden hacer resistentes a los terremotos, resistentes al fuego y al agua. Además de que el albañil necesita un mínimo de herramientas, el trabajo es fácil de reparar, el material está disponible y es reciclable (Senthivel and Lourenço, 2009).

La mampostería de toba volcánica es de lo que está construido uno de los edificios más viejos en Italia. Se compone de un patrón regular de piedras de toba y juntas de mortero, el cual fue empleado por los romanos para la construcción de monumentos, palacios, puentes, acueductos y otras muchas instalaciones. Las rocas de tobas se utilizaron en gran medida en las regiones sísmicas, como en Italia, Turquía, y Japón. Aunque hay una gran cantidad de estudios teóricos y los datos experimentales se encuentra actualmente

disponible para algunos tipos de mampostería, en otros todavía hay una falta de conocimiento sobre el comportamiento mecánico de la mampostería en ambos puntos de vista experimental y analítico (Nicola and Fulvio , 2011).

Los sillares son el principal estilo arquitectónico en Europa desde el siglo 9 hasta el 13, que se encuentra tanto en edificaciones de patrimonio como en convencionales, también han sido reportados en diferentes países en los cuales son denominados con diferentes nombres, como ashlar en E.U.A., toscas en España (Peña Hernández et al., 2001), bugnato en Italia, yontma en Turquía, piedra sillar en Perú de donde es conocida la ciudad de Arequipa como “Ciudad Blanca” debido a que los principales edificios del casco histórico de la ciudad están contruidos con sillar blanco (Salas Álvarez et al., 1990) y como sillar en México.

Hablando en el caso particular del continente de América a lo largo de la Cordillera de los Andes la presencia de depósitos de toba en cuanto a sus posibilidades de explotación, es inagotable. Lógico es este razonamiento si consideramos que su origen es el de depósitos sedimentarios de cenizas volcánicas, cuya consolidación y en consecuencia su densidad es proporcional al tiempo transcurrido desde su deposición. Esta situación, se hace repetitiva en cualquier zona con antecedentes volcánicos, por lo tanto, a nivel mundial la toba es un material superabundante. En Italia fundamentalmente en la zona del Vesubio, la explotación de la piedra toba es milenaria. También encontramos desarrollo de aplicación constructiva de esta en Etiopía, Alemania, México y Perú. En la Argentina, existen construcciones no muy recientes, en donde se destinó a la toba para la construcción de muros.

Los suelos de origen volcánico en México se ubican en las laderas y los piedemontes de las sierras con aparatos volcánicos, y son muy susceptibles al deterioro por erosión hídrica. En el Eje Neovolcánico Transversal Mexicano (ENT) figura 1, esta última ha ocasionado el afloramiento de bastas áreas de bancos de sillar, que son capas de tobas volcánicas endurecidas por procesos geológicos o pedológicos (Miehlich, 1992; Hidalgo, 1995), que se ubican principalmente en el piedemonte del ENT, entre 1800 y 3400 m s. n. m., cubriendo más de 30 000 km<sup>2</sup> (Zebrowski, 1992), en una zona densamente poblada.





Figura 2.1 Eje Neovolcánico Transversal Mexicano (Martínez Molina, 2011)

La región de Querétaro es famosa por la amplia gama de colores de sillares que posee. Las cuales no se encuentran fácilmente en cualquier parte del mundo, la ubicación de los bancos de sillar es en San Ildefonso, Amealco, Querétaro.

En esta localidad se encuentran bancos de sillar de diferentes tonalidades de color que van desde tonos rojizos hasta naranja, naranja manchado de blanco, tabaco, negro, rosa, gris y blanco. Es por eso que el sillar es muy utilizado en la ciudad de Querétaro y la región.

Los bancos de sillar se encuentran todos muy cercanos, tanto así que hay bancos separados a no más de 10 metros de distancia

En los tiempos modernos, por ejemplo en Turquía los pequeños bloques de sillar se extraen a través de sierra de diamante de los bancos de material, y que estos pequeños bloques se cortan en las fábricas de dimensiones adecuadas que se aplican en los edificios, esto genera demasiado polvo de sillar y la eliminación de estos residuos es imposible, además de que el almacenamiento cuesta demasiado, con las tormentas en el verano y primavera se contamina el aire de la ciudad y causa graves riesgos de salud, incluyendo específicamente el asma (Turgut, 2008). En Inglaterra, 106 millones de toneladas de polvo

de sillar se ha llegado a formar cada año (Manning, 2004), otro ejemplo es Grecia, seis millones de toneladas se dispersan en la naturaleza como un resultado de cortar y labrar los sillares (Galetakis and Raka, 2004).

### 2.6.2 Blocks

Sustituto de la piedra en la construcción. Fabricado con hormigón formando alvéolos en su interior y de fácil colocación.

El bloque de concreto es una pieza de concreto prefabricada con forma de prisma recto y con uno o más huecos verticales, para su utilización en sistemas de mampostería simples o estructurales, esto debido a la posibilidad de reforzar las piezas en ambos sentidos de su plano. El bloque de concreto es fabricado por medio de un proceso Industrializado, garantizando con esto piezas de gran calidad (Tayfun and Ali, 2011)

### 2.6.3 Ladrillos

Tierra de arcilla cocida. Existen innumerables tipos formas y tamaños. Su utilización es muy extensa, desde la decoración hasta paredes anti ruido o aislantes.

El ladrillo industrial, fabricado en enormes cantidades, sigue siendo un material de construcción muy versátil. Existen 3 clases: ladrillos de fachada o exteriores, cuando es importante el aspecto; el ladrillo común, hecho de arcilla de calidad inferior destinado a la construcción; el ladrillo de refractario, que soporta temperaturas muy altas y se emplea para fabricar hornos (Ksenija et al., 2012).

El método tradicional de construcción de mampostería de ladrillo requiere mucha mano de obra y por lo tanto más lenta la construcción, debido a la gran cantidad de juntas de mortero. Los primeros intentos de acelerar la obra de construcción fueron a través de aumentar el tamaño de las unidades de mampostería (bloques en lugar de ladrillo), reduciendo así el número de juntas de mortero. Bloques de hormigón huecos de mampostería con dos y tres células ganado popularidad como una alternativa potencial (Anand et al. 2003).

### 3 METODOLOGÍA

Con el objetivo de resumir la metodología y hacer más práctico el documento se elaboró un diagrama de flujo donde se muestran los puntos más importantes llevados a cabo en la investigación (figura 3.1)

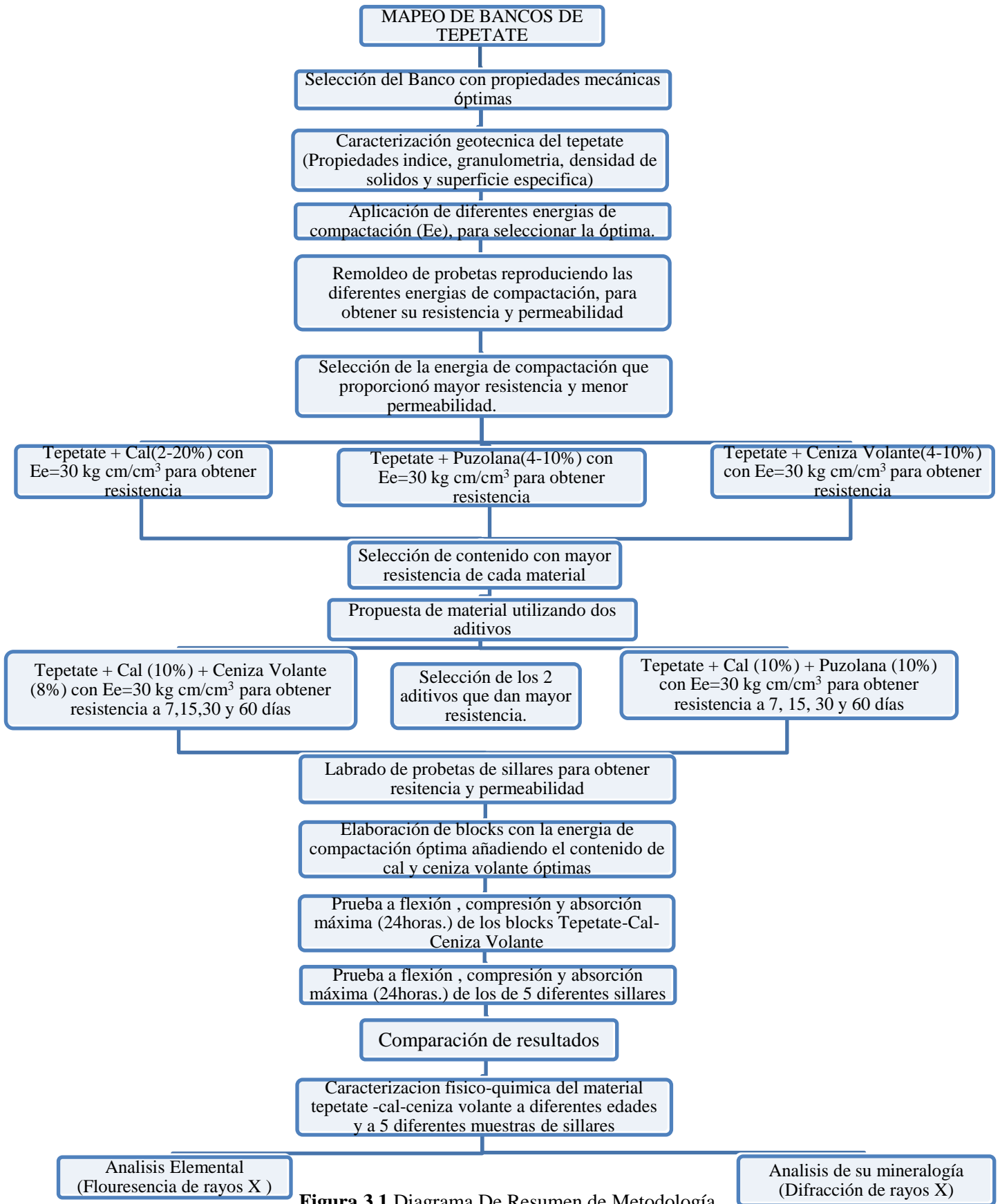


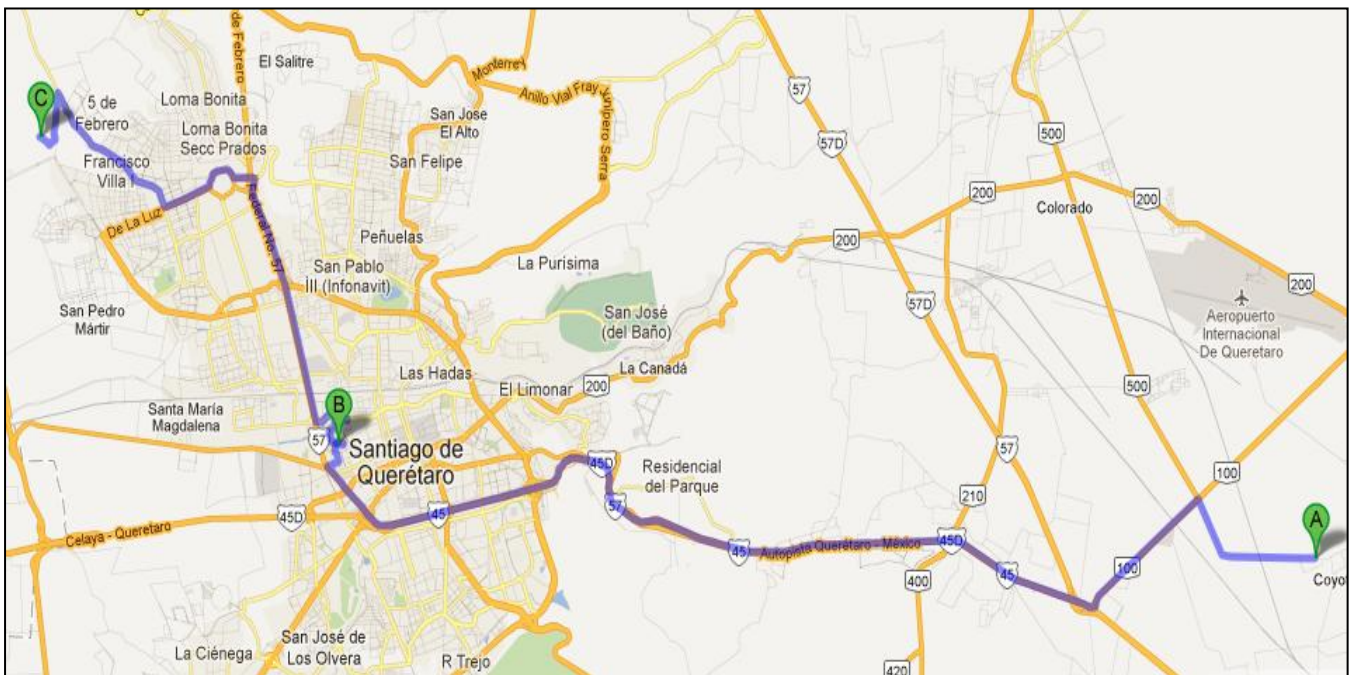
Figura 3.1 Diagrama De Resumen de Metodología

### 3.1 Extracción de tepetate

La primera actividad fue ubicar los bancos de extracción del material tepetate, siempre tratando de que fueran bancos en activo. Cabe mencionar que los bancos seleccionados para este estudio están teniendo usos distintos, como son los siguientes: uso exclusivo para terraplenes de fraccionamientos del tipo residencial, aplicación en capas de base o sub-base para la construcción de pavimentos y venta al público en general.

Se realizó un estudio extenso sobre las propiedades mecánicas del Tepetate; para poder seleccionar el mejor material existente para llevar a cabo la experimentación.

El material fue seleccionado en la ciudad de Santiago de Querétaro, (Querétaro, México). De todos los bancos clasificados en la ciudad de Santiago de Querétaro se analizó y selecciono el banco de tepetate con menor permeabilidad, menor contenido de gravas, plasticidad nula y mayor resistencia a la compresión simple, el banco que cumplió con dichas expectativas se conoce como “Mompaní” (ver figura 3.2), ubicado con las coordenadas geográficas de latitud  $20^{\circ}39'6.90''N$ , longitud  $100^{\circ}28'29.61''O$  y con una altitud media sobre el nivel del mar de 1905 m.



**Figura 3.2** Localización del banco de tepetate con Coordenada geográfica Latitud  $20^{\circ}39'07''N$  – Longitud  $100^{\circ}28'53''O$  y del banco de los sillares Latitud  $20^{\circ}33'25''N$ - Longitud  $100^{\circ}10'23''O$  (Google Maps, 2012).

Siendo el punto A el banco de sillares de San Ildefonso Amealco, Queretaro, el punto B la Universidad Autónoma de Querétaro y el punto C el banco de Tepetate conosido como Mompani.

El material obtenido fue extendido, secado al aire, disgregado y cribado por la malla No. 4. La cal utilizada para las pruebas fue cal comercial.

### **3.2 Caracterización Geotécnica del tepetate natural**

Al ubicar los bancos de estudio, se procedió a realizar la caracterización geotécnica del tepetate, que consistió en la evaluación de las siguientes propiedades índice y mecánicas del material, realizadas mediante la normativa correspondiente a la American Society for Testing and Materials (mencionada solamente como ASTM en adelante), las cuales se muestran y desglosan a continuación:

#### **3.2.1 Granulometría vía seca y vía húmeda (ASTM D-422-63,2002).**

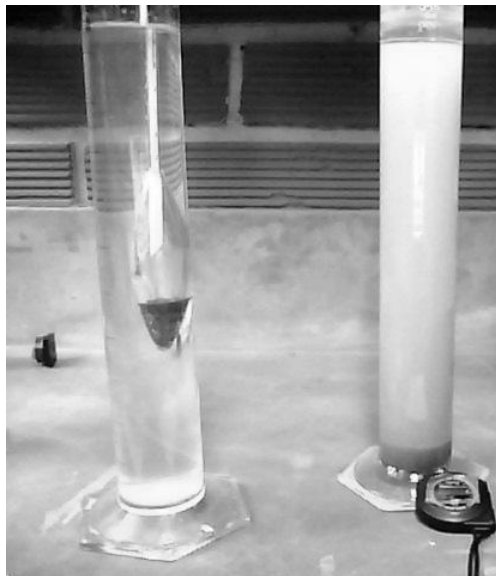
El análisis granulométrico es la distribución de tamaños de un suelo y normalmente se representa a través de la curva granulométrica. La curva granulométrica suele dibujarse con porcentajes como ordenadas y tamaños de las partículas como abscisas. Las ordenadas se refieren a porcentaje, en peso, de las partículas menores que el tamaño correspondiente. La representación en escala semilogarítmica en el eje de las abscisas resulta preferible a la simple representación natural, pues en la primera se dispone de mayor amplitud en los tamaños finos y muy finos, que en escala natural resultan muy comprimidos, usando un módulo práctico de escalas (Bowles, Joseph E., 1978).

Existen dos métodos para determinar la distribución de tamaños de un suelo, que es el análisis por mallas (figura 3.3) y a través del hidrómetro (figura 3.4). El análisis por mallas consiste en pasar la muestra de suelo a través de mallas cuyas aberturas progresivamente son más pequeñas. Existen mallas básicas las cuales nos permiten diferenciar gravas, arenas y finos, dentro de las cuales están la malla de 3 pulgadas, la malla número 4 (4.76 mm) y la número 200 (0.075 mm). Aquel material retenido en la malla no. 4 se considera grava, el material que pasa la malla no. 200 se consideran finos y el material

ubicado entre las dos mallas anteriores se consideran como arenas (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1989).



**Figura 3.3** Análisis granulométrico por mallado



**Figura 3.4** Granulometría de finos por hidrómetro

Los resultados del análisis por mallas son generalmente expresados en términos de porcentaje total en peso de suelo que pasa a través de las diferentes mallas y representados gráficamente a través de la curva granulométrica que nos permite definir los porcentajes de las diferentes fracciones de suelo, como gravas, arenas y finos, además si el suelo se encuentra bien o mal graduado mediante la obtención de los coeficientes de uniformidad ( $C_u$ ) ecuación 3.1 y de curvatura ( $C_c$ ) ecuación 3.2 los cuales se definen como sigue (Bowles, Joseph E., 1978):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (3.1)$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60}D_{10}} \quad (3.2)$$

$D_{60}$  = Tamaño tal, que el 60%, en peso, del suelo, sea igual o menor.

$D_{10}$  = Diámetro efectivo; es el tamaño tal que sea igual o menor que el 10 %, en peso, del suelo.

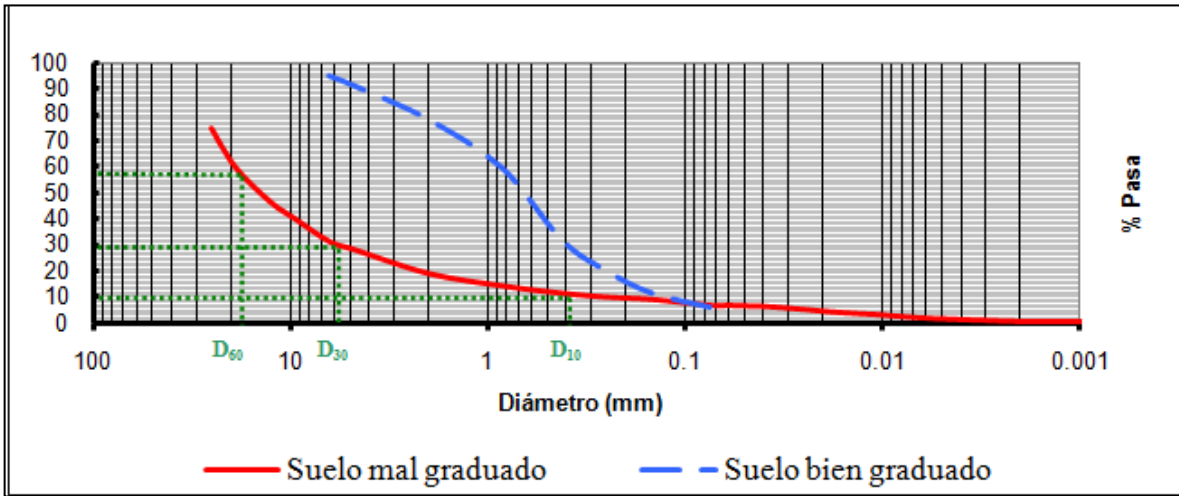
$D_{30}$  = Se define análogamente que los anteriores.

La tabla 3.1 muestra parámetros de comparación que nos permitirán conocer si un suelo se encuentra bien o mal graduado mediante la obtención de los coeficientes de uniformidad y curvatura (ver ejemplo de curvas resultantes en figura 3.5). Hay que hacer notar que si no se cumplen ambas condiciones se dice que es un suelo mal graduado.

**Tabla 3.1** Coeficientes de uniformidad y curvatura (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1989)

Clasificación	Coeficiente de uniformidad.	Coeficiente de Curvatura.
Arena bien graduada	$C_u \geq 6$	$1 \leq C_c \leq 3$
Grava bien graduada	$C_u \geq 4$	$1 \leq C_c \leq 3$





**Figura 3.5** Ejemplo de curvas para un suelo mal graduado y uno bien graduado. Obtención de  $D_{10}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{60}$ .

El análisis del hidrómetro es un método ampliamente utilizado para obtener un estimado de la distribución granulométrica de suelos cuyas partículas se encuentran desde el tamiz no. 200 (0.075 mm) hasta alrededor de 0.001 mm. Los datos se representan en gráfico semilogarítmico; cabe aclarar que la conducta de esta fracción de suelo cohesivo depende del tipo y porcentaje de arcilla de suelo presente, de su historia geológica y del contenido de agua más que de la distribución misma de los tamaños de partícula (Bowles, Joseph E., 1978).

Los tamaños menores del suelo exigen una investigación fundada en otros principios. El método del hidrómetro es hoy, quizá, el de uso más extendido y el único que se verá con cierto grado de detalle. El método se basa en el principio de sedimentación, debida a Stokes, el cual dice que la velocidad de sedimentación de partículas en un líquido es función de su tamaño (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1989).

### 3.2.1.1 Ley de Stokes.

La velocidad de sedimentación de las partículas en un líquido es función de su tamaño ecuación 3.3.



Esta ley es para partículas esféricas, por lo que es un método aproximado (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1989).

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_o}{18\eta} D^2 \quad (3.3)$$

$v$  = Velocidad de sedimentación de la esfera (cm/seg).

$\gamma_s$  = Peso específico de la esfera ( $\text{g/cm}^3$ ).

$\gamma_o$  = Peso específico del fluido ( $\text{g/cm}^3$ ), varía con la temperatura.

$\eta$  = Viscosidad del fluido ( $\text{g} \cdot \text{seg/cm}^2$ ), varía con la temperatura.

$D$  = Diámetro de la esfera (cm)

Además de la Ley de Stokes, se deben cumplir con las siguientes hipótesis (ASTM D 422-63, 1990):

Se supone que todas las partículas son esferas.

Al comienzo de la prueba la suspensión es uniforme.

La concentración agua-suelo es suficientemente baja para que las partículas no se interfieran al sedimentarse.

Es común el uso de un defloculante como el hexametáfosfato de sodio para evitar que se formen grumos y lograr que se sedimenten individualmente las partículas.

La Ley de Stokes aplicada a partículas de suelo real, que se sedimenten en agua, es válida solamente en tamaños menores de 0.2 mm, aproximadamente, ya que en tamaños mayores las turbulencias provocadas por el movimiento de la partícula alteran apreciablemente la ley de sedimentación; pero mayores que 0.2 micras, ya que debajo de este límite la partícula se afecta por el movimiento Browniano y no se sedimenta.

Para determinar el diámetro de la partícula en mm se usa la ecuación 3.4:

$$D = K \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (3.4)$$

L = Profundidad efectiva de caída (cm).

t = Tiempo transcurrido (min).

K = Constante para varias combinaciones de pesos unitarios y temperaturas (ver tabla anexa)

D = Diámetro de la partícula (mm).

### 3.2.2 Propiedades índice (ASTM D-4318, 2000)

Las propiedades índice realizadas fueron límite líquido, límite plástico, límite de contracción, contracción lineal e índice plástico según el procedimiento de A. Casagrande; es decir los ensayos fueron realizados en un material alterado, el cual se disgregó para cribarlo por la malla No. 40, se agregó agua hasta saturarlo, se dejó en reposo durante 24 horas para que se homogenizara y posteriormente fueron realizados los límites de consistencia (Determinación de la plasticidad del material).

Dependiendo de la cantidad de agua se pueden distinguir los siguientes estados de consistencia para un suelo (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1989):

Estado líquido. Cuenta con la apariencia y propiedades de una suspensión, se comporta como un fluido.

Estado semilíquido. Cuenta con la apariencia de un gel que se adhiere fácilmente a otras superficies, no es moldeable y no toma la forma del recipiente que lo contiene.

Estado plástico. El suelo se comporta plásticamente de acuerdo a la definición de plasticidad.

Estado semisólido. El suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto a secado.

Estado sólido. El volumen del suelo no varía con el secado.

Existen además las siguientes fronteras convencionales entre los estados de consistencia anteriormente mencionados:

- Límite líquido: se define como el porcentaje de humedad con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado semilíquido y plástico. De esta forma, los

suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte y según Atterberg corresponde a una resistencia de 25 g/cm<sup>2</sup>; para su determinación el material se coloca en la copa de Casagrande con una espátula, formando una masa aislada de un espesor de 1 cm en la parte de máxima profundidad, luego se divide utilizando un ranurador de dimensiones ya especificadas y se acciona la copa a razón de 2 golpes por segundo. En este caso la determinación del límite fue cuando se lograba que la ranura hecha se cerrara 13 mm a los 25 golpes; finalmente se coloca una muestra en una tara, se obtiene el peso húmedo, se lleva al horno durante 24 horas y se obtiene su peso seco.

– Límite plástico: es la humedad con respecto al peso seco de la muestra secada al horno para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado plástico a uno semisólido. Para la obtención del límite plástico, se formaron filamentos o rollitos de 3 mm con la palma de la mano y una superficie lisa; cuando al llegar a este diámetro los rollitos se agrietan se toma una muestra en una tara, se pesa y lleva a secar durante 24 horas y finalmente se obtiene el peso seco. La determinación de la humedad correspondiente al límite líquido y límite plástico se obtiene mediante la ecuación 3.5:

$$LLoLP(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (3.5)$$

Al límite líquido y el límite plástico, de manera conjunta se les denomina límites de plasticidad.

El límite de contracción volumétrica está definido, como el contenido de agua con el que el suelo ya no disminuye su volumen al seguir secándose. Refiriéndonos a un volumen de suelo totalmente seco, el límite de contracción sería la humedad de la muestra seca si tuviese sus vacíos llenos de agua.

La determinación del límite de contracción se realizó por el procedimiento de Casagrande, que consiste en llenar una capsula petri de volumen conocido, con suelo remoldeado hasta una consistencia cercana al límite líquido, medir el peso inicial y secarlo al horno para finalmente obtener su volumen y peso seco finales.

La determinación del volumen inicial y final, se realizó mediante el método de inmersión en mercurio; por lo que se obtuvo el peso del volumen desalojado y se dividió entre el peso específico de este material

Para la obtención del límite de contracción (LC) se utiliza la ecuación 3.6.

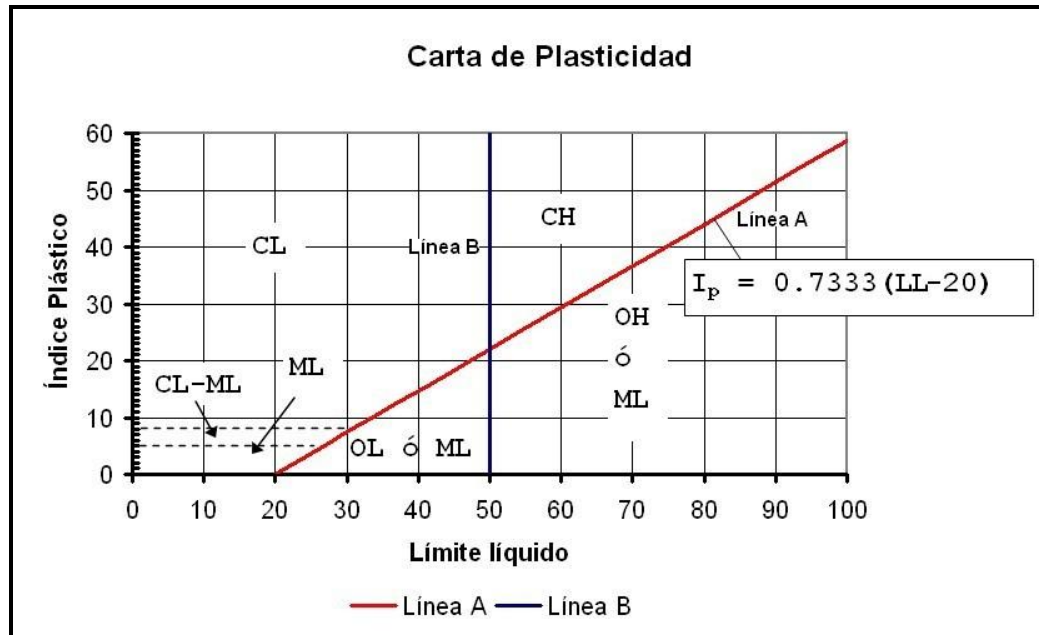
$$LC(\%) = \gamma_w \frac{W_{t+mh} - W_{t+ms} - V_i + V_f}{W_{t+ms} - W_f} \times 100 \quad (3.6)$$

La contracción lineal de un suelo es la reducción del volumen del mismo, medida en una de sus dimensiones, expresada como porcentaje de la dimensión original cuando el contenido de agua se reduce desde la del límite líquido hasta la que corresponde al límite de contracción. Para lo anterior, con el material que tenga la humedad correspondiente al límite líquido, se llena en tres capas una barra, metálica previamente lubricada, aplicando golpes suficientes entre capa y capa para hacer desaparecer las burbujas de aire, enrasa el molde con una espátula y se seca al horno para obtener la longitud final de la barra en estado seco. La contracción lineal se determina según la ecuación 3.7

$$LC(\%) = \gamma_w \frac{L_i - L_f}{L_i} \times 100 \quad (3.7)$$

Cabe señalar que tanto las cajas petri (para determinación de límite de contracción) como las barras metálicas (para la determinación de contracción lineal), fueron introducidas en la cámara de temperatura constante durante una semana para permitir su secado gradual y, posteriormente, fueron sometidas a secado en horno a 100°C durante 24 horas.

Con nuestros resultados de plasticidad se puede entrar a la carta de plasticidad en la figura 3.6 para ver qué tipo de suelo son nuestros finos



**Figura 3.6** Carta de plasticidad

Una vez que se cuenta con los valores de plasticidad y con los de la granulometría podemos hacer la Clasificación del suelo mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (ASTM D-2487,2007).

### 3.2.3 Densidad de sólidos (ASTM D-854,2002)

Se define como densidad de sólidos a la relación entre el peso específico de la materia que constituye las partículas del suelo y el peso específico del agua destilada a 4°C.

La densidad de sólidos se obtiene en la práctica como la relación entre el peso de los sólidos y el volumen de agua que desalojan a la temperatura ambiente. A este valor se le hace una corrección por temperatura.

La densidad de sólidos de la mayoría de las partículas minerales constituyentes de un suelo ( $S_s$ ) varía entre límites estrechos (2.60 a 2.90). Como ejemplo, el peso específico relativo, en algunas arcillas volcánicas, tal como sucede en el Valle de México, suelen encontrarse valores más bajos (entre 2.2 y 2.6).

Encontraremos entonces que es normal que en un suelo real los minerales de las fracciones muy fina y coloidal tengan su peso específico relativo mayor que los minerales de la fracción más gruesa.

Claro que en la mayoría de los casos prácticos basta determinar el valor promedio del peso específico relativo de la materia sólida.

Así que en este caso se encontrara el  $S_s$  del suelo puesto a prueba que por su procedencia debe encontrarse entre 2.2 a 2.6.

Para el manejo comprensible de las propiedades mecánicas de los suelos y el completo dominio de su significado e interpretación, es necesario conocer relaciones fundamentales, con información adicional, se obtendrán valores de las relaciones gravimétricas y volumétricas del suelo como las que se enlistan en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2** Relaciones volumétricas y gravimétricas (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1998)

<i>Relación</i>	<i>Expresión</i>	<i>Descripción</i>
Relación de vacíos.	$e = \frac{V_v}{V_s}$	Se denomina así a la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos de un suelo.
Porosidad.	$n = \frac{V_v}{V_m} \times 100$	Se llama así a la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de la masa de un suelo. Se expresa en porcentaje.
Grado de saturación.	$G_\omega = \frac{V_\omega}{V_v} \times 100$	Es la relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos de un suelo, el cual suele expresarse como un porcentaje.
Contenido de agua.	$\omega = \frac{W_\omega}{W_s} \times 100$	Es la relación entre el peso de agua contenido en el suelo y el peso de su fase sólida. Suele expresarse en porcentaje y varía teóricamente de cero a infinito.
Peso específico de la masa de suelo.	$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m} = \frac{W_s + W_\omega}{V_m}$	Se define como la relación entre el peso de la muestra y el volumen que ocupa la misma.
Peso específico seco.	$\gamma_d = \frac{W_s}{V_m}$	Es la relación entre el peso de los sólidos del suelo y el volumen de la muestra.
Peso específico relativo de los sólidos.	$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_o} = \frac{W_s}{V_s \gamma_o}$	Es la relación que existe entre el peso específico de sólidos de la muestra y el peso específico del agua ( $\gamma_o$ ). Este peso específico del agua corresponde a una temperatura de 4 <sup>º</sup> C y una densidad de 1 g/cm <sup>3</sup> .
Contenido volumétrico de agua.	$\theta = \frac{V_\omega}{V_m}$	Es la relación entre el volumen de agua y el volumen de la muestra.

### 3.2.3.1 Calibración del matraz

Se limpian ambos matraces con detergente y agua: posteriormente se secan con alcohol y un chifón de aire.

Se pesa e identifica uno de los dos matraces, el cual será utilizado como herramienta para determinar el peso específico relativo de sólidos (Ss) del material a analizar.

Llenar ambos matraces con agua hasta  $\frac{3}{4}$  de la altura del bulbo, posteriormente se pondrán a hervir los dos matraces hasta una temperatura de  $80^{\circ}\text{C}$  en un baño de agua dentro de un recipiente para evitar el contacto directo con el fuego.

Se colocan ambos matraces en una bomba de vacío, la cual tendrá la función de extraer todas las posibles burbujas de aire contenidas en el agua de los matraces. La bomba deberá estar en operación durante un lapso de 12 minutos por cada matraz (ver figura 3.7).



**Figura 3.7** Matraces de vidrio de 500 ml. al vacío para obtención de la densidad de sólidos

El matraz previamente identificado se llena con agua del otro matraz hasta 1 cm por debajo de la marca de aforo con cuidado de no introducir burbujas de aire. Se encenderá de nuevo la bomba de vacío por un lapso de aproximadamente 5 minutos y se dejan enfriar ambos matraces hasta que alcancen aproximadamente una temperatura de  $60^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ , esto se verificará con un termómetro de manera frecuente. Se afora el matraz y se seca perfectamente la superficie exterior y la superficie interior del cuello sobre el nivel del agua.

Se mide la temperatura en el centro del bulbo del matraz y  $2/3$  por debajo del cuello del matraz, si la diferencia de temperaturas es inferior a  $5^{\circ}\text{C}$  se consigna la temperatura y se vuelve a verificar el aforo, de lo contrario deberá homogeneizarse el agua contenida en el interior del matraz hasta cumplir con esta especificación. Una vez aforado el matraz se pesa ( $W_{fw}$ ).

Se continúa enfriando el matraz por debajo de su temperatura inicial y en cada decremento de  $5^{\circ}$ centígrados se repiten los dos pasos anteriores. Este proceso se iterará hasta que la temperatura dentro del matraz sea la del medio ambiente ( $20^{\circ}\text{C}$  aproximadamente). Los valores de peso del matraz lleno de agua ( $W_{fw}$ ) y las temperaturas registradas se consignarán y se obtendrá la curva de calibración (Fig.3.8).

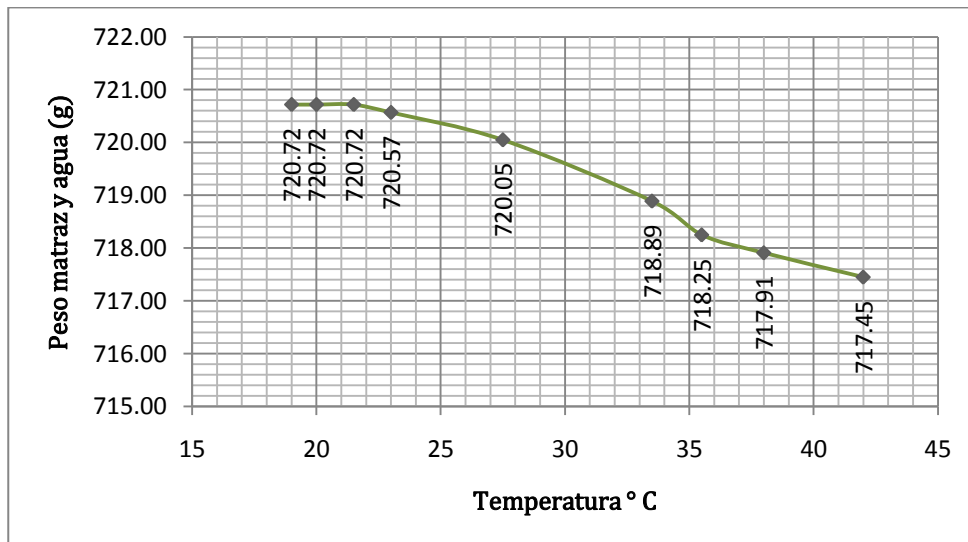


Figura 3.8 Curva de calibración del matraz.



En la tabla 3.3 se consignan los datos que se obtuvieron al llevar a cabo el procedimiento detallado en el párrafo anterior.

**Tabla 3.3** Datos obtenidos para la calibración del matraz.

<b>Temperatura 1</b>	<b>Temperatura 2</b>	<b>Temperatura Promedio</b>	<b>Peso matraz y agua aforado Wfw (g)</b>
<b>Centro °C</b>	<b>2/3 °C</b>	<b>°C</b>	
43	41	42.00	717.45
39	37	38.00	717.91
35.5	35.5	35.50	718.25
33.5	33.5	33.50	718.89
27.5	27.5	27.50	720.05
23	23	23.00	720.57
21.5	21.5	21.50	720.72
20	20	20.00	720.72
19	19	19.00	720.72

### 3.2.3.2 Determinación del peso específico relativo de sólidos

Se limpia el matraz calibrado y se vierte el material preparado. Esta operación debe realizarse con el mínimo de agua y con la debida precaución para no perder ni un miligramo de material.

Se agrega agua en el matraz calibrado hasta  $\frac{3}{4}$  de la altura del bulbo y se calientan ambos matraces hasta una temperatura aproximada de 80° C. No deberán colocarse ambos matraces directamente al fuego, sino en un baño de agua dentro de un recipiente.

Se hace vacío con la bomba en ambos matraces durante unos 15 minutos.

Se agrega agua en el matraz calibrado hasta 1 cm debajo de la marca de aforo y se hace vacío con la bomba que se opera durante 5 minutos, al mismo tiempo se agita para

lograr la homogeneización de la temperatura. Para homogeneizar la temperatura se puede utilizar una pipeta y extraer e introducir con ella, sin sacarla del matraz, el agua de la mezcla del matraz. El agua contenida en el matraz no calibrado deberá de utilizarse en los pasos siguientes para agregar agua y aforar el matraz calibrado.

Se afora el matraz y se seca perfectamente su superficie exterior y la superficie del interior del cuello sobre el nivel del agua.

Se mide la temperatura en medio del bulbo del matraz y 2/3 por debajo del cuello del matraz, sí la diferencia de temperaturas es inferior a 0.5° C se consigna y se vuelve a verificar el aforo, de lo contrario deberá homogeneizarse el agua contenida en el interior del matraz hasta cumplir con esta especificación.

Se pesa el matraz aforado con agua y suelo ( $W_{fsw}$ ), se consigna y se calcula el peso específico relativo de sólidos ( $S_s$ ) (figura 3.9).



**Figura 3.9** Peso de matraz con suelo y agua  $W_{fsw}$ .

Se calcula el peso específico relativo de sólidos ( $S_s$ ).

Con la ecuación necesaria para calcular  $S_s$  (ecuación 3.8) queda:

$$S_s = \alpha \frac{W_s}{W_{fw} + W_s - W_{fsw}} \quad (3.8)$$

Para obtención del peso específico relativo de sólidos es necesario que en la ecuación 3.8 se sustituya la ecuación 3.9:

$$\alpha = \frac{\gamma_T}{\gamma_{20}} \quad (3.9)$$

$\gamma_T$ : Peso específico del agua a la temperatura del ensayo.

$\gamma_{20}$ : Peso específico del agua a 20.0° C.

### 3.3 Compactación Proctor Estándar (ASTM D698 - 07e1, 2010)

Determina la densidad óptima del material para obtener la mayor resistencia y su humedad óptima del material. Los ensayos que se realizaron fueron en base a la prueba Proctor estándar, por lo que se trabajó con el material alterado cribado por la malla No. 4. El ensayo consiste en preparar varias muestras con diferentes humedades y dejarlas en reposo durante 24 horas con la finalidad de que la humedad se homogenice. Luego, el material ya homogenizado se compacta en el molde Proctor con extensión de peso y dimensiones especificadas en tres capas aproximadamente iguales aplicando a cada una 25 golpes con un pisón metálico de 2.5 kg que se deja caer desde una altura prefijada (30.5 cm). Una vez apisonada la última capa, se remueve la extensión del molde, se enrasa y pesa. A continuación se extrae la muestra compactada del cilindro y se obtiene un testigo de humedad de la parte central.

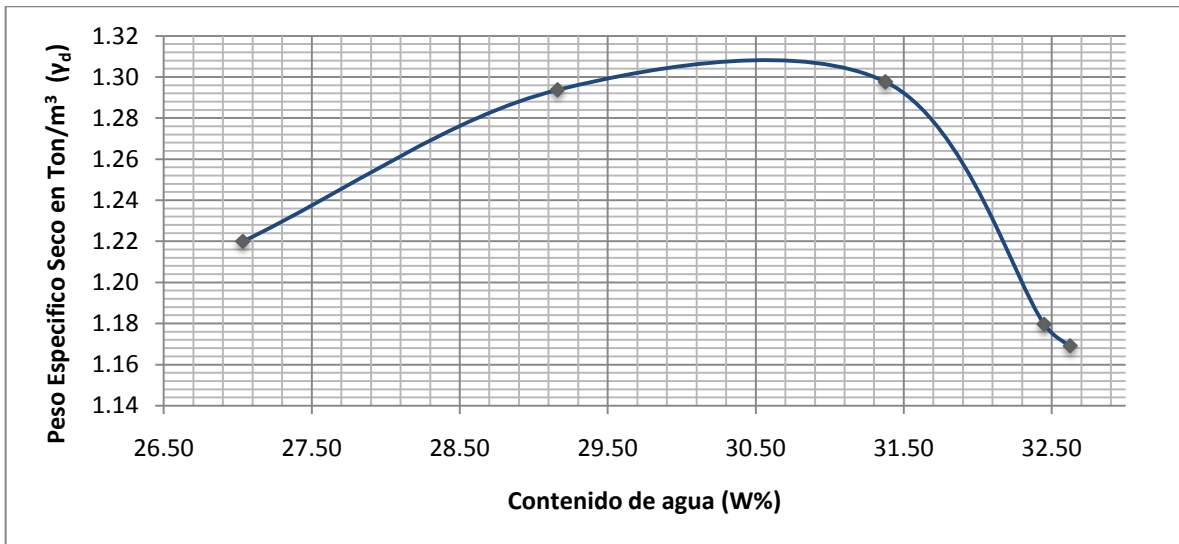
Para cada humedad se determina el peso volumétrico húmedo y seco con las ecuaciones 3.10 y 3.11 que se describen a continuación

$$\gamma_m = \frac{W_{mh}}{V_{mh}} \quad (3.10)$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1 + w} \quad (3.11)$$

Los pesos volumétricos secos y las humedades correspondientes se grafican en una curva el peso volumétrico seco-humedad, de la cual resulta aproximadamente una parábola donde los valores del punto máximo son los que permiten la mejor compactación del material y esos puntos serán la humedad óptima  $w_{opt}$  y el peso específico seco máximo  $\gamma_{dmax}$  al cual se deberán remoldear las probetas para todos los siguientes ensayos

En las curvas de compactación puede observarse que al principio el peso específico se incrementa al aumentar la humedad pero después –de cierta humedad- disminuye (figura 3.10). Así, los valores máximos definidos por la curva son considerados como el contenido de agua óptimo y peso específico seco máximo; son estas condiciones las que deben ser reproducidas en los bloques con la finalidad de lograr las mejores propiedades mecánicas del material



**Figura 3.10** Grafica de peso volumétrico vs. % de humedad

Debido a que en esta investigación el objetivo es encontrar la energía de compactación óptima para el material se aplicaron 4 energías diferentes a la de la Proctor

estándar encontradas gracias a la ecuación 3.12 en la que se vario el numero de capas que ya no fueron 3 sino 5 y también se fue incrementando el número de golpes por capa

$$Ee = \frac{N^0 \text{ capas} * N^0 \text{ golpes} * W_{pison} * h_{caida}}{V_{molde}} \quad (3.12)$$

### **3.4 Obtención de la permeabilidad y la resistencia a compresión simple para cada energía de compactación obtenida y para 5 diferentes tipos de sillar**

#### **3.4.1 Permeabilidad (ASTM D2434 – 68, 2006):**

Uno de los temas de interés en la mecánica de suelos es el estudio de agua a través de medios porosos como lo es el suelo, este fenómeno está gobernado por una ley descubierta por Henri Darcy en 1856. La investigación de Darcy consiste en las características del flujo a través de filtros utilizando materiales terrosos.

##### **3.4.1.1 Coeficiente de permeabilidad (Define la velocidad del agua a través del material).**

Es la velocidad del agua a través del suelo cuando está sujeta a un gradiente hidráulico unitario. En  $k$  se reflejan las propiedades físicas del suelo y en cierta medida ese valor indica la mayor o menor facilidad con que el agua fluye a través del suelo, estando sujeto a un gradiente hidráulico dado, (Juarez y Rico, 1963).

De la ecuación de continuidad, el gasto se expresa (ecuación 3.13):

$$Q = vA \quad (3.13)$$

Donde:

$Q$  = gasto en  $\text{cm}^3/\text{s}$ .

$A$  = Area de la sección transversal del conducto.

$v$  = Velocidad del flujo

Se deduce:

$$v = ki \quad (3.14)$$

$$i = \frac{h_1 - h_2}{L} \quad (3.15)$$

Trabajando con dispositivos de diseño especial, Darcy encontró que para velocidades suficientemente pequeñas, el gasto queda expresado por la ecuación 3.16

$$Q = \frac{dV}{dt} = kAi \quad (3.16)$$

Donde:

$k$  = coeficiente de permeabilidad.

$i$  = Gradiente hidráulico del flujo.

$h_1 - h_2$  = Es la pérdida de energía del flujo.

$L$  = longitud de la muestra.

$A$  representa el área total de la sección transversal del filtro e  $i$  es el gradiente hidráulico del flujo, medido con la expresión:

El gradiente hidráulico ( $i$ ) podemos definirlo como la pérdida de carga hidráulica que hay en dos puntos entre la longitud de recorrido del agua.

#### 3.4.1.2 Métodos para medir el coeficiente de permeabilidad del suelo.

Existen varios procedimientos para determinar la permeabilidad del suelo como son los directos e indirectos. El primer método son pruebas que miden directamente el coeficiente de permeabilidad, el segundo es la forma secundaria pues miden principalmente otros fines. Estos métodos se dividen de la siguiente manera:

- a) Directos:
  - 1. Permeámetro de carga constante
  - 2. Permeámetro de carga variable
  - 3. Prueba directa de los suelos en el lugar

- b) Indirectos:
  - 1. Calculo a partir de la curva granulométrica
  - 2. Calculo a partir de la prueba de consolidación
  - 3. Calculo con la prueba horizontal de capilaridad

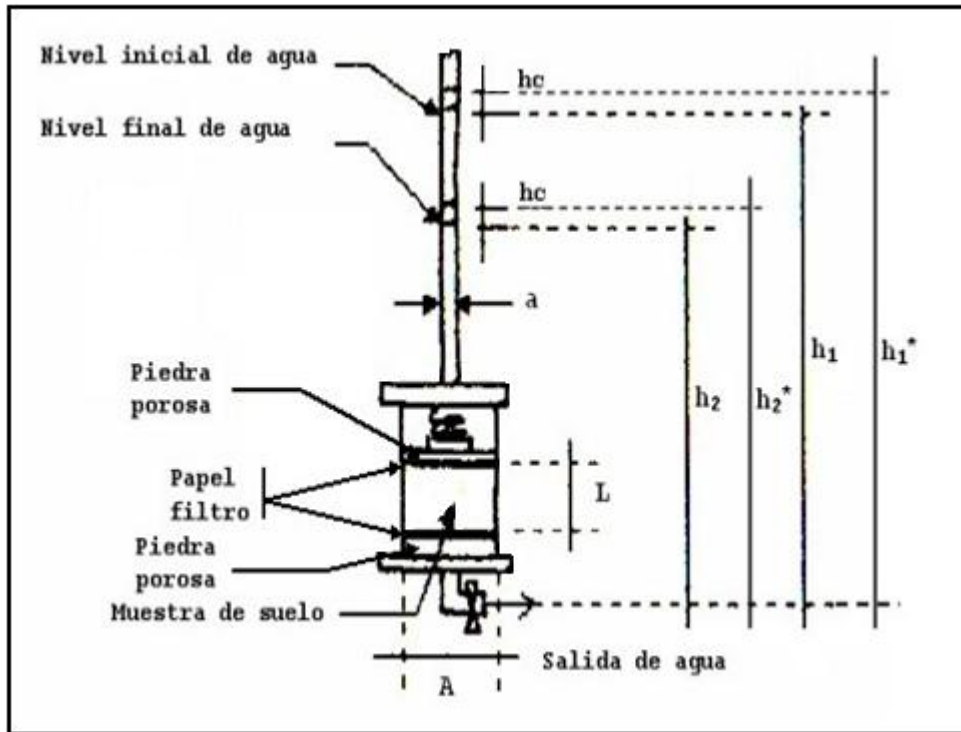
El método utilizado en esta investigación es el permeámetro de carga variable, para cada una de las energías de compactación en estudio, así como para las 5 muestras de sillar de la región.

#### 3.4.1.3 Método del permeámetro de carga variable

La diferencia  $h_1-h_2$  representa la pérdida de energía sufrida por el flujo en el desplazamiento  $L$ ; esa, la carga que actúa sobre el espécimen de prueba varía con el tiempo de prueba. Es necesario alimentar una sola vez con agua y no hay necesidad de mantener siempre el mismo nivel de entrada de agua.

Como se observa en la figura 3.11, la muestra de suelo de área transversal  $A$  y longitud  $L$ , confinada en un cilindro, se somete a una carga hidráulica inicial y se deja transcurrir cierto tiempo hasta llegar a una carga hidráulica final.

El agua fluye a través de la muestra, midiéndose el tiempo necesario para que el agua que hay en la bureta alimentadora pase de un nivel uno a un nivel dos.



**Figura 3.11** Esquema de un permeámetro de carga variable.

Aplicando la ley de Darcy en la figura A tenemos la ecuación 3.17

$$k = 2.3 \frac{L a}{t A} \log \frac{h_1}{h_2} \quad (3.17)$$

Donde:

- $L$  = Es la longitud de la trayectoria que sigue el agua dentro de la muestra (cm).
- $t$  = Es el tiempo transcurrido, en el cual el agua contenida en la bureta pasa de un nivel 1 a un nivel 2 (s).
- $h_1^*$  = Es la altura aparente inicial medida desde la válvula de salida al nivel inicial en la bureta (cm).
- $h_2^*$  = Es la altura aparente final medida desde la válvula de salida al nivel final en la bureta alimentadora (cm).
- $h_1$  = Es la carga hidráulica inicial igual a la diferencia del nivel de entrada de agua y el nivel de salida restándole la altura por ascensión capilar (cm).
- $h_2$  = Es la carga hidráulica final igual a la diferencia de los niveles de entrada y salida de agua sin considerar la ascensión capilar  $h_c$ . Esta carga se obtiene después de cronometrar cierto tiempo (cm).
- $A$  = Es el área transversal de la muestra (cm<sup>2</sup>).
- $a$  = Es el área transversal de la bureta de alimentación de agua (cm<sup>2</sup>).



$D_1$  = Es el diámetro del tubo capilar (cm).

La altura capilar  $h_c$  está dada en centímetros, es determinada con la ecuación 3.18

$$h_c = \frac{0.30}{D_1} \quad (3.18)$$

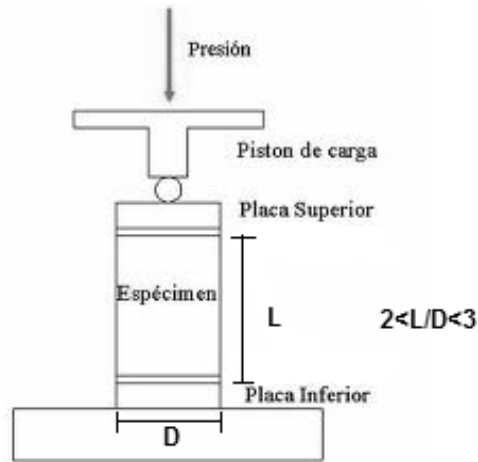
#### 3.4.2 Resistencia a compresión simple (Valor de resistencia del material) ASTM Standard D 2166, 2006.

En esta prueba se aplica únicamente carga vertical y podemos determinar la resistencia a la compresión no confinada ( $q_u$ ), de un cilindro de suelo cohesivo o semi-cohesivo

Este cálculo se basa en el hecho de que el esfuerzo principal menor es cero (ya que al suelo lo rodea sólo la presión atmosférica) y que el ángulo de fricción interna ( $\Phi$ ) del suelo se supone cero.

Debido a numerosos estudios, se ha hecho evidente que este ensayo generalmente no proporciona un valor bastante confiable de la resistencia al corte de un suelo cohesivo, debido a la pérdida de la restricción lateral provista por la masa de suelo, las condiciones internas del suelo como el grado de saturación o la presión de poros que no puede controlarse y la fricción en los extremos producidas por las placas de apoyo. Sin embargo, si los resultados se interpretan adecuadamente, reconociendo las deficiencias del ensayo, estos serán razonablemente confiables.

El método consiste en labrar o remoldear probetas cilíndricas, las cuales deben guardar una relación altura-diámetro de la probeta (relación de esbeltez) entre 2 y 3. Posteriormente, se toman sus dimensiones geométricas para obtener el volumen de la probeta y se somete a carga vertical (Figura 3.12), registrando las lecturas de carga aplicada a cada cierta deformación de la probeta, hasta llegar a la falla; finalmente se obtiene la humedad correspondiente.



**Figura 3.12** Esquema de ensayo de compresión simple

La deformación unitaria  $\varepsilon$ , se determina según la fórmula 3.19 y para obtener los esfuerzos instantáneos se emplea la ecuación 3.20

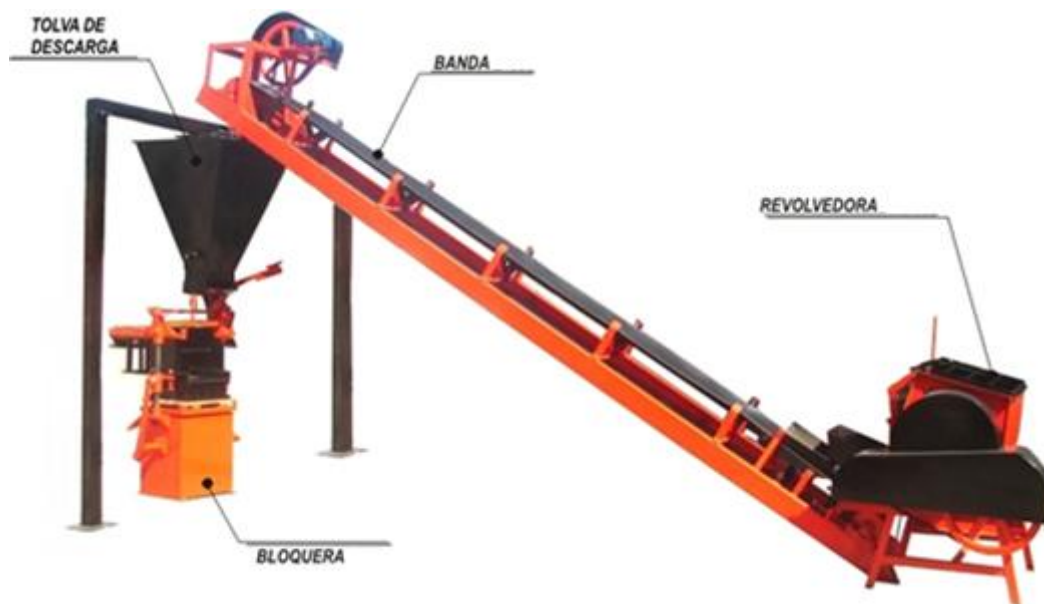
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{H_0} \quad (3.19)$$

$$\sigma = \frac{P}{A_0/(1-\varepsilon)} \quad (3.20)$$

El ensayo se realizó remoldeando 3 probetas para cada una de las 5 diferentes energías de compactación realizadas (humedad óptima y peso específico seco máximo) y todas las mezclas de tepetate con cementantes (cal y puzolana) a diferentes edades 7, 14, 30 y 60 días realizadas a lo largo de la investigación. Se sometieron a un proceso de curado de 3 días ya que este es el tiempo que tardan los tabiques normales y luego se almacenaron a temperatura ambiente para su ensayo. De igual manera para comparar resultados se realizó el ensayo a 3 probetas labradas de 5 muestras de diferentes sillares.

### 3.5 Elaboración de los blocks con el contenido optimo de cal y ceniza volante y remoldeados con la energía de compactación optima

Para la elaboración de los blocks fue necesario utilizar una bloquera como la que utilizan para hacer los tabiques de arena-cemento, la cual cuenta con una revolvedora donde se depositaron el tepetate con los cementantes y el contenido optimo de agua, una banda transportadora del material que lo descarga en una tolva que después es abierta para vaciar el material en los moldes con dimensiones especificas y ahí es compactado por una prensa como se muestra en la figura 3.13



**Figura 3.13** Esquema de funcionamiento de una bloquera comercial

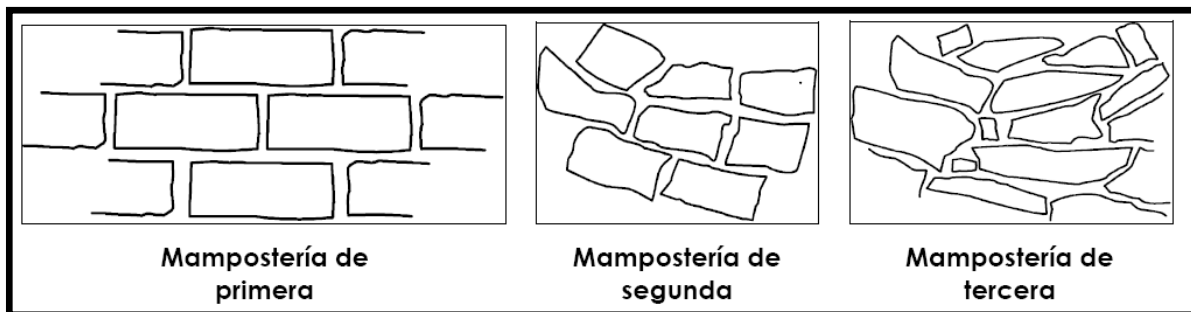
#### 3.5.1 Unidades o piezas

El componente principal de una mampostería es la unidad o pieza, cuyo origen puede ser natural o artificial.

### 3.5.1.1 Piedras naturales

Las piedras naturales se utilizan labradas o sin labrar. En México se distingue la siguiente clasificación de acuerdo a la forma de labrado de estas (Vasconcelos y Sánchez, 2003) (Figura 14):

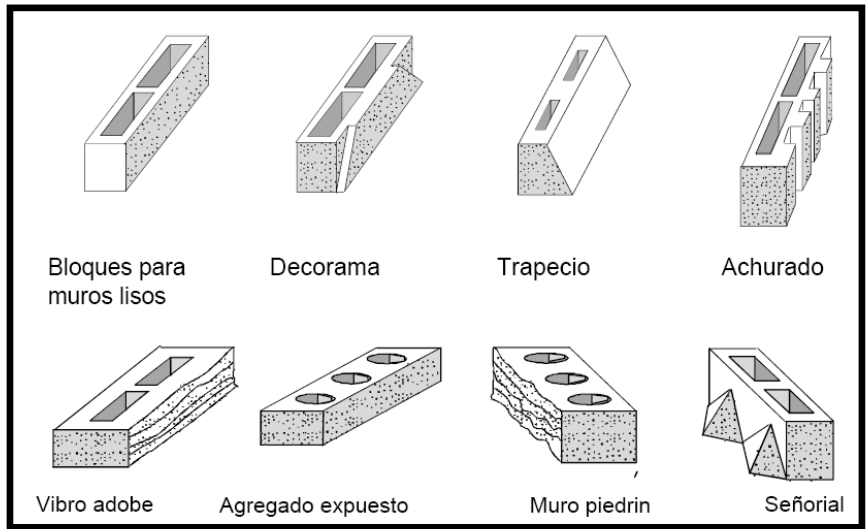
- a) Mampostería de primera. La piedra se labra en paralelepípedos regulares con su cara expuesta en forma rectangular. Las unidades de piedra de este tipo reciben el nombre de Sillares.
- b) Mampostería de segunda. La piedra se labra en paralelepípedos de forma variable siguiendo la configuración natural con que llega de la cantera.
- c) Mampostería de tercera. La piedra se utiliza con la forma irregular con la que se extrae de la cantera, aunque procurando que la cara expuesta se aproxima a plana.



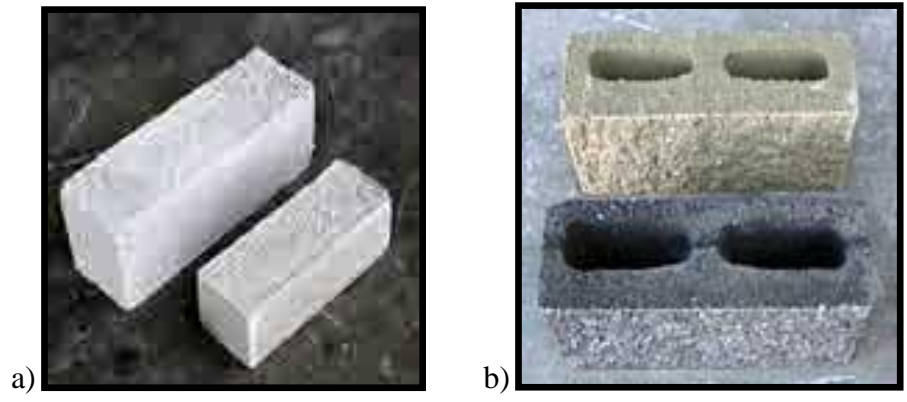
**Figura 3.14** Tipos de mampostería de piedras naturales (Vasconcelos y Sánchez, 2003).

### 3.5.1.2 Piedras artificiales

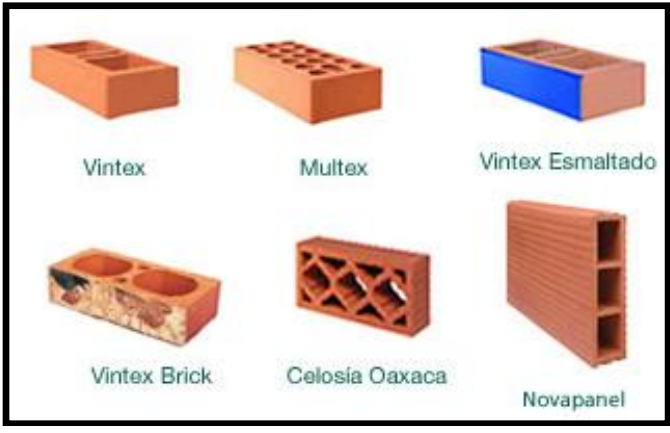
En la construcción se utiliza una gran variedad de piezas de mampostería elaboradas a partir de piedras artificiales. Estas difieren entre sí tanto de acuerdo a la materia prima utilizada, como según las características geométricas de la pieza y los procedimientos de fabricación aplicados a las materias primas más comunes, tales como el barro, el concreto, los agregados normales o ligeros, y la arena con cal (Vasconcelos y Sánchez, 2003) (Figuras 3.15, 3.16 y 3.17).



**Figura 3.15** Piezas en relieve para mampostería (Vasconcelos y Sánchez, 2003).



**Figura 3.16** Piezas de concreto a y b (Ramírez, 2004).



**Figura 3.17** Piezas de barro industrializadas.

Los procesos de fabricación de las piezas también son muy variados, abarcando desde la fabricación artesanal (Figura 3.18) como en el caso de los tabiques de barro cocido, hasta los procedimientos industrializados (Figura 3.19) como los de bloques de concreto y bloques de barro hueco.



**Figura 3.18** Fabricación artesanal de tabique de barro cocido (Ramírez, 2004).



**Figura 3.19** Fabricación industrializada de bloques de concreto.

La calidad que deben de tener las piezas utilizadas en México está determinada por las normas NMX, las cuales en realidad son recomendaciones, que se vuelven

obligatorias cuando en alguno de los reglamento se hace referencia a ellas. Dichas normas definen las piezas de la siguiente manera:

**Bloque:** Es un componente para uso estructural de forma prismática, que se obtiene por moldeo del concreto o de otros materiales, puede ser macizo o hueco (NMX-C-404-ONNCCE-2005).

**Tabique (ladrillo):** Es un componente para uso estructural, de forma prismática fabricado con arcillas comprimidas o extruídas, mediante un proceso de cocción o de otros materiales con procesos diferentes (NMX-C-404-ONNCCE-2005).

**Tabicón:** Es un componente macizo para uso estructural de forma prismática fabricado de concreto u otros materiales (NMX-C-404-ONNCCE-2005).

La Norma NMX-C-404-ONNCCE-2005 clasifica las piezas de mampostería como se muestra en la tabla 3.4:

**Tabla 3.4** Clasificación de piezas de acuerdo a los materiales empleados en su fabricación (NMX-C-404-ONNCCE-2005).

<b>Tipo de pieza</b>	<b>Materiales</b>	<b>Forma</b>
Bloque	Grava-cemento	Rectangular
	Arena-cemento	Rectangular
	Barro extruido	Rectangular
	Barro recocido	Rectangular
	Silico calcáreos	Rectangular
	Otros	Otras
Tabique (Ladrillo)	Barro recocido	Rectangular
Macizo	Barro extruido	Rectangular
Hueco	Otros (concreto)	Rectangular
Multiperforado		Otras
Tabicón	Grava-cemento	Rectangular
	Arena-cemento	Rectangular
	Tepojal-cemento	Rectangular
	Otros	Otras

Esta norma contempla dos tipos de piezas, huecas y macizas. Las primeras son aquellas con el área de las celdas no mayor del 25 % de su área total, y cuyas paredes

exteriores no tienen espesores menores de 20 mm; mientras que las segundas, son aquellas cuya área de las celdas es mayor del 25% del área total pero menor o igual del 50 % y cuyas paredes exteriores no tienen espesores menores de 15 mm.

La NMX-C-404-ONNCCE-2005, se refiere a las dimensiones para las piezas de mampostería, separándolas en bloques de concreto, tabiques de barro y tabicones. Dichas dimensiones incluyen la junta de albañilería (Tabla 3.5).

**Tabla 3.5** Dimensiones nominales de piezas de mampostería.

<b>Tipo de pieza</b>	<b>Especificación y tolerancia</b>	
	<b>Tipo de block (cm)</b>	<b>Espesor mínimo de paredes exteriores ( mm )</b>
<i>Dimensiones para bloques de concreto lisos de dos ó tres celdas</i>	10 x 20 x 40 12 x 20 x 40 15 x 20 x 40 20 x 20 x 40 25 x 30 x 40 30 x 30 x 40	20 20 25 32 35 38
<i>Dimensiones para bloques multiperforados de concreto lisos</i>	Son piezas de 8 ó más perforaciones o alvéolos y cuyas perforaciones sean de las mismas dimensiones, y además su distribución sea uniforme. Los espesores de paredes exteriores deben ser de 15 mm como mínimo. El espesor mínimo de las paredes interiores debe ser de 10 mm. Las tolerancias en las dimensiones de las piezas son de $\pm 3$ mm en la altura y $\pm 2$ mm en el largo y ancho	
<i>Dimensiones para bloques de concreto con acabado rústico</i>	Son piezas de concreto que tienen las mismas dimensiones que los bloques lisos, pero en este tipo de piezas se debe cuidar que la cara rústica no presente en alguna parte un espesor menor a lo que se especifica para bloques lisos. Las tolerancias en las dimensiones de las piezas son de $\pm 3$ mm en la altura y $\pm 2$ mm en el largo.	
<i>Dimensiones para tabiques de barro (ladrillos)</i>	Las dimensiones nominales mínimas deben cumplir con las siguientes medidas: 5 cm de alto, 10 cm de ancho y 19 cm de largo con una tolerancia de $\pm 3$ mm en cualquier dimensión, sin incluir la junta de albañilería. El área neta de piezas huecas debe ser de por lo menos del 50% del área total. Para piezas huecas con 2 y hasta 4 celdas el espesor mínimo de las paredes exteriores debe ser de 20 mm y el espesor mínimo de las paredes interiores es de 13 mm. Para piezas multiperforadas y cuyas celdas sean de las mismas dimensiones y cuya distribución sea uniforme, el espesor mínimo de las paredes exteriores deben ser de 15 mm y el espesor mínimo de las paredes interiores debe ser de 7 mm	
<i>Dimensiones para tabicones</i>	Las dimensiones nominales mínimas de las piezas deben cumplir con las siguientes medidas: Alto 6 cm, ancho 10 cm y largo 24 cm. Las tolerancias en las dimensiones de las piezas deben ser de $\pm 3$ mm en la altura, y $\pm 2$ mm en el largo y ancho.	



### 1.1.1. Dimensiones de las piezas (cm)

Las dimensiones nominales de las piezas deben cumplir con la norma mexicana NMX-C-038 vigente, la cual establece las dimensiones de ladrillos y bloques para la construcción. En la figura 3.20 se muestran 18 piezas fabricadas con el contenido óptimo de cal y ceniza volante, así como con su energía de compactación óptima.

En la NMX-C-404-ONNCCE-2005, se establecen las dimensiones nominales mínimas con las que se debe cumplir:

*Dimensiones para tabicones:* Las dimensiones nominales mínimas de las piezas deben cumplir con las siguientes medidas: Alto 6 cm, ancho 10 cm y largo 24 cm. Las tolerancias en variación de las dimensiones de las piezas deben ser de  $\pm 3$  mm en la altura, y  $\pm 2$  mm en el largo y ancho.



**Figura 3.20** Tabicones ensayados.

### 1.1.2. Resistencia a la compresión ( $f_p$ ) ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

La resistencia a la compresión se obtuvo de acuerdo a la NMX-C-036 vigente que especifica el método de prueba para determinar la resistencia a la compresión de ladrillos, bloques, tabicones y adoquines de concreto.

Para medir la resistencia del tabicón se seleccionaron 5 piezas, para el ensaye de los sillares, fueron cortadas 5 piezas por muestra de sillar a dimensiones semejantes de los tabicones fabricados en molde (Figura 3.22). Los ensayes se llevaron a cabo en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. En la Figura 3.21 se muestra un ejemplo de los ensayes de las piezas sometidas a compresión.



**Figura 3.21** Ensaye a compresión de tabicones. **Figura 3.22** Corte de sillares a tamaño de tabicón

La resistencia de diseño se calculó de acuerdo a la ecuación 3.21

$$f_p^* = \frac{\bar{f}_p}{1+2.5c_p} \quad (3.21)$$

Donde:

$\bar{f}_p$  - Media de la resistencia a compresión de las piezas, referida a su área bruta;

$c_p$  - Coeficiente de variación de la resistencia a compresión de las piezas.

### 3.5.2 Prueba a Flexión o Modulo de Ruptura ( $f_r$ ) ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

El módulo de ruptura se define como el máximo esfuerzo de tensión o compresión en la fibra extrema del material ensayado a flexión. La norma ASTM C67-2011, establece el método de prueba para el ensayo de las piezas de mampostería a flexión (Tena 2004). Esta prueba mide la resistencia de los tabiques a la tensión. En la Figura 3.23 se muestra el ensaye típico de ruptura.

El módulo de ruptura se obtiene de la fórmula de flexión, según la Ecuación 3.22.

$$f_r = \frac{My}{I} = \frac{3 PL}{2 bt^2} \quad (3.22)$$

Donde:

$$M = \frac{PL}{4} .$$



**Figura 3.23** Prueba para determinar el modulo de ruptura.

El módulo de ruptura se revisó de acuerdo a los valores mínimos que especifica la NMX-C-404-ONNCCE-1997, ensayado con el método de prueba especificado por la norma ASTM C67 -91 (Tena 2004) en ausencia de norma mexicana para esta propiedad.

### 1.1.3. Absorción Máxima a 24 hrs (%)

De acuerdo a la norma NMX-C-404-ONNCCE-2005 y NMX-C-037-ONNCCE-2005, las piezas de mampostería deben cumplir con los valores de absorción máxima de agua que para el caso del tabicón marca un 15%. En la Figura 3.21 se muestran los especímenes en condición de saturación.

La absorción máxima de agua durante 24 horas, se calculó de acuerdo a la Ecuación 3.23.

$$\text{Absorción} = \frac{W_{24h} - W_s}{W_s} \times 100 \quad (3.23)$$

Donde:

$W_{24h}$  - Peso del agua absorbida después de 24 horas de inmersión en agua fría;

$W_s$  - Peso seco de la pieza.



**Figura 3.24** Especímenes en saturación por 24 horas en agua fría.

### **3.6 Caracterización Físicoquímica de los materiales**

#### **3.6.1 Fluorescencia de Rayos x**

La Fluorescencia de rayos-X radica en la existencia de un sistema atómico con distintos niveles de energía y las posibles transiciones electrónicas entre ellos.

La base de la técnica analítica de la Fluorescencia de rayos-X por dispersión en longitud de onda es la medida de la energía de la radiación emitida en éstas transiciones energéticas y es conocida como fluorescencia de rayos-X.

El fenómeno de fluorescencia de rayos-X se puede describir en dos etapas: excitación y emisión.

##### **a) Excitación**

Si se considera un sistema en su estado fundamental, es decir de menor energía, al aplicarse una energía de una magnitud suficiente, ésta puede ser absorbida por el sistema, pasando éste a un estado de mayor energía o estado excitado debido a la salida de electrones del átomo.

A la excitación producida por rayos X que provienen del tubo de rayos-X, se le llama radiación primaria o fotones de rayos-X primarios.

##### **b) Emisión**

Los estados excitados son inestables, y el átomo tiende a volver a su estado fundamental, para lo cual se producen saltos de electrones desde los niveles más externos hacia los niveles más internos, para ocupar los huecos producidos. Este proceso produce desprendimiento de energía en forma de radiación de rayos-X secundaria llamada fluorescencia de rayos-X.

Para esta prueba se sometieron a fluorescencia de rayos x los materiales de los tabicones por separado (tepetate, cal, ceniza volante) y en reacción a diferentes edades de 7, 15 y 30 días para poder ver los elementos con los que cuenta cada uno y así poder tener

una mejor interpretación de la difracción de rayos X en sus minerales, además de los 5 sillares en estudio

### 3.6.2 Difracción de Rayos x

De las diversas aplicaciones de la difracción de rayos X, la que se emplea con más frecuencia en la identificación de sustancias minerales, es el denominado método del polvo cristalino. En este método la muestra ha sido finamente pulverizada, por lo que, en teoría, hay partículas cristalinas con sus planos reticulares en todas las direcciones posibles. En la práctica la muestra molida a tamaño fino se coloca en un portamuestras y se introduce en un aparato denominado difractómetro de rayos X, donde la muestra se somete a la acción de la radiación que incide de forma continua con distintos ángulos. El esquema de un resultado es un espectro denominado difractograma, donde se recogen una serie de picos que en la escala horizontal muestra el ángulo  $2\theta$  y en la vertical la intensidad del pico difractado. Conociendo la longitud de onda de los rayos X ( $\lambda$ ) y el valor del ángulo de difracción ( $\theta$ ), medido como  $2\theta$  en el difractograma, es muy fácil calcular el valor del espaciado ( $d$ ); bien mediante la ecuación de Bragg (ecuación 3.24) o utilizando tablas de conversión de ángulo a espaciado ya preparadas a tal efecto (Pozo Rodríguez et al., 2004)

El material amorfo no es detectado y se basa en la Ley de Bragg:

$$n \lambda = 2d \sin \theta \quad (3.24)$$

En donde,  $\lambda$  es la longitud de onda de la radiación electromagnética empleada, para los rayos X se usó una fuente de Cu ( $K\alpha$ );  $d$  es la distancia interplanar de los cristales,  $\theta$  es el ángulo de incidencia con los planos y  $n$  es un número entero igual o mayor a 1.

En primer lugar se destaca que por esta técnica no se detectara la componente amorfa de una muestra, además de que su límite de detección depende de la concentración de muestra cristalina irradiada (límite de detección  $\sim 1\%$ ). Se sometieron a prueba de difracción de rayos X los 5 sillares, así como el material compuesto para formar los tabicones para poder encontrar sus minerales y poder explicar el comportamiento de dichos materiales

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Selección del banco de material

El trabajo fue realizado en la ciudad de Santiago de Querétaro, (Querétaro, México). Ubicado con las coordenadas geográficas de latitud igual a 20°35'15"N, longitud 100°23'34"W y con una altitud media sobre el nivel del mar de 1820 m. Para el presente proyecto se compararon 10 bancos de tepetate existentes en la periferia del cono urbano de la zona norte, suroeste y sureste, específicamente en los lugares conocidos como Tlacote (T), Jurica (J), Conín (C), el Batán y el Jaral (López-Lara et al., 2010).

De todos los bancos clasificados en la ciudad de Santiago de Querétaro se analizó y selecciono el banco de tepetate con menor permeabilidad, menor contenido de gravas, plasticidad nula y mayor resistencia a la compresión simple (Tabla 4.1).

**Tabla 4.1** Caracterización Geotécnica de los Bancos de Tepetate de la región de Querétaro, Qro (López-Lara et al., 2010)

Granulometría del sitio				Valores Promedio de Límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP)			Valores promedio de Resistencia a compresión simple (qu).		Coefficiente De permeabilidad (k).
Sitio	Gravas (%)	Arenas (%)	Finos (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	qu(MPa)	k (m/s)
T1	1.28	69.65	29.06	NP	NP	NP	1.06	0.104	4.91x10 <sup>-7</sup>
T2	0.23	28.11	71.66	47.4	34.9	12.5	2.07	0.203	NP
Mompani	3.28	82.4	14.32	NP	NP	NP	1.4	0.137	3.91x10 <sup>-7</sup>
J1	9.13	70.1	20.72	NP	NP	NP	0.94	0.092	5.24x10 <sup>-9</sup>
J2	10.2	69.13	20.67	NP	NP	NP	1	0.098	1.33x10 <sup>-7</sup>
C1	16.352	66.613	17.035	NP	NP	NP	0.68	0.067	8.32x10 <sup>-6</sup>
C2	1.793	71.099	27.107	NP	NP	NP	0.5	0.049	9.22x10 <sup>-7</sup>
C3	5.254	76.515	18.232	NP	NP	NP	0.87	0.085	1.36x10 <sup>-6</sup>
Jaral	0	72.826	27.174	73.2	41.4	31.8	0.92	0.09	4.15x10 <sup>-8</sup>
Batán	4.028	7.418	88.555	NP	NP	NP	7.64	0.749	2.64x10 <sup>-8</sup>
NP-No se pudo determinar									

El banco que cumplió con dichas expectativas se conoce como “Mompaní” (ver figura 3.1), ubicado con las coordenadas geográficas de latitud 20°39'6.90"N, longitud 100°28'29.61"O y con una altitud media sobre el nivel del mar de 1905 m, el cual es un material color caqui (khaki – #FFF0E68C tabla de colores código html) en su estado seco, mientras que en su estado mojado tiene un color marrón (maroon – #FF800000 tabla de colores código html).

## 4.2 Caracterización Geotécnica del Suelo Seleccionado

### 4.2.1 Propiedades de Plasticidad, Granulometría Vía Seca, Vía Húmeda y Clasificación del Suelo.

En la tabla 4.2 se muestran las diversas propiedades de plasticidad, granulometría, los resultados de la prueba Proctor estándar, su respectiva densidad de sólidos y su clasificación del suelo.

**Tabla 4.2** Propiedades del suelo seleccionado

<b>Propiedad</b>	<b>Valor,Unidad</b>	<b>Propiedad</b>	<b>Valor,</b>	<b>Unidad</b>
Índice Plástico	1.07%	Arena		45.53%
Limite plástico	31.37%	Finos		32.36%
Limite Liquido	32.44%	Contenido óptimo de humedad		30.25%
Limite de Contracción	32.63%	Peso específico seco máximo	1300 kg/m <sup>3</sup>	12.747 KN/m <sup>3</sup>
Contracción Lineal	0.0%	Densidad de sólidos		2.44
Grava	22.11%	Superficie específica		41.59 m <sup>2</sup> /gr

Como podemos observar en los resultados que se muestran en la tabla 4.2 los valores de la caracterización geotécnica del banco de tepetate han cambiado del año 2010 (tabla 4.1) al año 2011 (tabla 4.2), debido a que el banco fue explotado durante un año y ya estamos estudiando otro estrato de suelo más profundo (15m), los resultados nos indican que el suelo es una arena limosa (SM) según el sistema unificado de clasificación de suelos.



### 4.3 Realización de la Prueba Proctor con Diferentes Energías de Compactación

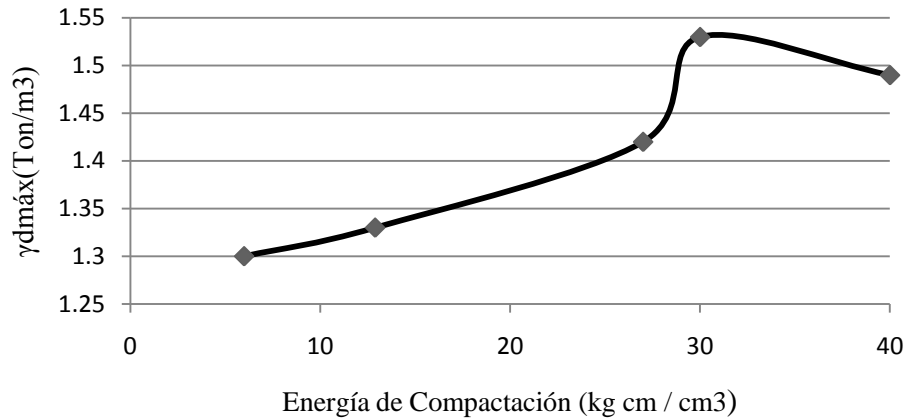
La tabla 4.3 muestra los valores del peso específico seco máximo y contenido de humedad óptimo obtenido de la prueba Proctor modificada (ASTM D1557, 2009), utilizando diferentes energías de compactación para obtener la energía óptima de compactación, para todas las pruebas las gravas fueron retiradas.

**Tabla 4.3** Resultados de la prueba proctor a diferentes energías de compactación (Ee).

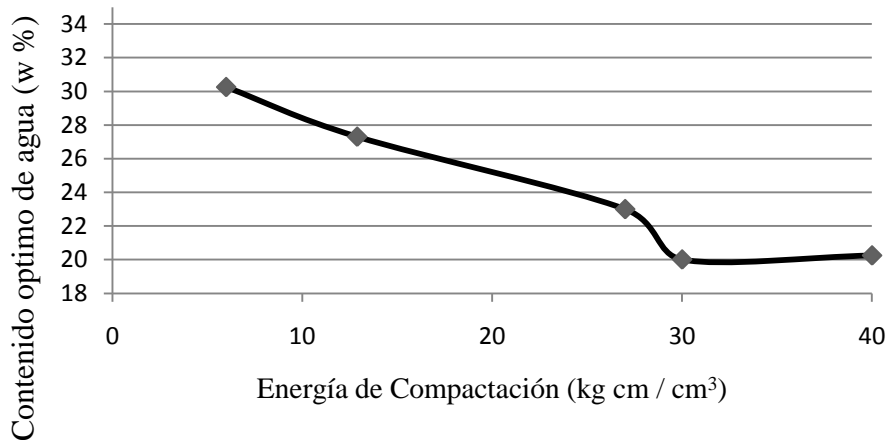
	Peso específico seco máximo ( $\gamma_d$ máx) (Ton/m <sup>3</sup> ) (KN/m <sup>3</sup> )		Contenido óptimo de agua (w %)
Proctor estándar con energía de compactación (Ee)= 5.99 kg cm/cm <sup>3</sup>	1.3	12.7478	30.25
Proctor con energía de compactación (Ee)= 12.89 kg cm/cm <sup>3</sup>	1.33	13.04198	27.3
Proctor modificada con energía de compactación (Ee)= 27 kg cm/cm <sup>3</sup>	1.42	13.92452	23
Proctor con energía de compactación (Ee)= 30 kg cm/cm <sup>3</sup>	1.53	15.00318	20.01
Proctor con energía de compactación (Ee)= 40 kg cm/cm <sup>3</sup>	1.49	14.61094	20.25

Los resultados que se muestran en la tabla 4.3 nos indican que la energía de compactación (Ee) óptima es la de 30 kg-cm/cm<sup>3</sup> debido a que con esta energía se obtuvo el mayor peso específico de sólidos (1.53 kg/cm<sup>3</sup>) y el menor contenido de agua (20.01 %).

La Ee de 40 kg-cm/cm<sup>3</sup> ya es una energía tan grande que fractura nuestra muestra y es por eso que nos da un menor peso específico de sólidos (Figura 4.1) y mayor contenido de agua respecto de la Ee de 30 kg-cm/cm<sup>3</sup> (Figura 4.2).



**Figura 4.1** Pruebas Proctor a diferentes energías de compactación



**Figura 4.2** Pruebas Proctor a diferentes energías de compactación

#### **4.4 Obtención de la permeabilidad (carga variable) y la resistencia a compresión simple para cada energía de compactación obtenida**

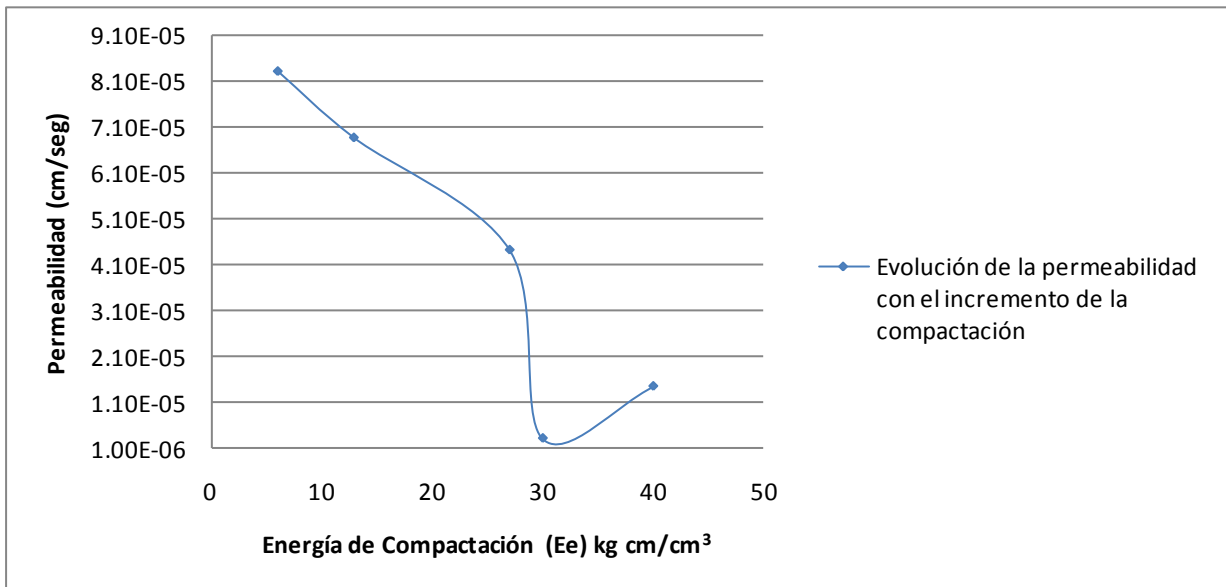
Para la determinación de la resistencia a la compresión simple se preparó material para cada una de las energías de compactación (humedad óptima y peso específico seco máximo). El material preparado se compactó y se fabricaron un mínimo de 3 probetas de suelo remoldeado por energía. La tabla 4.4 muestra los valores obtenidos para la permeabilidad por el método de carga variable (ASTM D2434 – 68, 2006) y para la resistencia a la compresión simple.

**Tabla 4.4** Resultados de la prueba de permeabilidad (carga variable) y compresión simple para cada una de las diferentes energías de compactación (Ee)

	Permeabilidad (cm/seg)	Compresión Simple (kg/cm <sup>2</sup> ) (MPa)	
Proctor estandar con energía de compactación (Ee)= 5.99 kg cm/cm <sup>3</sup>	8.31 X 10 <sup>-5</sup>	0.9861	0.0967
Proctor con energía de compactación (Ee)= 12.89 kg cm/cm <sup>3</sup>	6.87 X 10 <sup>-5</sup>	1.245	0.1221
Proctor modificada con energía de compactación (Ee)= 27 kg cm/cm <sup>3</sup>	4.42 X 10 <sup>-5</sup>	2.335	0.2290
Proctor con energía de compactación (Ee)= 30 kg cm/cm <sup>3</sup>	3.08 X 10 <sup>-6</sup>	5.945	0.5830
Proctor con energía de compactación(Ee)= 40 kg cm/cm <sup>3</sup>	1.44 X 10 <sup>-5</sup>	<u>NP</u>	<u>NP</u>

.NP-No se pudo determinar

Los resultados que se muestran en la tabla 4.4 nos corroboran que la energía de compactación (Ee) de 30 kg-cm/cm<sup>3</sup> es la optima debido a que con esta energía de compactación se obtuvo la mayor resistencia a la compresión simple (5.9 kg/cm<sup>2</sup>) y la menor permeabilidad (3.08 X 10<sup>-6</sup> cm/seg) (Figura 4.3), la energía de 40 kg-cm/cm<sup>3</sup> provoca fallas en la estructura por lo que no permite obtener probetas del molde por lo que no se pudo obtener su resistencia a la compresión simple.



**Figura 4.3** Evolución de la permeabilidad con el incremento de la energía de compactación.

Para la prueba de permeabilidad se utilizó el permeámetro de carga variable (Figura 4.4) debido a que este procedimiento se usa para materiales finos como arcillas y limos, así como también para suelos con contenidos superiores al 10% de finos y el Tepetate en estudio tiene un porcentaje de finos del 32% (ASTM D2434 – 68, 2006).

Conforme aumenta la energía de compactación disminuye la permeabilidad, esto es debido a que existe un mejor acomodo de las partículas y es más lento el flujo del agua entre ellas, pero al exceder la máxima energía admisible de compactación del suelo, la muestra se fractura ocasionando grietas entre su estructura provocando el flujo del agua y aumentando su permeabilidad.



**Figura 4.4** Permeámetro de carga variable

#### 4.5 Determinación de las propiedades mecánicas a diferentes contenidos del material cementante con el tepetate para observar su evolución.

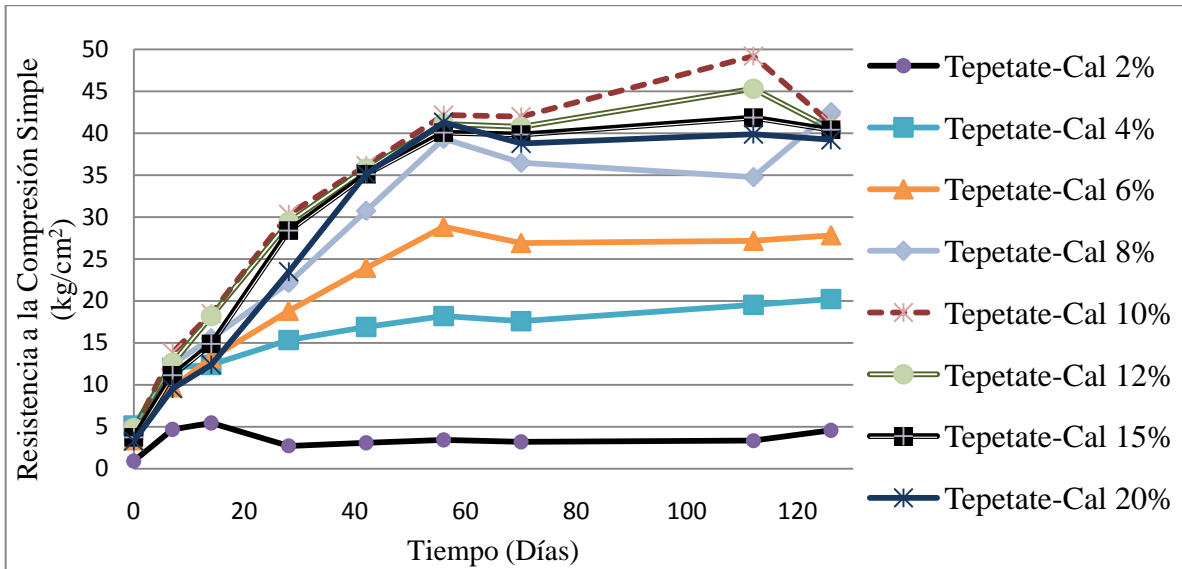
##### 4.5.1 Tepetate con cal + energía de compactación (30 kg cm/cm<sup>3</sup>)

Se reprodujeron probetas con la energía de compactación de 30 kg cm / cm<sup>3</sup>, también se les agrego diferentes contenidos de cal que van desde el 2 hasta el 20 % sobre el peso seco y a diferentes edades de curado como se muestra en la tabla 4.5 y figura 4.5 (Ramírez Sánchez, 2012) para ensayarlas a compresión simple y obtener el contenido optimo de cementante.

Refiriéndonos a curado al hecho de que una vez elaboradas la muestras se dejaron envueltas en bolsas de plástico de manera que no se permitió que perdieran humedad.

**Tabla 4.5** Compresión simple del material tepetate-cal con curado constante.

Resistencia Material (kg/cm <sup>2</sup> )	Edades (días)								
	0	7	14	28	42	56	70	112	126
<b>Tepetate-Cal 2%</b>	0.91	4.68	5.45	2.71	3.07	3.43	3.19	3.33	4.56
<b>Tepetate-Cal 4%</b>	5.12	12.00	12.38	15.33	16.89	18.19	17.58	19.54	20.23
<b>Tepetate-Cal 6%</b>	3.38	9.70	13.18	18.82	23.94	28.83	26.91	27.17	27.83
<b>Tepetate-Cal 8%</b>	3.88	12.46	15.53	22.15	30.75	39.34	36.48	34.77	42.52
<b>Tepetate-Cal 10%</b>	4.50	13.85	18.51	30.32	36.13	42.17	41.98	49.20	41.17
<b>Tepetate-Cal 12%</b>	4.83	12.60	18.20	29.40	35.80	41.12	40.76	45.31	40.52
<b>Tepetate-Cal 15%</b>	3.72	11.12	14.87	28.40	35.10	40.08	39.84	41.85	40.41
<b>Tepetate-Cal 20%</b>	3.29	9.53	12.40	23.48	35.16	41.31	38.79	39.88	39.22



**Figura 4.5** Evolución del tepetate con la cal en el tiempo con curado constante

Como podemos observar en la figura 4.5 el contenido óptimo de cal es el 10% ya que es el que nos proporciona la mayor resistencia a la compresión simple que es de 49 kg/cm<sup>2</sup>.

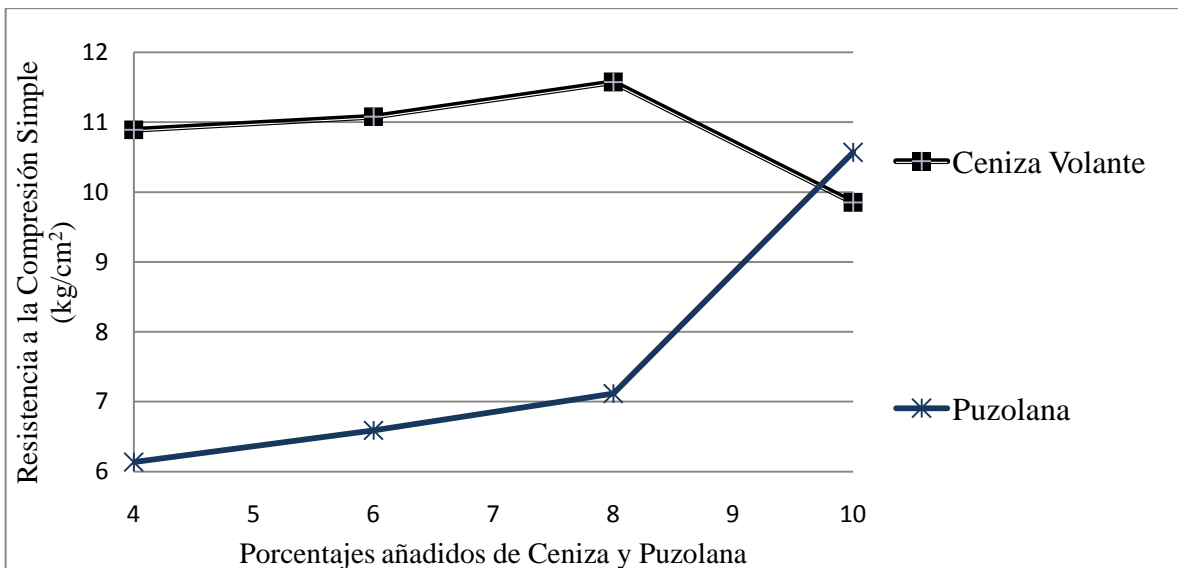
Vale la pena recalcar que los resultados de la tabla 4.5 y figura 4.5 son de muestras remoldeadas, las cuales una vez elaboradas se colocaron en bolsas para evitar que perdieran su contenido de agua.

#### 4.5.2 Tepetate con ceniza volante y puzolana + energía de compactación (30kg cm/cm<sup>3</sup>) para estudio por separado

Así mismo se reprodujeron probetas con la energía de compactación de 30 kg cm / cm<sup>3</sup> y se les agrego diferentes contenidos de ceniza volante y de puzolana que van desde el 4 hasta el 10 % sobre el peso seco a 30 días de edad como se muestra en la tabla 4.6 y figura 4.6 para obtener el contenido que nos proporciona la máxima resistencia de ceniza volante y puzolana a mezclar con la cal y el tepetate.

**Tabla 4.6** Compresión simple del material tepetate-puzolana y tepetate-ceniza volante.

	Compresión Simple (kg/cm <sup>2</sup> ) (MPa)	
Proctor con energía de compactación(Ee)= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> con 4% ceniza volante	10.891	1.068
Proctor con energía de compactación(Ee)= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> con 6% ceniza volante	11.078	1.086
Proctor con energía de compactación(Ee)= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> con 8% ceniza volante	11.576	1.135
Proctor con energía de compactación(Ee)= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> con 10% ceniza volante	9.853	0.966
Proctor con energía de compactación(Ee)= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> con 4% puzolana	6.137	0.601
Proctor con energía de compactación(Ee)= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> con 6% puzolana	6.588	0.646
Proctor con energía de compactación(Ee)= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> con 8% puzolana	7.115	0.697
Proctor con energía de compactación(Ee)= 30 kg cm/cm <sup>3</sup> con 10% puzolana	10.569	1.036



**Figura 4.6** Resistencia a la compresión simple a diferentes contenidos de ceniza volante y puzolana

Como podemos observar en la figura 4.6 los contenidos que nos arrojaron las mayores resistencias fueron el 8% de ceniza volante con 11.5 kg/cm<sup>2</sup> y 10 % de puzolana con 10.5 kg/cm<sup>2</sup>, siendo óptimo el tepetate con la ceniza volante ya que nos dio la mayor resistencia.

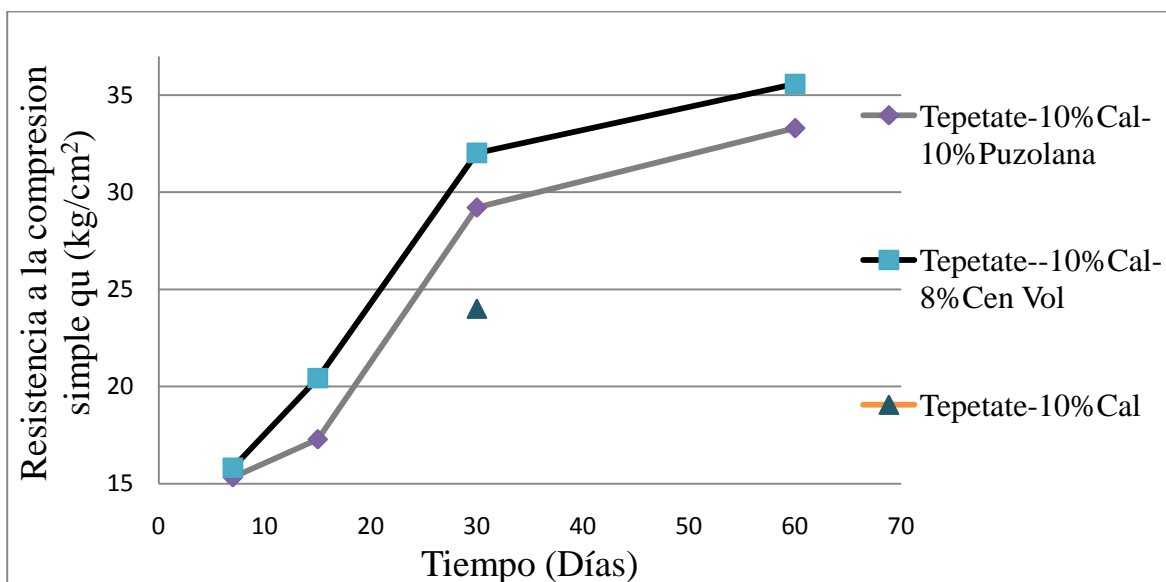
#### 4.5.3 Tepetate con contenidos óptimos (cal-ceniza volante y cal-puzolana) + energía de compactación (30 kg cm/cm<sup>3</sup>)

Luego se mezclaron los porcentajes óptimos de cementante (10 % cal y 8% ceniza volante – 10% cal y 10 % puzolana sobre el peso seco) con el tepetate y se reprodujo una energía de compactación de 30 kg cm / cm<sup>3</sup> para hacer probetas que se ensayaron a compresión simple a los 7, 15, 30 y 60 días de edad con 3 días de curado como lo muestra la tabla 4.7 y figura 4.7, que es el tiempo que se les da a los tabiques de arena-cemento en obra. Refiriéndonos a curado al hecho de que una vez elaboradas la muestras se dejaron envueltas en bolsas de plástico de manera que no se permitió que perdieran humedad.

**Tabla 4.7** Compresión simple del material tepetate-cal-ceniza volante y tepetate-cal-puzolana.

	Compresión Simple	
	(kg/cm <sup>2</sup> )	(MPa)
Compresión simple tepetate-cal 10 % puzolana 10% a 7 días con energía de compactación(Ee)= 30 kg cm/cm <sup>3</sup>	15.32	1.502
Compresión simple tepetate-cal 10 % puzolana 10% a 15 días con energía de compactación(Ee)= 30 kg cm/cm <sup>3</sup>	17.276	1.694
Compresión simple tepetate-cal 10 % puzolana 10% a 30 días con energía de compactación(Ee)= 30 kg cm/cm <sup>3</sup>	29.214	2.865
Compresión simple tepetate-cal 10 % puzolana 10% a 60 días con energía de compactación(Ee)= 30 kg cm/cm <sup>3</sup>	33.305	3.266
Compresión simple tepetate-cal 10 % ceniza volante 8% a 7 días con energía de compactación(Ee)= 30 kg cm/cm <sup>3</sup>	15.821	1.552
Compresión simple tepetate-cal 10 % ceniza volante 8% a 15 días con energía de compactación(Ee)= 30 kg cm/cm <sup>3</sup>	20.437	2.004
Compresión simple tepetate-cal 10 % ceniza volante 8% a 30 días con energía de compactación(Ee)= 30 kg cm/cm <sup>3</sup>	32.026	3.141
Compresión simple tepetate-cal 10 % ceniza volante 8% a 60 días con energía de compactación(Ee)= 30 kg cm/cm <sup>3</sup>	35.575	3.489
Compresión simple tepetate-cal 10 % a 30 días con energía de compactación(Ee)= 30 kg cm/cm <sup>3</sup>	24.007	2.354





**Figura 4.7** Evolución de la resistencia a la compresión simple en el tiempo de los materiales

Como resultado optimo obtenemos el tepetate con cal al 10 % y ceniza volante 8%, el cual es un material que resiste a la compresión simple  $32 \text{ kg/cm}^2$  a los 30 días de elaboración (Figura 4.7), que es un resultado menor que el obtenido para el tepetate con cal al 10 % en la tabla 4.5 de  $49 \text{ kg/cm}^2$  pero esto es debido a que los resultados de la tabla 4.5 son del material con cal hasta 112 días de curado, es decir conservando su contenido de agua, mientras que en la tabla 4.7 solo se dejaron 3 días de curado, es decir que a los 30 días el material ya se encontraba seco. El análisis de la permeabilidad de los materiales Tepetate-cal 10%-ceniza volante 8% y tepetate-cal 10% se encuentra en la página 76 en la tabla 4.8.

#### **4.6 Obtención de la permeabilidad y la resistencia a compresión para 5 diferentes tipos de sillar**

Para la determinación de la Resistencia a la Compresión Simple de las 5 muestras de sillar (figura 4.9) se labraron 3 probetas para cada una de las muestras (figura 4.8). La tabla 4.8 muestra los valores obtenidos para la permeabilidad por el método de carga variable y para la resistencia a la compresión simple.

Para medir la resistencia de los sillares, fueron seleccionados 5 diferentes muestras de sillar de diferentes tonalidades de colores, la ubicación de los bancos de sillar es en San Idefonso, Amealco, Querétaro, en el cual se encuentran los bancos de sillar separados a pocos metros de distancia uno del otro, los sillares fueron seleccionados en base a sus colores:

\*El nombrado “sillar rosa” de esta sección en adelante, el cual es color concha(seashell – #FFF5EE tabla de colores código html) en su estado seco, mientras que en su estado mojado tiene un color salmón (salmon – #FA8072 tabla de colores código html).

\*El nombrado “sillar tabaco” de esta sección en adelante, el cual es color sienna (sienna – #AO522D tabla de colores código html) en su estado seco, mientras que en su estado mojado tiene un color sillín marrón (saddle brown – #FF8B4513 tabla de colores código html).

\*El nombrado “sillar naranja” de esta sección en adelante, el cual es color naranja(orange – #FFA500 tabla de colores código html) en su estado seco, mientras que en su estado mojado tiene un color naranja oscura (dark orange – #FF8C00 tabla de colores código html).

\*El nombrado “sillar gris” de esta sección en adelante, el cual es color humo blanco (ghost white – #FFF5EE tabla de colores código html) en su estado seco, mientras que en su estado mojado tiene un color gris claro (light gray – #FFD3D3D3 tabla de colores código html).

\*El nombrado “sillar naranja con blanco” de esta sección en adelante, el cual es color ámbar con betas blancas (amber – #FFBF00 tabla de colores código html) en su estado seco, mientras que en su estado mojado tiene un color naranja con betas blancas (orange – #FFA500 tabla de colores código html) (Figura 4.9).



**Figura 4.8** Labrado de las probetas



**Figura 4.9** Los sillares en estudio

**Tabla 4.8** Resultados de la prueba de permeabilidad (carga variable) y compresión simple para 5 diferentes sillares.

	Permeabilidad (cm/seg)	Compresión Simple (kg/cm <sup>2</sup> )	Compresión Simple (MPa)
Sillar gris	$5.15 \times 10^{-4}$	6.845	0.671
Sillar naranja	$7.66 \times 10^{-4}$	12.944	1.269
Sillar naranja con blanco	$1.18 \times 10^{-3}$	11.049	1.084
Sillar rosa	$2.48 \times 10^{-4}$	46.133	4.524
Sillar tabaco	$1.01 \times 10^{-3}$	4.53	0.444

En los resultados de la tabla 4.8 se muestra que el sillar que presentó más resistencia a la compresión simple fue el sillar rosa con 46.133 kg/cm<sup>2</sup>, pero el resto de los sillares tienen resistencias muy bajas en relación a la resistencia del tepetate con cal y ceniza de 32 kg/cm<sup>2</sup> a 30 días (Tabla 4.7) y podemos observar que los valores de la permeabilidad son muy altos ( de  $1.18 \times 10^{-3}$  a  $2.48 \times 10^{-4}$  cm/seg) semejantes a los de una arena( de  $10^{-2}$  a  $10^{-4}$  cm/seg) (Bowles, 1982) .

#### 4.7 Comparación de resultados

En la tabla 4.9 se muestra la evolución del tepetate con la energía de compactación menor (6 kg cm/cm<sup>3</sup>) y con la optima (30 kg cm/cm<sup>3</sup>), así como el tepetate con la energía optima adicionando cal y adicionando cal con ceniza volante, en donde podemos observar como el aumento de la energía de compactación nos incrementa la resistencia de 1 kg/cm<sup>2</sup> a 6 kg/cm<sup>2</sup> y disminuye su permeabilidad, pero el máximo aumento de la resistencia nos la proporciona la adición de cal mejorando de 6 kg/cm<sup>2</sup> a 24kg/cm<sup>2</sup>, conservando casi el mismo valor de la permeabilidad y la adición de ceniza volante solo nos mejora la resistencia de 24 kg/cm<sup>2</sup> a 32 kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo nos proporciona un decremento significativo de la permeabilidad de 1.41 X 10<sup>-6</sup> a 9.71 X 10<sup>-7</sup> cm/seg.

**Tabla 4.9** Evolución de la permeabilidad y la resistencia del tepetate con incremento de energía de compactación, así como con la adición de cal y ceniza volante

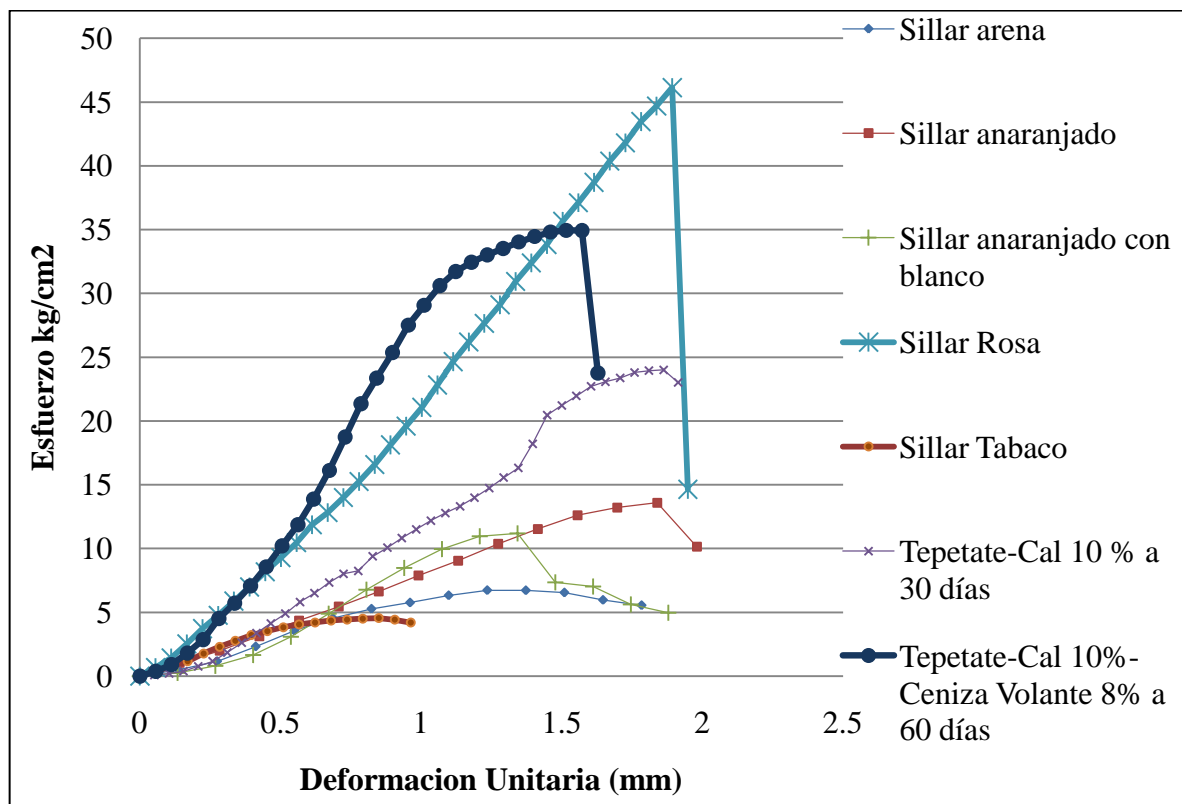
Material	Permeabilidad (cm/seg)	Compresión Simple (kg/cm <sup>2</sup> ) (MPa)	
Tepetate con Ee = 6 kg cm/cm <sup>3</sup>	8.31 X 10 <sup>-5</sup>	0.9861	0.0967
Tepetate con Ee = 30 kg cm/cm <sup>3</sup>	3.08 X 10 <sup>-6</sup>	5.945	0.583
Tepetate con cal al 10% + Ee = 30 kg cm/cm <sup>3</sup>	1.412 X 10 <sup>-6</sup>	24.007	2.354
Tepetate con cal al 10% y ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm/cm <sup>3</sup>	9.714 X 10 <sup>-7</sup>	31.624	3.101

En la figura 4.10 se muestra la comparación entre los 5 diferentes sillares en estudio de la región y el material propuesto por esta investigación ensayados a compresión simple, en la tabla 4.10 se puede observar como el tepetate con cementantes naturales nos proporciona una resistencia a la compresión simple de 32 kg/cm<sup>2</sup> a los 30 días de elaboración, mientras que el mejor de los sillares solo 12.9 kg/cm<sup>2</sup>, además de una permeabilidad mucho mayor con exponente a la -4 cm/seg mientras que el tepetate con cal y ceniza volante nos da un material muy poco permeable con un exponente a la -7 cm/seg lo que nos puede asegurar que los resultados de resistencia del tepetate son mucho más estables en la presencia de agua mientras que el sillar no. Aunado a esto podemos observar en la tabla 4.7 el tepetate con cal y ceniza volante con Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 60 días de su

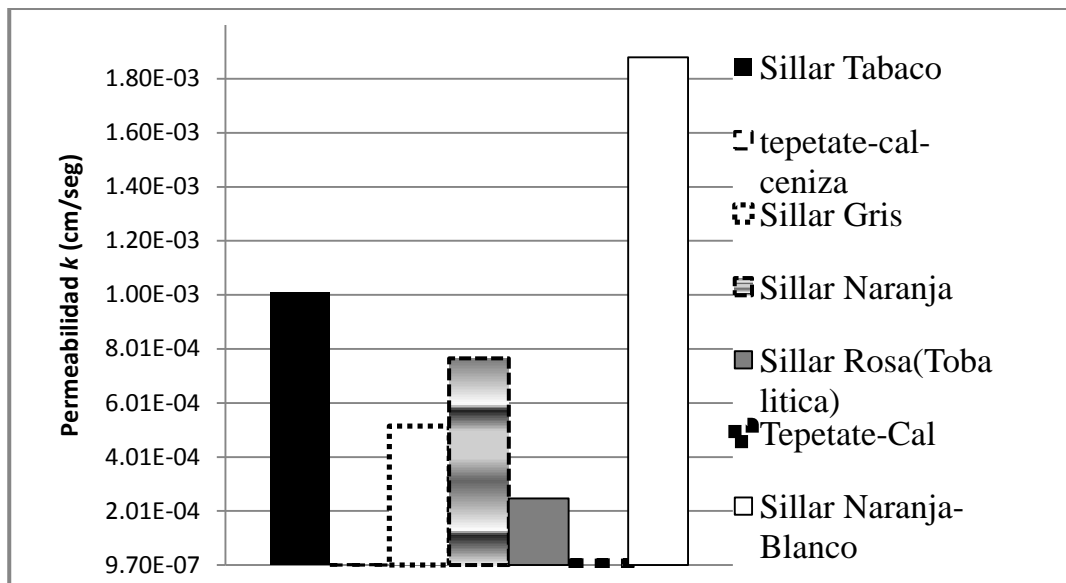
elaboración aun nos incrementa mas la resistencia que el que tiene 30 días de elaboración de  $32 \text{ kg/cm}^2$  a  $35.5 \text{ kg/cm}^2$ , por lo que podemos concluir que el material aun no logra su máxima resistencia, esperando que incremente cada vez más conforme el tiempo vaya aumentando.

**Tabla 4.10** Comparación de resultados entre el tepetate con cementantes naturales y 5 diferentes sillares.

	Permeabilidad (cm/seg)	Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Simple (MPa)
Sillar gris	$5.15 \times 10^{-4}$	6.845	0.671
Sillar naranja	$7.66 \times 10^{-4}$	12.944	1.269
Sillar naranja con blanco	$1.18 \times 10^{-3}$	11.049	1.084
Sillar rosa	$2.48 \times 10^{-4}$	46.133	4.524
Sillar tabaco	$1.01 \times 10^{-3}$	4.53	0.444
Compresión simple tepetate-cal 10% a 30 días + Ee = 30 kg cm/cm <sup>3</sup>	$1.412 \times 10^{-6}$	24.007	2.354
Compresión simple tepetate-cal 10 %-ceniza volante 8% a 30 días + Ee = 30 kg cm/cm <sup>3</sup>	$9.714 \times 10^{-7}$	31.624	3.101



**Figura 4.10** Grafica esfuerzo-deformación comparando 5 sillares con los materiales tepetate-cal-ceniza a 60 días y tepetate-cal a 30 días de su elaboración.



**Figura 4.11** Permeabilidad para los 5 sillares y para los materiales tepetate-cal y tepetate-cal-ceniza volante.

Como podemos observar en la figura 4.11 el sillar con mayor permeabilidad es el rosa con exponente a la  $-4$  cm/seg mientras que el tepetate con cal y ceniza volante nos da un material muy poco permeable con un exponente a la  $-7$  cm/seg lo que nos puede asegurar que los resultados de resistencia del tepetate son mucho más estables en la presencia de agua mientras que en el sillar no.

#### **4.8 Ensaye de la prueba a compresión de los tabicones (tepetate-cal-ceniza volante) y de los 5 diferentes sillares**

Para la elaboración de los tabicones se utilizó una bloquera comercial como se muestra en la figura 4.12, en la cual se remoldearon los tabicones utilizando la energía de compactación óptima de  $30 \text{ kg cm/cm}^3$ , la cual se logró remoldeando los resultados de la prueba Proctor, gracias a que las dimensiones del tabicón eran conocidas se obtuvo un peso de muestra húmeda del material tepetate-cal-ceniza volante para cada tabicón y se depositó por separado en bolsas, para su posterior acomodo en los moldes (figura 4.13) y compactación por medio de vibración (figura 4.14) y prensa hidráulica. Por último los

tabicones fueron colocados sobre tarimas (figura 4.15) y tapados por una lona de plástico para evitar la pérdida de humedad y evitar fracturas (figura 4.16).



**Figura 4.12** Bloquera utilizada para la elaboración de los tabicones de tepetate-cal-ceniza volante



**Figura 4.13** Moldes para la elaboración de los tabicones de tepetate-cal-ceniza volante





**Figura 4.14** Motor para someter a vibrocompactación los tabicones de tepetate-cal-ceniza volante



**Figura 4.15** Colocación de lo tabicones tepetate-cal-ceniza volante sobre tarimas





**Figura 4.16** Tabicones de tepetate-cal-ceniza volante cubiertos por lona de plástico

Para este ensaye se cortaron cinco muestras de cada diferente tipo de sillar y se sometieron a Compresión, así como también cinco tabicones de la mezcla en estudio y se coloco el promedio de los resultados como lo muestra la tabla 4.11.

**Tabla 4.11** Ensaye a compresión para sillares y tabicones

PRUEBA A COMPRESION					
Elemento	Carga (Kg)	Largo Prom. (cm)	Ancho Prom (cm)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> ) (MPa)	
Sillar rosa	22400	28.245	9.873	66.784	6.550
Sillar naranja	6230	27.993	12.209	17.022	1.669
Sillar tabaco	3900	28.784	13.375	8.82	0.865
Sillar naranja con blanco	4860	28.431	12.225	12.58	1.234
Sillar gris	4080	28.708	11.829	10.88	1.067
Tepetate-cal-cen	11840	27.62	12.725	30.752	3.016

Como podemos observar en la tabla 4.10 los tabicones de tepetate-cal-ceniza volante en resistencia a la compresión están por arriba del doble de resistencia que cuatro de los sillares, solo hay un sillar que es más resistente pero es debido a que es una toba lítica la

cual no debería de ser considerada como sillar, pero este tema se tomara a detalle en el análisis físico-químico de los materiales.

De acuerdo a la NMX-C-404-ONNCCE-2005, la resistencia a la compresión mínima para este tipo de piezas de tabicón analizadas es de  $45 \text{ kg/cm}^2$ , siendo menor la del material tepetate-cal-ceniza con  $30.75 \text{ kg/cm}^2$ .

Vemos que la resistencia a la compresión del tabicón está por debajo de la mínima especificada en la NMX-C-404-ONNCCE-2005, pero de igual manera los sillares están por debajo de la resistencia mínima requerida a excepción del sillar rosa con  $66 \text{ kg/cm}^2$ .

#### 4.9 Ensaye de la prueba a flexión de los tabicones (tepetate-cal-ceniza volante) y de los 5 diferentes sillares

Para este ensaye se cortaron cinco muestras de cada diferente tipo de sillar y se sometieron a la prueba a flexión, así como también cinco tabicones de la mezcla en estudio y se coloco el promedio de los resultados como lo muestra la Tabla 4.12.

**Tabla 4.12** Ensaye a flexión para sillares y tabicones

PRUEBA A FLEXION						
Elemento	Carga (Kg)	Largo Prom. (cm)	Ancho Prom (cm)	Espesor Prom (cm)	Resistencia a la flexión (Kg/cm <sup>2</sup> ) (MPa)	
Sillar rosa	635	28.236	10.117	9.04	26.705	2.619
sillar naranja	375	28.03	12.267	9.355	12.065	1.183
sillar tabaco	175	28.637	13.311	9.7	4.996	0.490
sillar naranja con blanco	355	28.333	12.223	9.591	10.452	1.025
sillar gris	235	28.849	11.597	9.591	7.85	0.770
Tepetate-cal-cen	360	27.627	12.648	9.122	11.597	1.137

Como podemos observar en la tabla 4.11 los tabicones de tepetate-cal-ceniza volante en resistencia a la flexión están por arriba de tres de los cinco sillares y tiene una resistencia a la flexión prácticamente igual que la del sillar naranja.

El módulo de ruptura se revisó de acuerdo a los valores mínimos que especifica la NMX-C-404-ONNCCE-1997, ensayado con el método de prueba especificado por la norma ASTM C67 -91 (Tena 2004) en ausencia de norma mexicana para esta propiedad.

La resistencia a tensión promedio de las piezas de mampostería de tepetate-cal-ceniza volante ( $11.59 \text{ kg/cm}^2$ ) sobrepasa la mínima especificada para cada pieza ( $8 \text{ kg/cm}^2$ ), cumpliendo con la norma mexicana NMX-C-404.

#### 4.10 Prueba de absorción máxima a 24 horas de los tabicones (tepetate-cal-ceniza volante) y de los 5 diferentes sillares.

Para este ensaye se cortaron 5 muestras de cada diferente tipo de sillar y se sumergieron durante 24 horas al agua, así como también 5 tabicones de la mezcla en estudio y se colocó el promedio de los resultados como lo muestra la tabla 4.13. El comportamiento de los sillares al someterse al saturado es que se sienten sumamente frágiles al tacto y tienen demasiada pérdida de finos, en orden descendente el sillar color tabaco, gris, naranja y naranja con betas grandes, siendo el tabaco el más inestable. Caso contrario con el sillar rosa y los blocks de tepetate-cal-ceniza que al someterse al saturado no se sienten frágiles al tacto, ni presentan pérdida de finos.

**Tabla 4.13** Prueba absorción máxima a 24 horas para sillares y tabicones

<b>ABSORCION 24 HORAS</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Ws Prom (gramos)</b>	<b>W<sub>24</sub> Prom (gramos)</b>	<b>Absorción Prom (%)</b>
Sillar rosa	3578.776	4458.428	24.581
Sillar naranja	3562.012	4887.356	37.203
Sillar tabaco	2961	5063.508	41.089
Sillar naranja con blanco	3502	5063.508	44.500
Sillar gris	3449.6	4601.856	33.410
Tepetate-cal-cen	4787.96	5557.820	16.081

Como podemos observar en la tabla 4.13 los tabicones de tepetate-cal-ceniza volante tienen la menor absorción sumergidos en agua a 24 horas por más del 100% en comparación con los 5 diferentes sillares.

De acuerdo a la norma NMX-C-404-ONNCCE-2005 y NMX-C-037-ONNCCE-2005, las piezas de mampostería deben cumplir con los valores de absorción máxima de agua que para el caso del tabicón marca un 15%. En nuestro caso los tabicones de tepetate-cal-ceniza volante tienen un promedio de 16% de absorción máxima, por lo que estamos casi dentro de los valores máximos requeridos por las normas para esta prueba, mientras que los sillares están muy por arriba del valor máximo aceptable.

#### 4.11 Comparación de resultados para pruebas de compresión, flexión y absorción.

Como podemos observar en la tabla 4.14 el material Tepetate-cal-ceniza volante tiene una resistencia a la compresión mayor que 4 de los sillares en estudio (sillares color naranja, tabaco, naranja con blanco y gris) y menor que el sillar rosa (que en realidad no es un sillar ya que se determinó por rayos X que es un material diferente), de igual manera tiene una resistencia a la flexión igual a la máxima presentada en los 4 sillares (naranja, tabaco, gris y naranja con blanco), con aproximadamente 12 Kg/cm<sup>2</sup> y menor que el sillar rosa con 26 Kg/cm<sup>2</sup>. Finalmente el tepetate-cal-ceniza volante con energía de compactación de 30 kg cm/cm<sup>3</sup> es superior a todos los sillares en cuanto a la prueba a absorción máxima a las 24 horas en la que tiene una absorción promedio de 16 % la cual es muy inferior al resto de los sillares.

**Tabla 4.14** Prueba a compresión, flexión y absorción de los materiales en estudio

<b>Comparación de compresión, flexión y absorción de los materiales</b>					
<b>Elemento</b>	<b>Compresión prom (Kg/cm<sup>2</sup>) (MPa)</b>		<b>Flexión prom (Kg/cm<sup>2</sup>) (MPa)</b>		<b>Absorción prom (%)</b>
Sillar rosa	66.784	6.550	26.705	2.619	24.581
Sillar naranja	17.022	1.669	12.065	1.183	37.203
Sillar tabaco	8.82	0.865	4.996	0.490	41.089
Sillar naranja con blanco	12.58	1.234	10.452	1.025	44.5
Sillar gris	10.88	1.067	7.85	0.770	33.41
Tepetate-cal-cen	30.752	3.016	11.597	1.137	16.081

## 4.12 Caracterización fisicoquímica de los materiales

Se realizó la caracterización fisicoquímica de todos los materiales en estudio por medio de la fluorescencia de rayos X (Amptek X-123 a 50 KV y 80 mA) y el difractor de rayos x (Difractor Bruker D8-Advance a 30 KV y 30 mA), sirviéndonos como complemento el primer estudio mencionado para encontrar los minerales en el segundo. Se analizaron las muestras de los 5 sillares, así como el material tepetate-cal y tepetate-cal-ceniza volante en el tiempo a 0, 15 y 30 días.

La razón de hacer el análisis fisicoquímico en esta investigación es para poder interpretar el comportamiento mecánico de los materiales (resistencia y permeabilidad) de acuerdo a su mineralogía y de su estructura (amorfa y cristalina).

### 4.12.1 Fluorescencia de Rayos X

Con la Fluorescencia de rayos X se logró identificar los elementos (materia, constituida por átomos de la misma clase, la cual no puede ser descompuesta mediante una reacción química, en otras más simples) que componían a todos los materiales y fue de ayuda para encontrar los minerales (es un sólido natural inorgánico que presenta una estructura interna ordenada y una composición química definida) (Tarbuck y Lutgens, 1999) en la difracción de rayos X, pero principalmente en los sillares ya que estos están compuestos de materiales amorfos y no se logra apreciar correctamente todos los minerales existentes en el material. Refiriéndonos a amorfos como materiales en los que no existe ordenamiento periódico (el vidrio es el ejemplo más común) y material cristalino como aquellos en los que sus átomos adoptan arreglos ordenados y repetitivos formando estructuras periódicas. Muchos materiales pueden adoptar estructura amorfa si se enfrían con suficiente rapidez desde el estado líquido, el dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), presenta esta propiedad según como sea enfriado, cuando es cristalino (se enfría lentamente) forma el cuarzo y cuando es amorfo (se enfría rápidamente) forma el vidrio, otro ejemplo son los

materiales piroclásticos los cuales son enfriados rápidamente y forman materiales amorfos (Reyes y Hinojosa, 2000).

En la tabla 4.15 se pueden observar los elementos que forman a los diferentes sillares

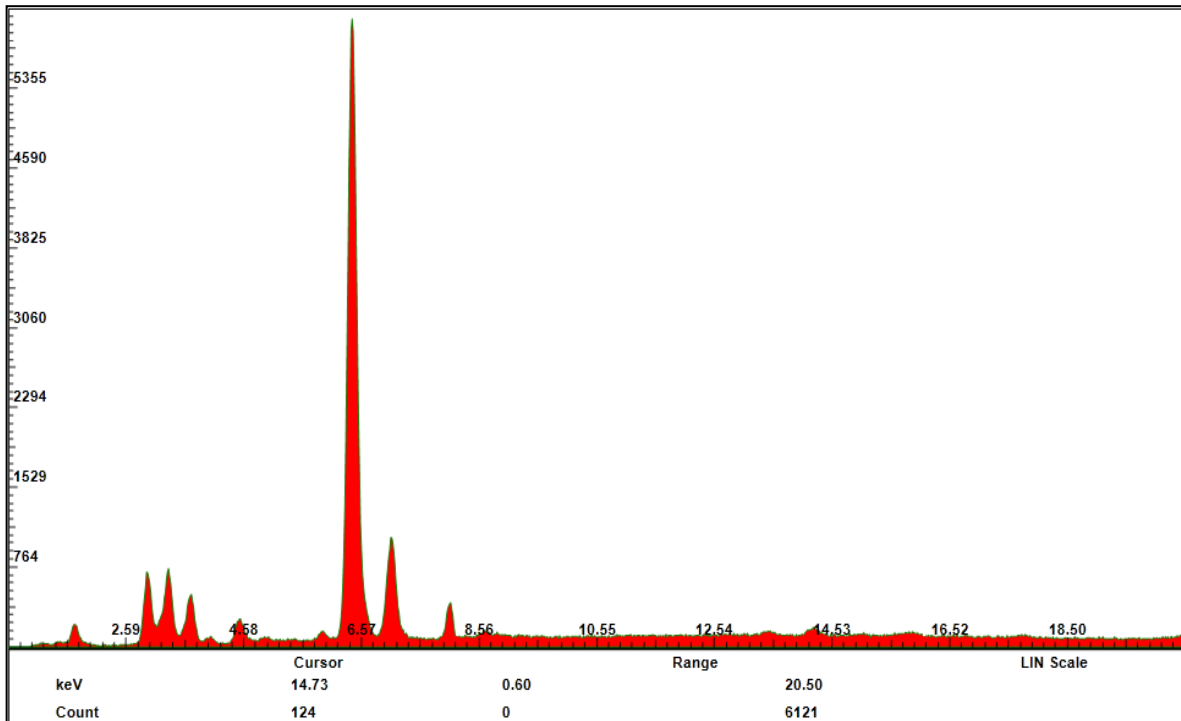
**Tabla 4.15** Análisis de fluorescencia de rayos X en muestras de sillar

Fluorescencia de Rayos X										
Sillar	Gris	Energía (KeV)	Naranja con Blanco	Energía (KeV)	Naranja	Energía (KeV)	Rosa	Energía (KeV)	Tabaco	Energía (KeV)
Elemento	Silicio (Si)	1.72	Silicio (Si)	1.72	Silicio (Si)	1.72	Silicio (Si)	1.72	Silicio (Si)	1.72
	Potasio (K)	3.31	Potasio (K)	3.31	Potasio (K)	3.31	Potasio (K)	3.31	Potasio (K)	3.31
	Calcio (Ca)	3.69-3.98	Calcio (Ca)	3.69-3.98	Calcio (Ca)	3.69-3.98	Calcio (Ca)	3.69-3.98	Calcio (Ca)	3.69-3.98
	<b>Hierro (Fe)</b>	6.4-7.05	<b>Hierro (Fe)</b>	6.4-7.05	<b>Hierro (Fe)</b>	6.4-7.05	<b>Hierro (Fe)</b>	6.4-7.05	<b>Hierro (Fe)</b>	6.4-7.05
	Cobre (Cu)	8.04	Cobre (Cu)	8.04	Cobre (Cu)	8.04	Cobre (Cu)	8.04	Cobre (Cu)	8.04
	Titanio (Ti)	4.51	Bismuto (Bi)	10.77	Estroncio (Sr)	15.83-14.19	Cinc (Zn)	8.65	Titanio (Ti)	4.51

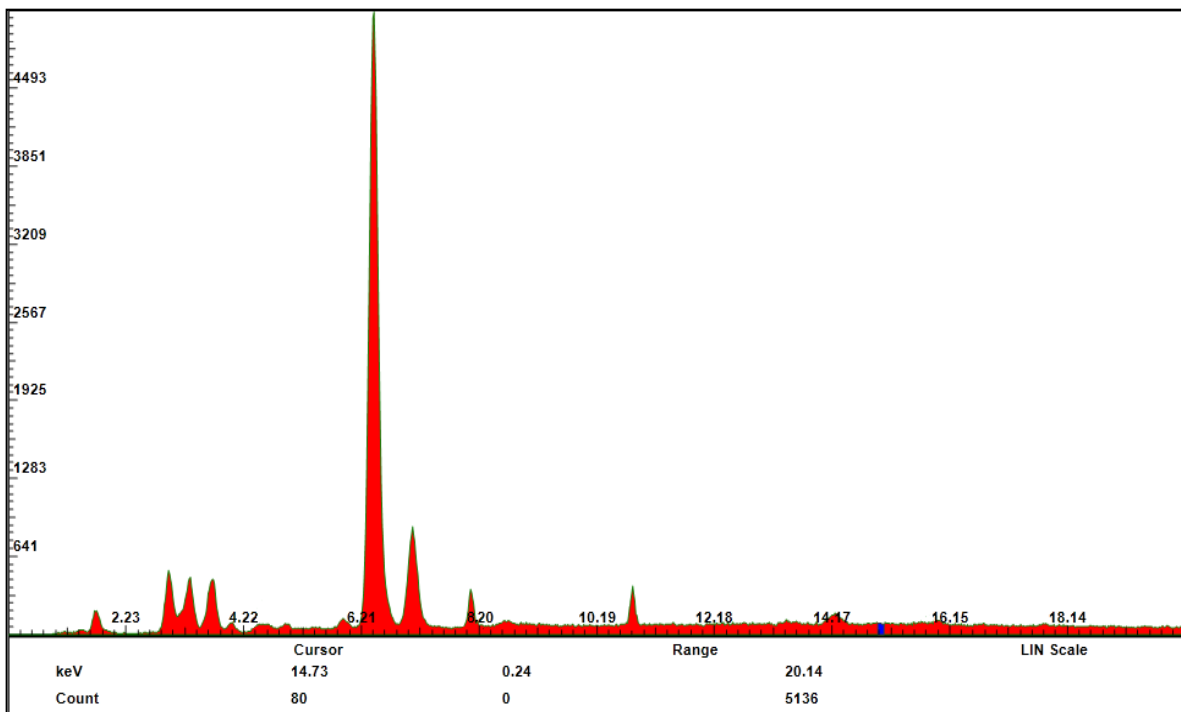
**Máximo contenido**

Nota: Las energías presentadas en la tabla 4.15 son las correspondientes a cada uno de los elementos que componen al material. Los cuales los podemos observar en el eje de las abscisas de las siguientes figuras:

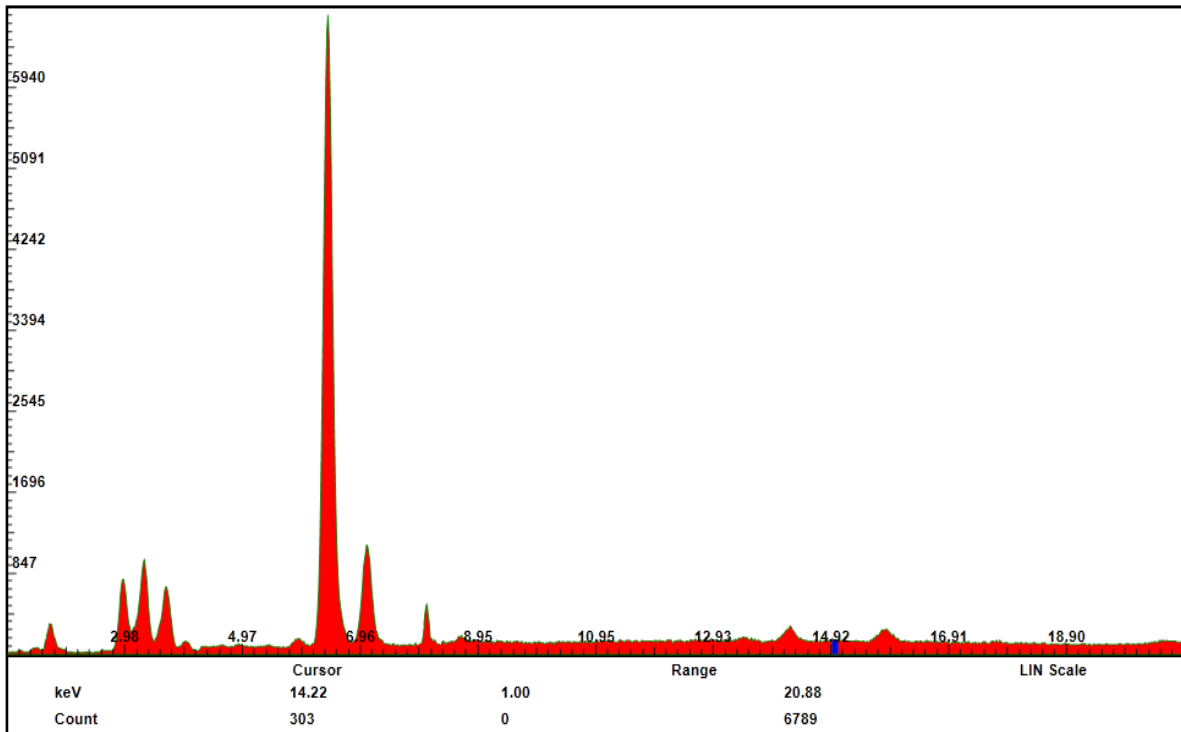
- \*Sillar gris véase figura 4.17
- \* Sillar naranja con blanco véase figura 4.18
- \* Sillar naranja véase figura 4.19
- \* Sillar rosa véase figura 4.20
- \* Sillar tabaco véase figura 4.21



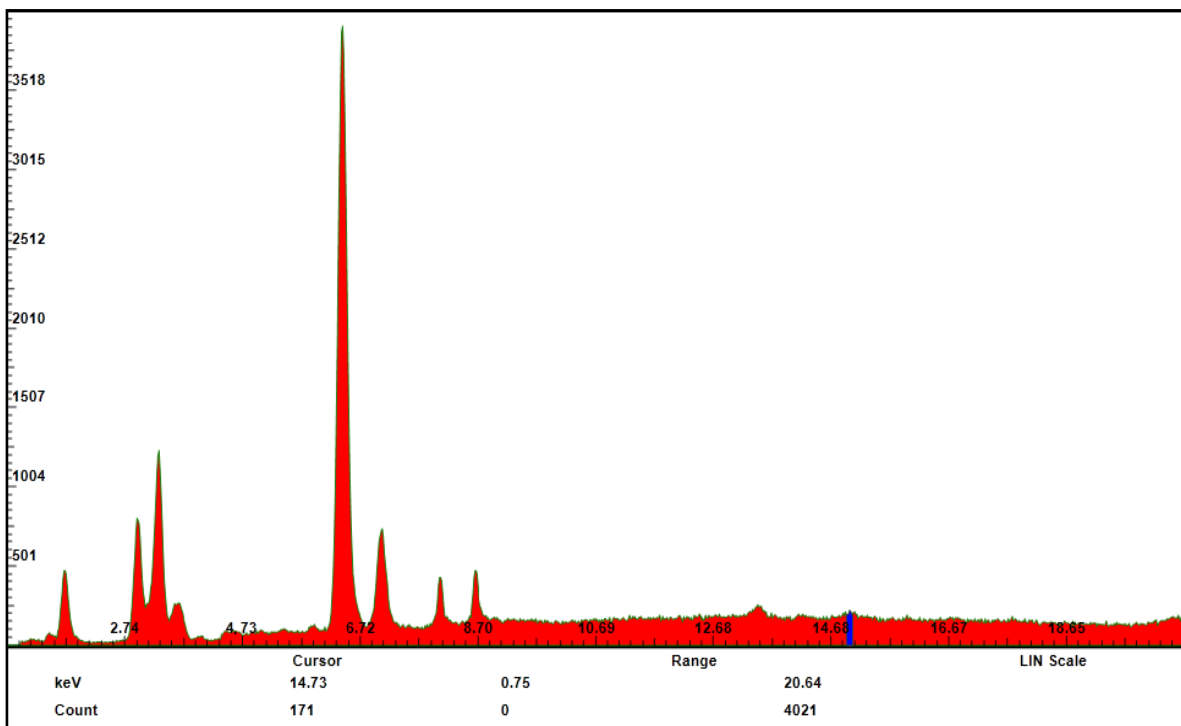
**Figura 4.17** Análisis de fluorescencia de rayos X en muestras de sillar gris



**Figura 4.18** Análisis de fluorescencia de rayos X en muestras de sillar naranja con blanco

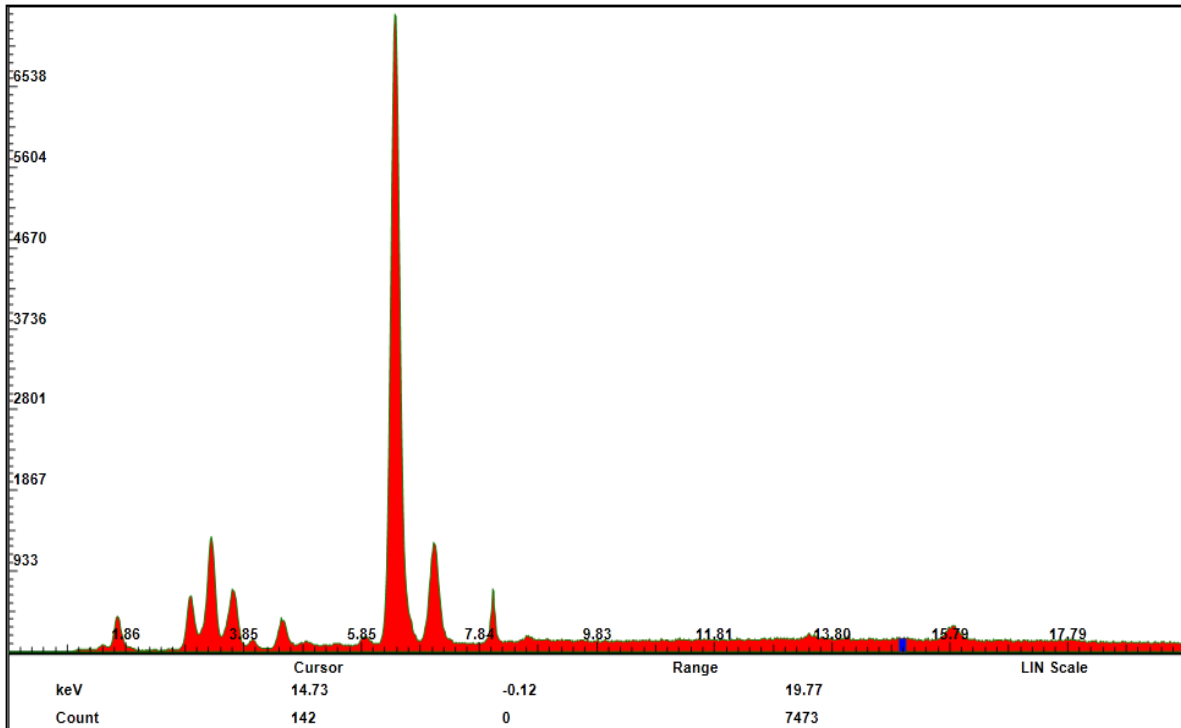


**Figura 4.19** Análisis de fluorescencia de rayos X en muestras de sillar naranja



**Figura 4.20** Análisis de fluorescencia de rayos X en muestras de sillar rosa





**Figura 4.21** Análisis de fluorescencia de rayos X en muestras de sillar tabaco

En donde podemos observar que todos los sillares tienen los mismos elementos (Silicio, Potasio, Calcio, Hierro y Cobre) excepto por uno diferente en cada uno de ellos (Titanio para el gris, Bismuto para el naranja con blanco, estroncio para el naranja, cinc para el rosa y titanio para el tabaco). Es muy probable que esta diferencia de elementos se relaciona con su color y propiedades mecánicas diferentes.

Esencialmente del color de las rocas ígneas dependen de los minerales que la componen, minerales ricos en Si, Al, K, Na, Ca = Minerales félsicos, de colores claros (cuarzo, feldespatos, muscovita) como es el caso del sillar gris, del sillar naranja con betas blancas, del sillar naranja, y del sillar rosa (Tabla 4.15), minerales ricos en Fe, Mg, Cr = Minerales máficos, de colores oscuros (olivino, piroxenos, anfíboles, biotita) como es el caso del sillar color tabaco (Tabla 4.15).

La tabla 4.16 se muestran los componentes de los tabicones elaborados. Este análisis de complementa con el estudio de rayos X.

En el caso de la ceniza volante observamos que tiene Bario el cual es un elemento que en un porcentaje elevado en el medio ambiente es un contaminante (Moreno y Martínez, 2005).

Es por eso que esta investigación utiliza la ceniza volante para darle un uso a este tipo de materiales que son de desperdicio, además de contaminantes y que por el contrario nos ayudan a mejorar las propiedades mecánicas del tepetate.

También podemos observar que el bario aparece en la ceniza volante pero ya al mezclarla con el tepetate y con la cal desaparece debido a que este ya está contenido en una poción tan pequeña que ya no es detectada por el aparato.

**Tabla 4.16** Análisis de fluorescencia de rayos X a materiales que componen a los tabicones

Fluorescencia de Rayos X										
Material	Cal	Energía (KeV)	Ceniza Volante	Energía (KeV)	Tepetate	Energía (KeV)	Tepetate-Cal	Energía (KeV)	Tepetate-Cal-Ceniza	Energía (KeV)
Elemento	<b>Calcio (Ca)</b>	3.69-3.98	Bario (Ba)	4.47	Silicio (Si)	1.72	Silicio (Si)	1.74	Silicio (Si)	1.72
	Hierro (Fe)	6.4-7.05	Potasio (K)	3.31	Potasio (K)	3.31	Potasio (K)	3.31	Potasio (K)	3.31
			<b>Calcio (Ca)</b>	3.69-4.06	Calcio (Ca)	3.69-3.98	<b>Calcio (Ca)</b>	3.69-3.98	<b>Calcio (Ca)</b>	3.69-3.98
			<b>Hierro (Fe)</b>	6.4-7.05	<b>Hierro (Fe)</b>	6.4-7.05	<b>Hierro (Fe)</b>	6.4-7.05	<b>Hierro (Fe)</b>	6.4-7.05
			Cobre (Cu)	8.04	Aluminio (Al)	1.49	Aluminio (Al)	1.49	Cobre (Cu)	8.04
								Aluminio (Al)	1.49	

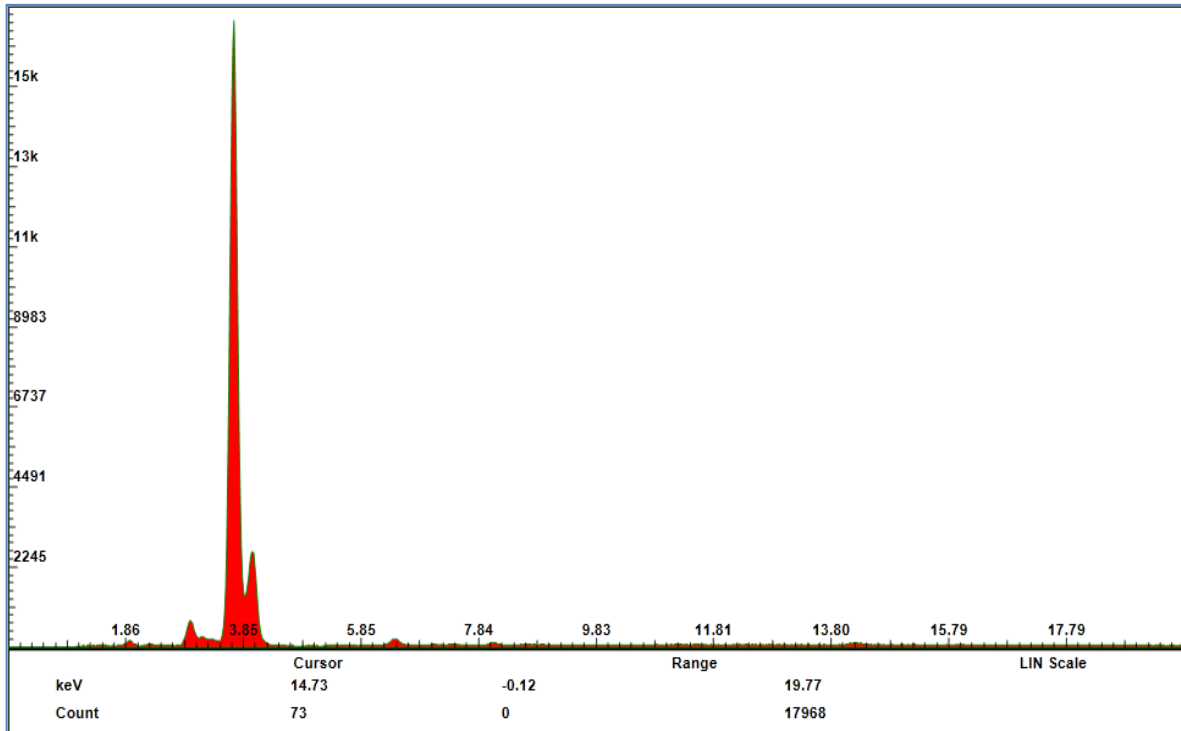
**Máximo contenido**

Nota: Las energías presentadas en la tabla 4.16 son las correspondientes a cada uno de los elementos que componen al material. Los cuales los podemos observar en el eje de las abscisas de las siguientes figuras:

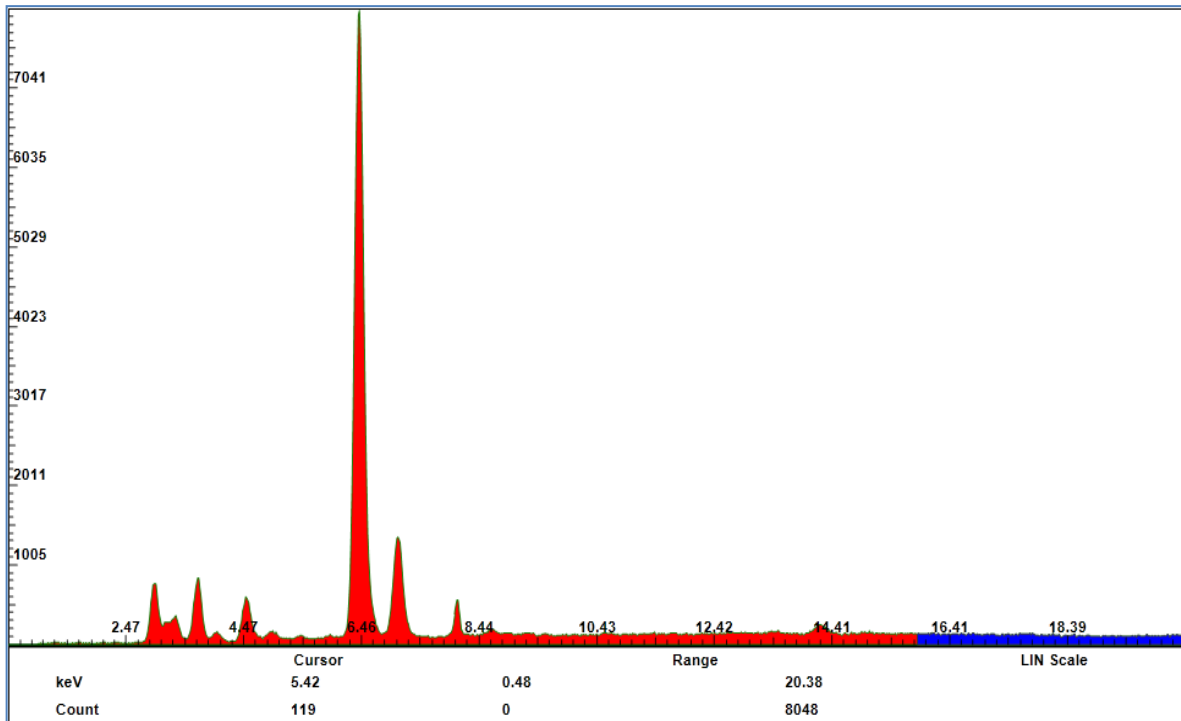
- \*Muestra de cal véase figura 4.22
- \* Muestra de ceniza volante véase figura 4.23
- \* Muestra de tepetate natural véase figura 4.24

\* Muestra de tepetate-cal 10% véase figura 4.25

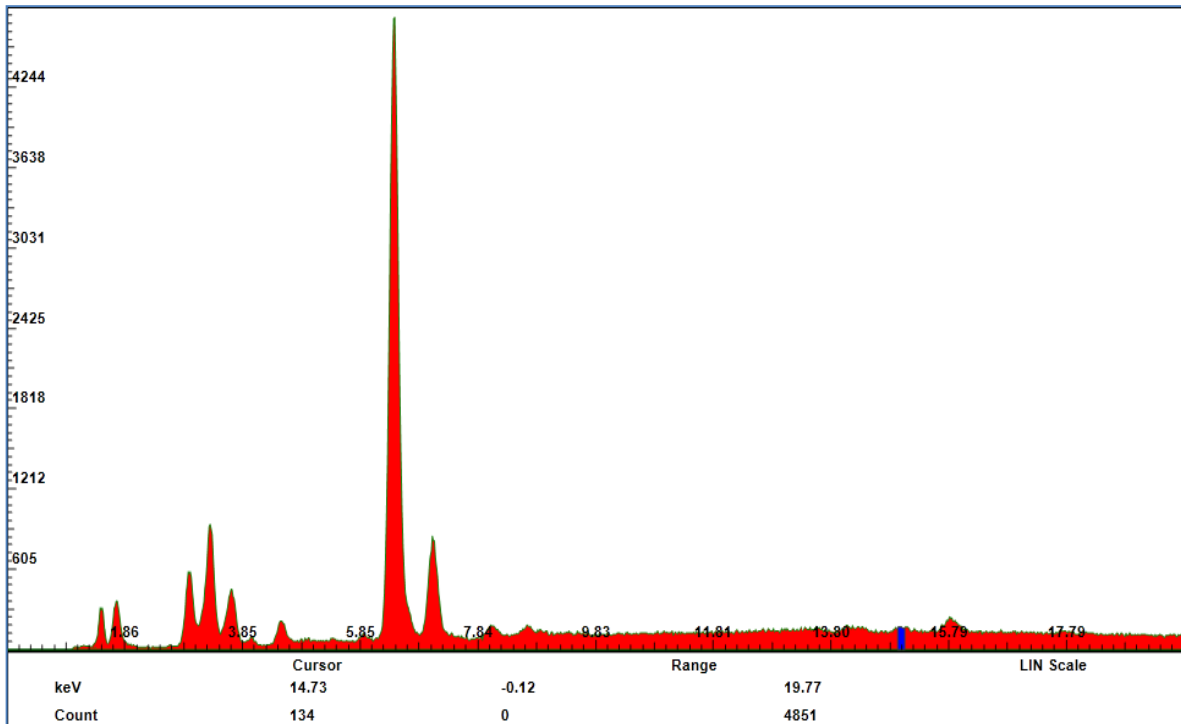
\* Muestra de tepetate-cal 10%-ceniza volante 8% véase figura 4.26



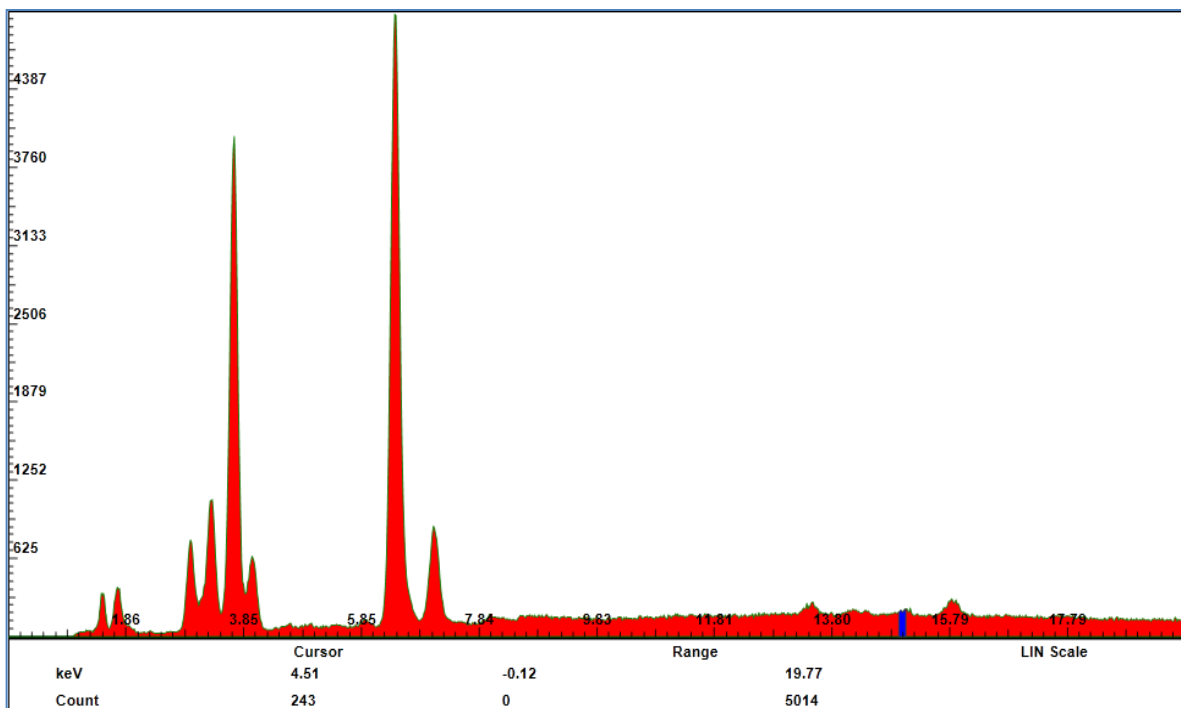
**Figura 4.22** Análisis de fluorescencia de rayos X en muestra de cal



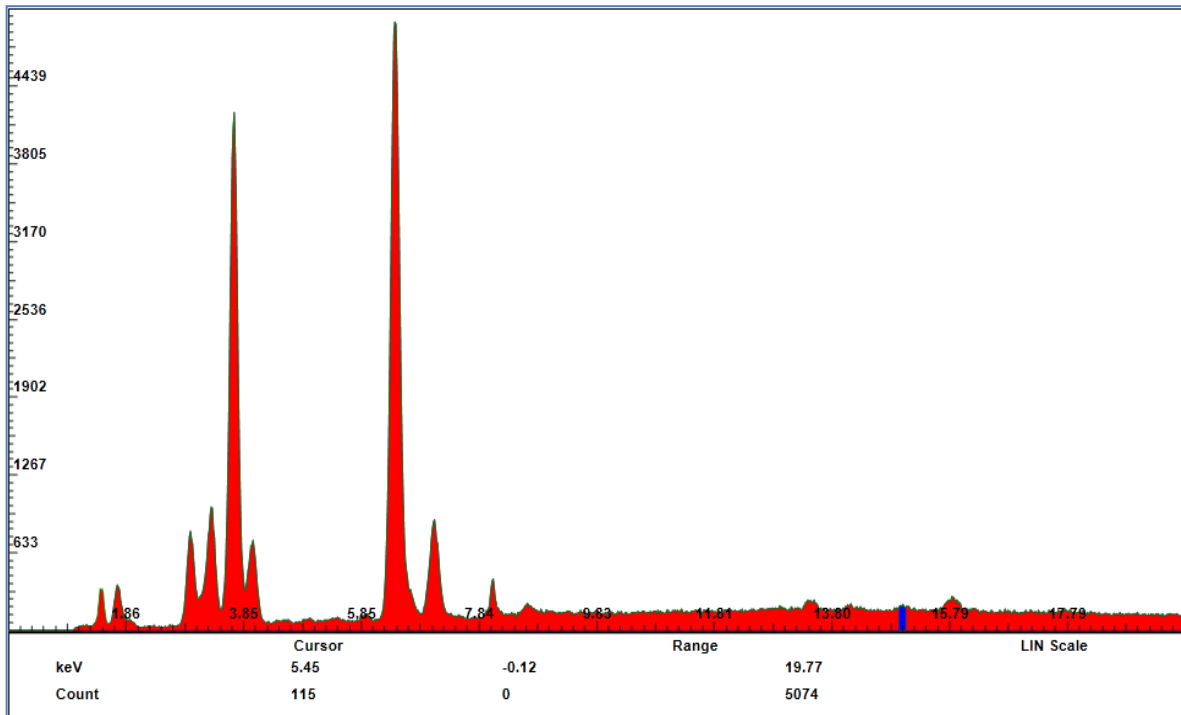
**Figura 4.23** Análisis de fluorescencia de rayos X en muestra de ceniza volante



**Figura 4.24** Análisis de fluorescencia de rayos X en muestra de tepalcate natural



**Figura 4.25** Análisis de fluorescencia de rayos X en muestra de tepalcate-cal 10%



**Figura 4.26** Análisis de fluorescencia de rayos X en muestra de tepetate-cal 10%-ceniza volante 8%

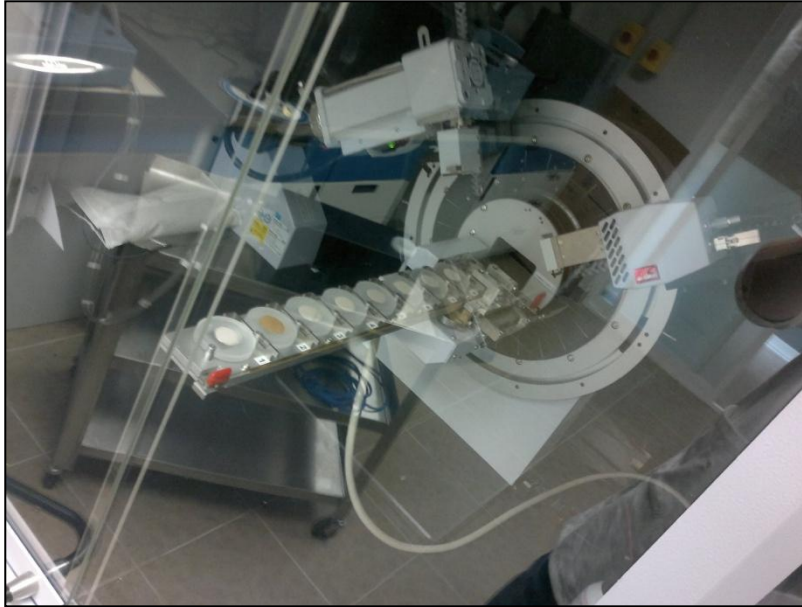
De la Fluorescencia de los componentes de los tabicones se tiene que la cal y la ceniza volante coinciden con el hierro y el calcio. La ceniza volante además de estos elementos contiene algunos otros como el bario, potasio y cobre.

Luego de la mezcla tepetate-cal aparecen además del calcio y el hierro de la cal, el silicio, potasio y aluminio del tepetate. Luego para la mezcla tepetate-cal-ceniza volante aparece además de los anteriores, el cobre.

#### 4.12.2 Difracción de Rayos X

La difracción de rayos X fue hecha en el laboratorio de Nanotecnología de la Facultad de Ingeniería (Campus Aeropuerto) de la Universidad Autónoma de Querétaro con un Difractómetro Bruker D8-Advance a 30 KV y 30 mA, se analizaron las muestras de los 5 sillares, así como el material Tepetate-cal-ceniza volante y Tepetate-cal en el tiempo a 0, 15 y 30 días para encontrar sus minerales (Figura 4.27) y poder comprender el comportamiento de los materiales.

La interpretación de los difractogramas fue posible gracias a los ensayos previos de Fluorescencia de rayos X ya que los sillares tienen gran cantidad de materiales amorfos y es por eso que fue necesario hacer un análisis elemental para poder buscar los minerales que contenían las muestras.



**Figura 4.27** Difractómetro de Rayos X

Para esta prueba se analizaron las siguientes muestras:

- \* Tepetate natural
- \* Tepetate con la cal al 10 % sobre su peso seco a 0 días de su elaboración
- \* Tepetate con la cal al 10 % sobre su peso seco a 15 días de su elaboración
- \* Tepetate con la cal al 10 % sobre su peso seco a 30 días de su elaboración
- \* Tepetate con la cal al 10 % y ceniza volante al 8% sobre su peso seco a 0 días de su elaboración
- \* Tepetate con la cal al 10 % y ceniza volante al 8% sobre su peso seco a 15 días de su elaboración
- \* Tepetate con la cal al 10 % y ceniza volante al 8% sobre su peso seco a 15 días de su elaboración
- \* Sillar naranja
- \* Sillar gris

\*Sillar naranja con blanco

\*Sillar tabaco

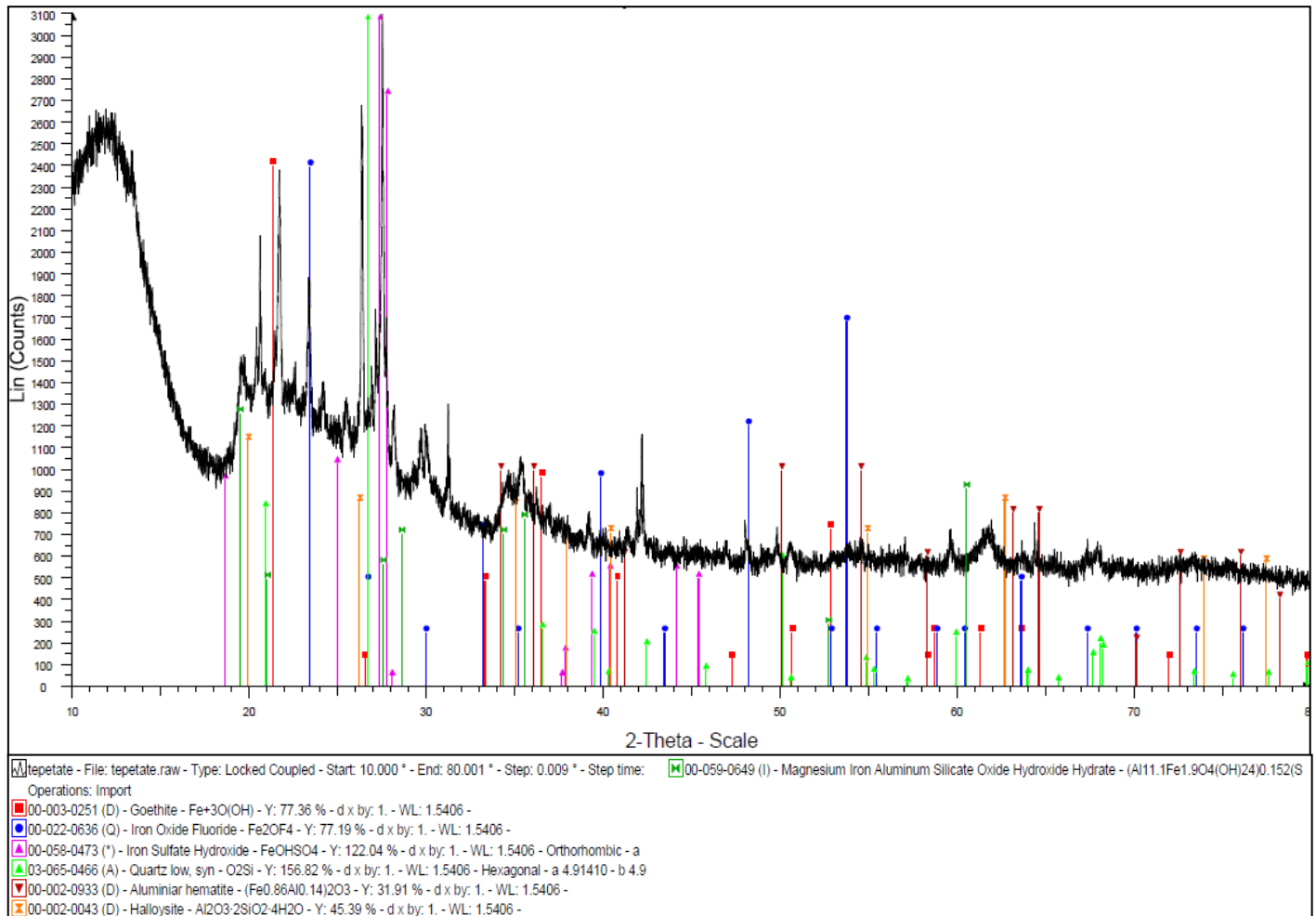
\*Sillar rosa

-Tepetate natural (Ver Figura 4.28)

En la cual se puede observar minerales como la haloisita, las cuales son un tipo de arcillas y presentan generalmente una plasticidad notablemente superior que la de los caolines. La velocidad de difusión del agua a través de la masa es mayor en las arcillas caoliníticas que en las haloisíticas, en cambio, la contracción de secado es mayor en estas que en las caolinitas. El aspecto que ofrece la haloisita al microscopio electrónico es el de tubos y listones de tamaños muy diversos. En cuanto a la composición, se diferencia de la caolinita en que posee dos moléculas de agua más que ella, es decir, su fórmula ideal es:  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$ . Estas dos moléculas de agua excedentes las pierde fácilmente pasando a metahalolsita. La deshidratación tiene carácter irreversible, ya que hasta el momento no ha sido posible rehidratarla en el laboratorio (García Vicente y García Verduch, 1962).

Se encontró también hematita el cual es un mineral que está libre de agentes contaminantes, es un producto de metamorfismo de contacto y formaciones de hierro en bandas. Un cementante común en las rocas sedimentarias y un componente importante en las formaciones oolíticas (textura del material) de hierro. Abundante en minerales de hierro intemperizados, siendo esta un producto de alteración o descomposición de la geotita la cual también podemos observar en la figura 4.18 (Maslen et al., 1994).

También fue encontrado el cuarzo que es el mineral principal de las arenas (Flores Delgadillo y Alcalá Martínez, 2004), es por eso que el tepetate contiene un alto contenido de arenas (45%).



**Figura 4.28** Difracción de rayos X en muestra de tepetate natural.

-Tepetate con la cal al 10 % sobre su peso seco a 0 días de su elaboración (Figura 4.29)

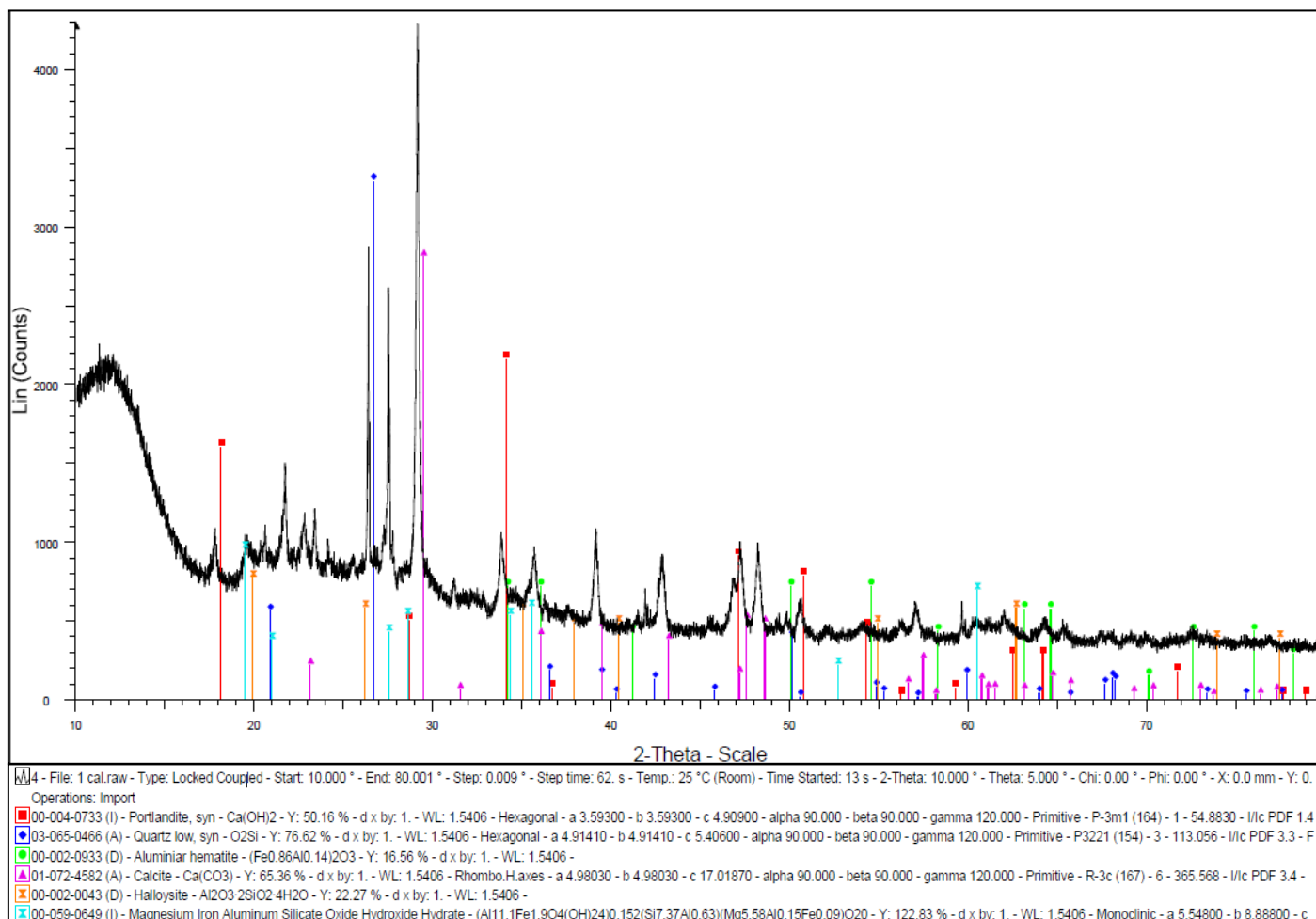
En la cual se pueden observar los picos de la portlandita (Ca(OH)<sub>2</sub>) y calcita debido a que no se dejó el suficiente tiempo reaccionando con el agua y la cal no alcanzó a reaccionar por completo con el agua para cambiar de fase y transformarse en calcita (CaCO<sub>3</sub>), y es por eso que podemos observar ambos picos, también tenemos cuarzo y haloisita (Hidrato de silicato de aluminio monocíclico) la cual es de color blanco a gris claro.

El uso de cal hidratada con suelos arcillosos es un tratamiento que apunta a inhibir la inestabilidad volumétrica mediante el uso de la mezcla resultante de este material inerte. Adicionalmente, se sabe que tal mezcla también mejora las propiedades de resistencia, y es posible utilizarlo como un compuesto inerte resistente, a bajo costo, para los materiales de construcción (López Lara et al., 2006).



Es por esto que muy probablemente la calcita aumentara la resistencia de nuestro material (López Lara et al., 2006).

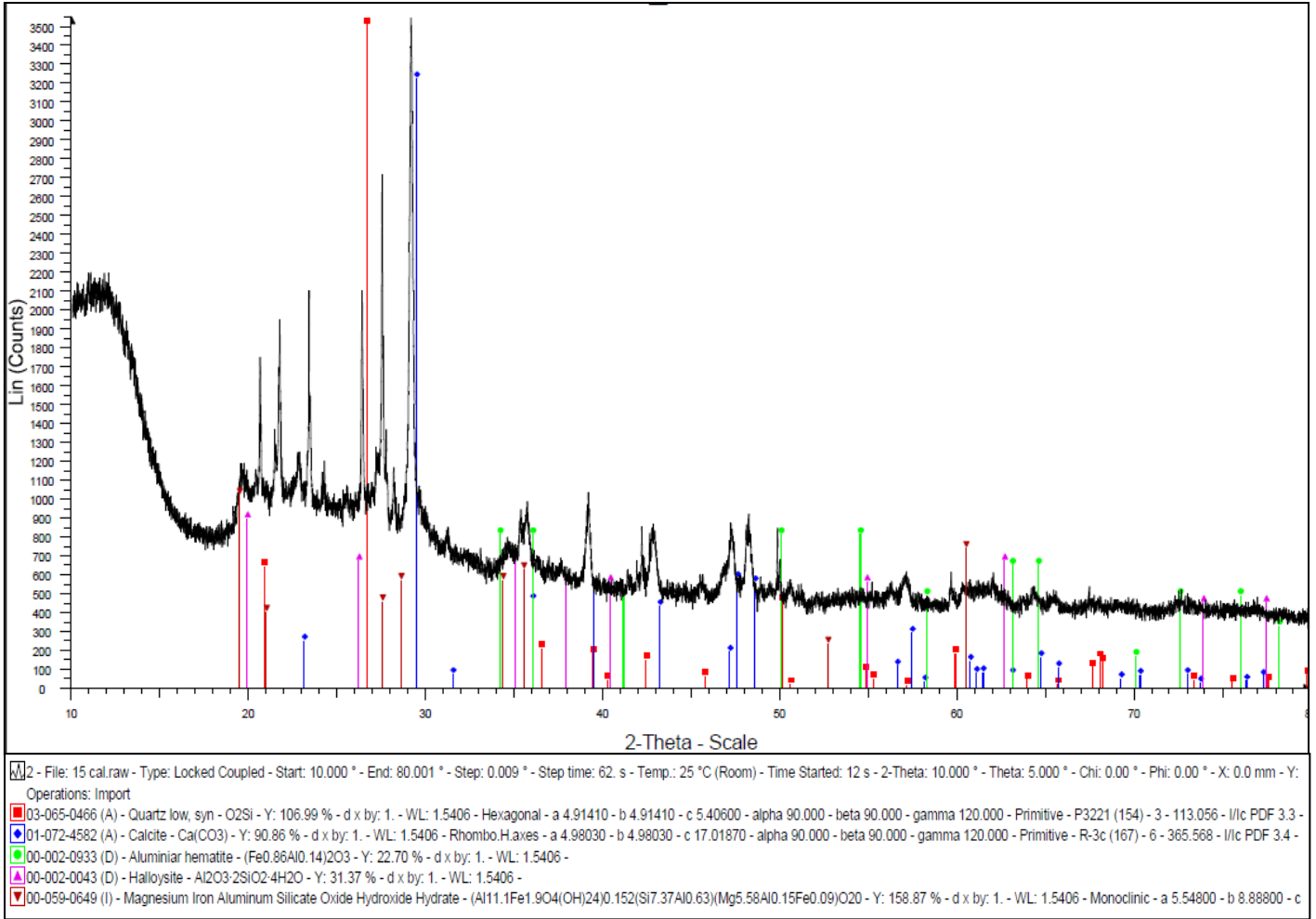
El color gris claro y blanco del suelo se origina por la falta de intemperización de la roca madre de color gris o blanco, depósitos de  $\text{CaCO}_3$ , afloración de sales o como resultado de la remoción de hierro, quedando gran cantidad de minerales ricos en sílice como cuarzo, feldespatos y caolinita (Flores Delgadillo y Alcalá Martínez, 2004).



**Figura 4.29** Difracción de rayos X en muestra de tepetate-cal a 0 días

-Tepetate con la cal al 10 % sobre su peso seco a 15 días de su elaboración (Figura 4.30)

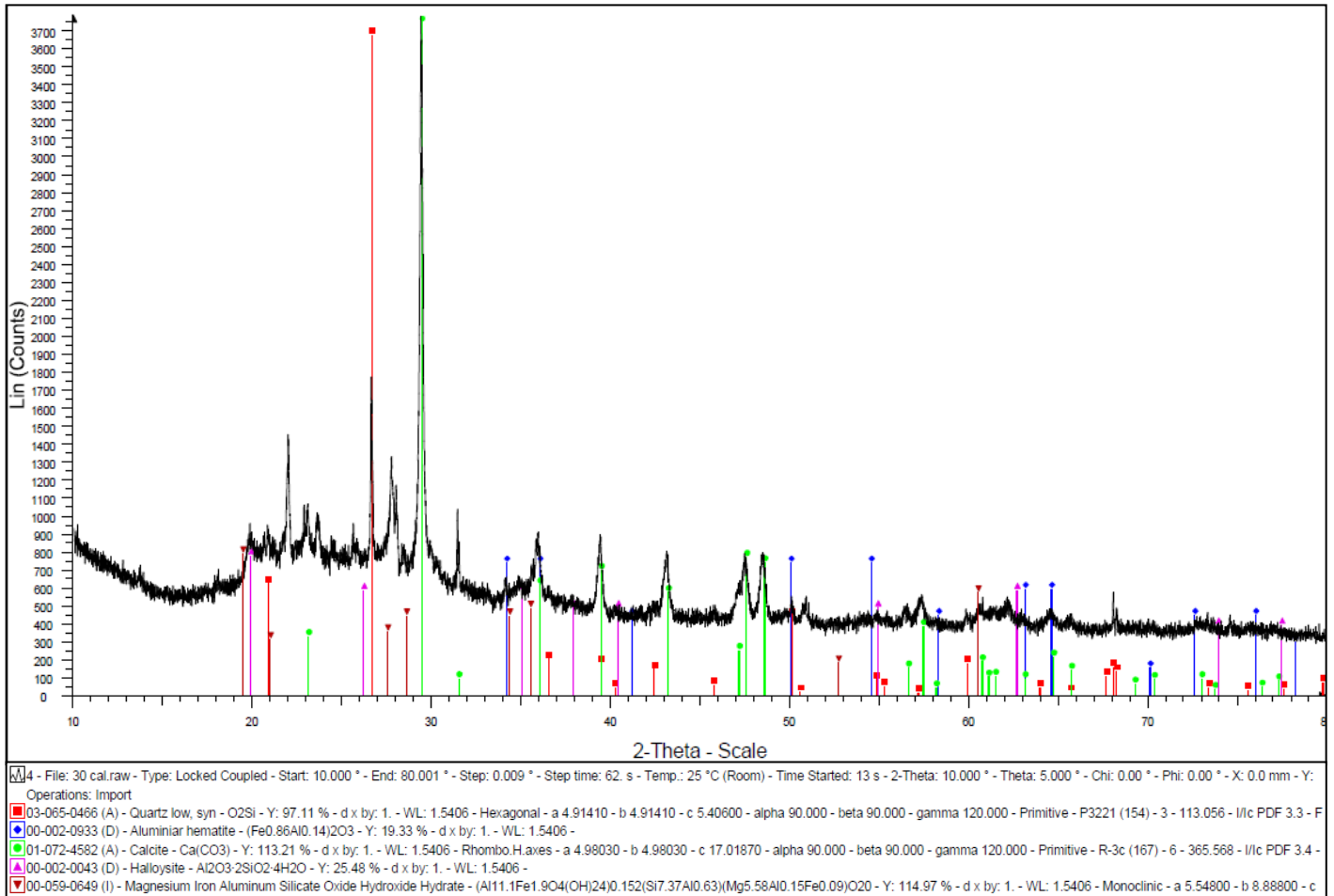
En la cual se pueden observar los mismos minerales que en el caso de la figura 4.29 solo que en este caso ya desaparece la portlandita ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )



**Figura 4.30** Difracción de rayos X en muestra de tepetate-cal a 15 días

-Tepetate con la cal al 10 % sobre su peso seco a 30 días de su elaboración (Figura 4.31)

Para el caso de la figura 4.31 que es la muestra de tepetate con la cal al 10 % sobre su peso seco a 30 días de su elaboración como resultado tenemos los mismos minerales que la figura 4.30 pero tenemos un incremento en la intensidad de la calcita y es por eso que tenemos una mayor resistencia a los 30 días que a los 15.



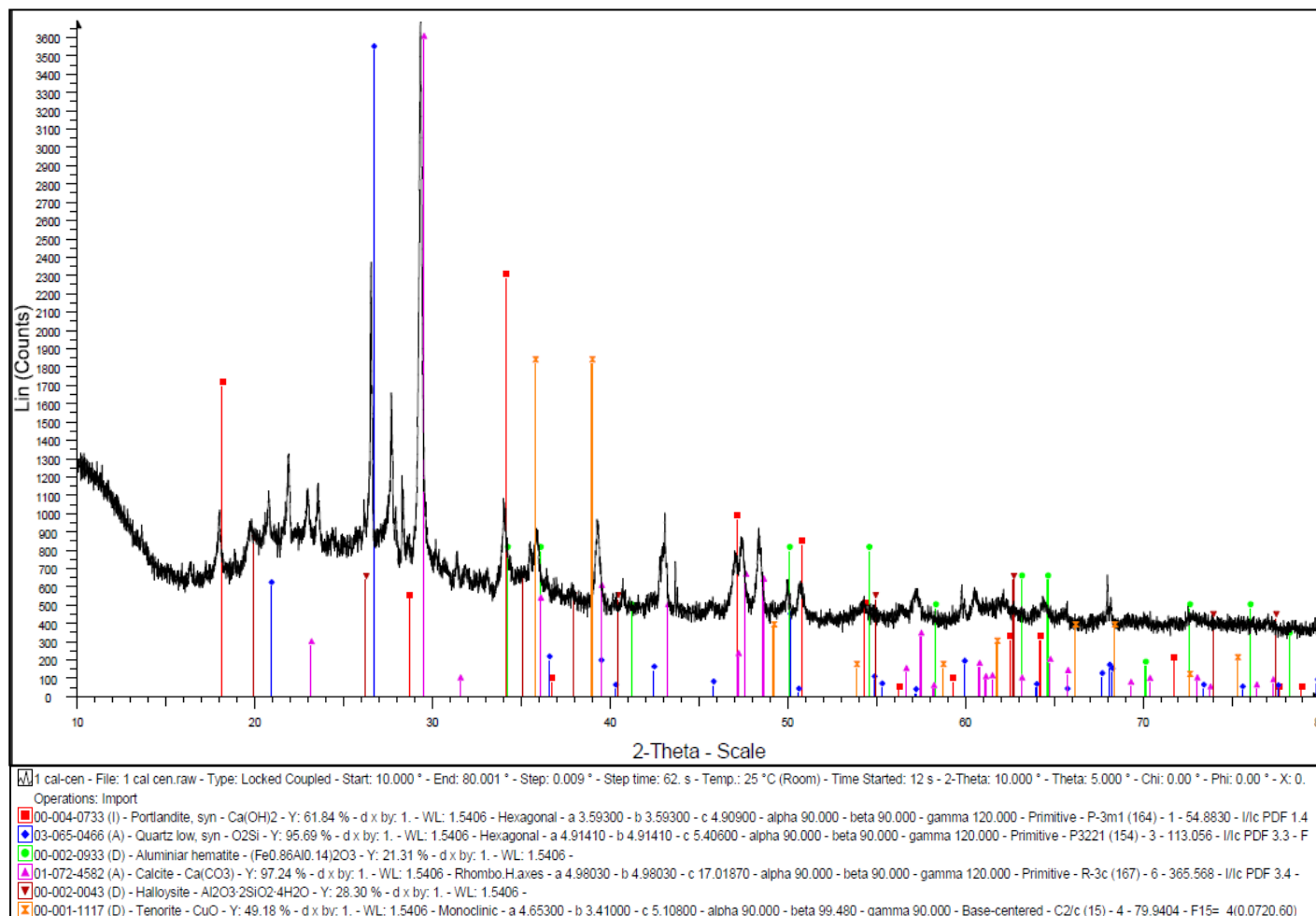
**Figura 4.31** Difracción de rayos X en muestra de tepetate-cal a 30 días

-Tepetate con la cal al 10 % y ceniza volante al 8% sobre su peso seco a 0 días de su elaboración (Figura 4.33)

La siguiente muestra en estudio fue el tepetate con la cal al 10 % y ceniza volante al 8 % sobre su peso seco a 0 días de su elaboración (Figura 4.33) en la cual se pueden observar los mismos minerales que en el caso de la figura 4.29 (Tepetate-Cal a 0 días), y solamente tenemos un nuevo mineral llamado Tenorita (CuO), la cual es de color gris-negro opaco, por eso nos proporciona un color gris a los blocks (figura 4.32)



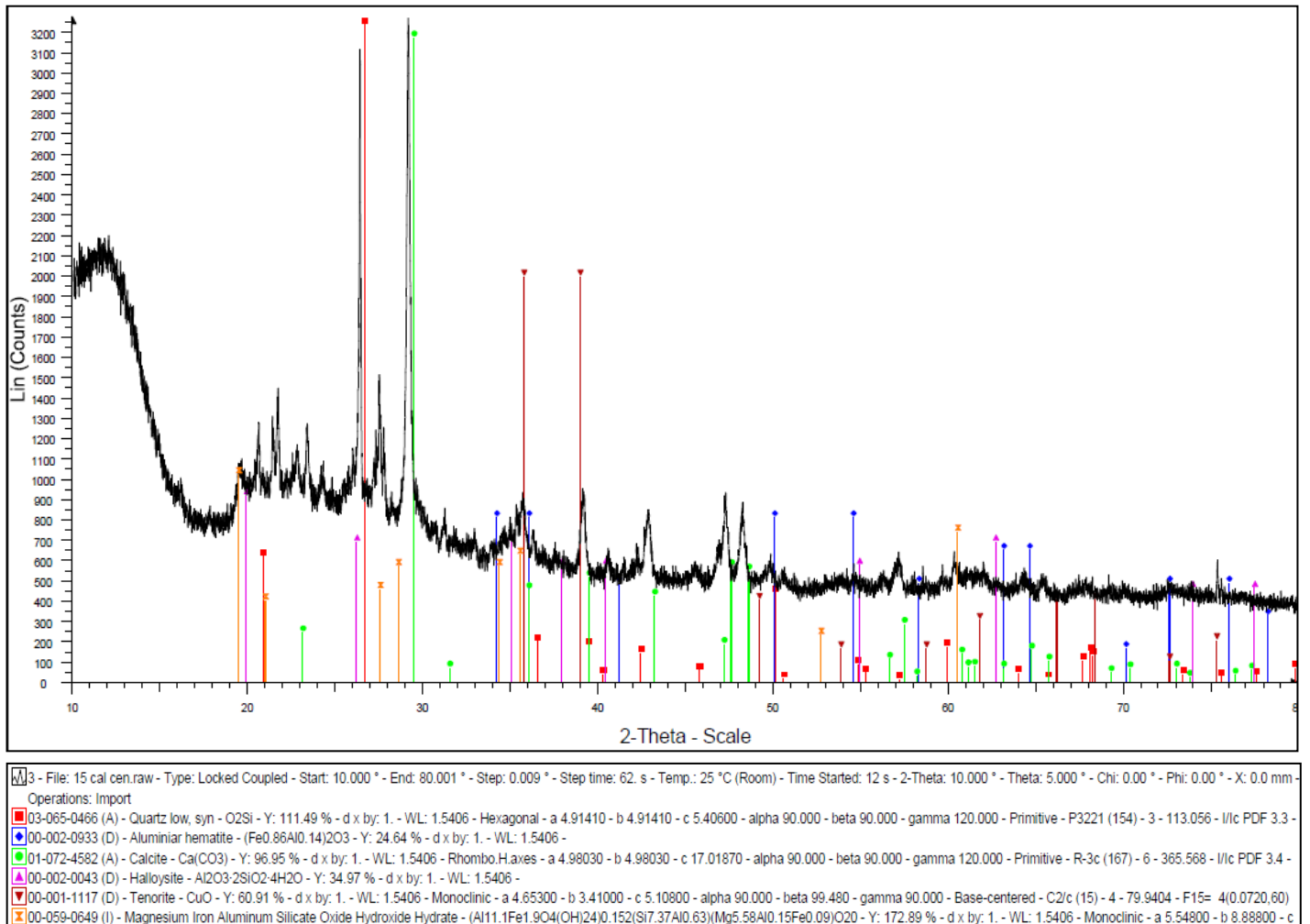
**Figura 4.32** Blocks de tepetate-cal-ceniza volante



**Figura 4.33** Difracción de rayos X en muestra de tepetate-cal-ceniza volante a 0 días

-Tepetate con la cal al 10 % y ceniza volante al 8% sobre su peso seco a 15 días de su elaboración (Figura 4.34)

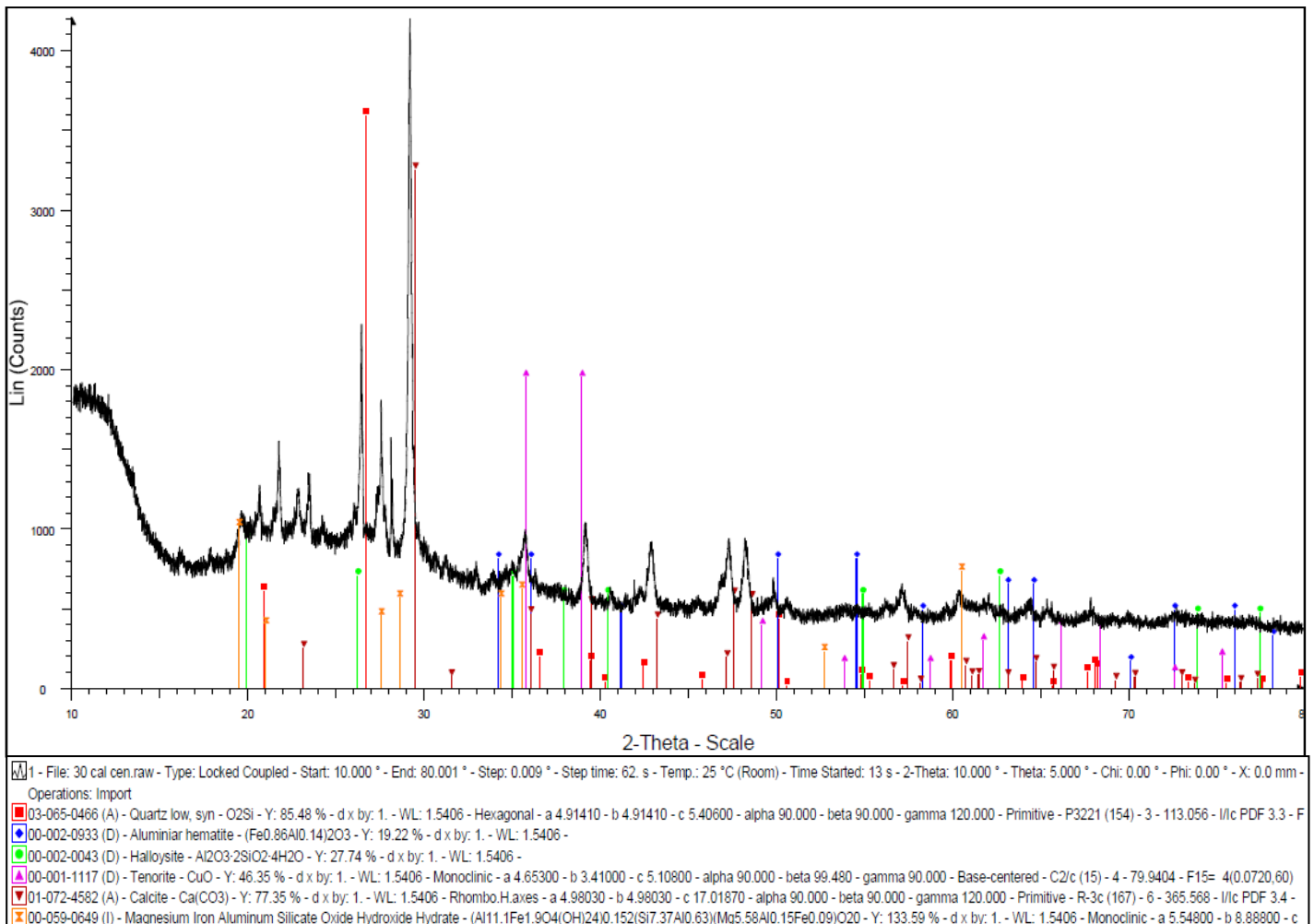
En la cual se pueden observar los mismos minerales que en el caso de la figura 4.33, solo que en este caso ya desaparece la portlandita ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).



**Figura 4.34** Difracción de rayos X en muestra de tepetate-cal-ceniza volante a 15 días

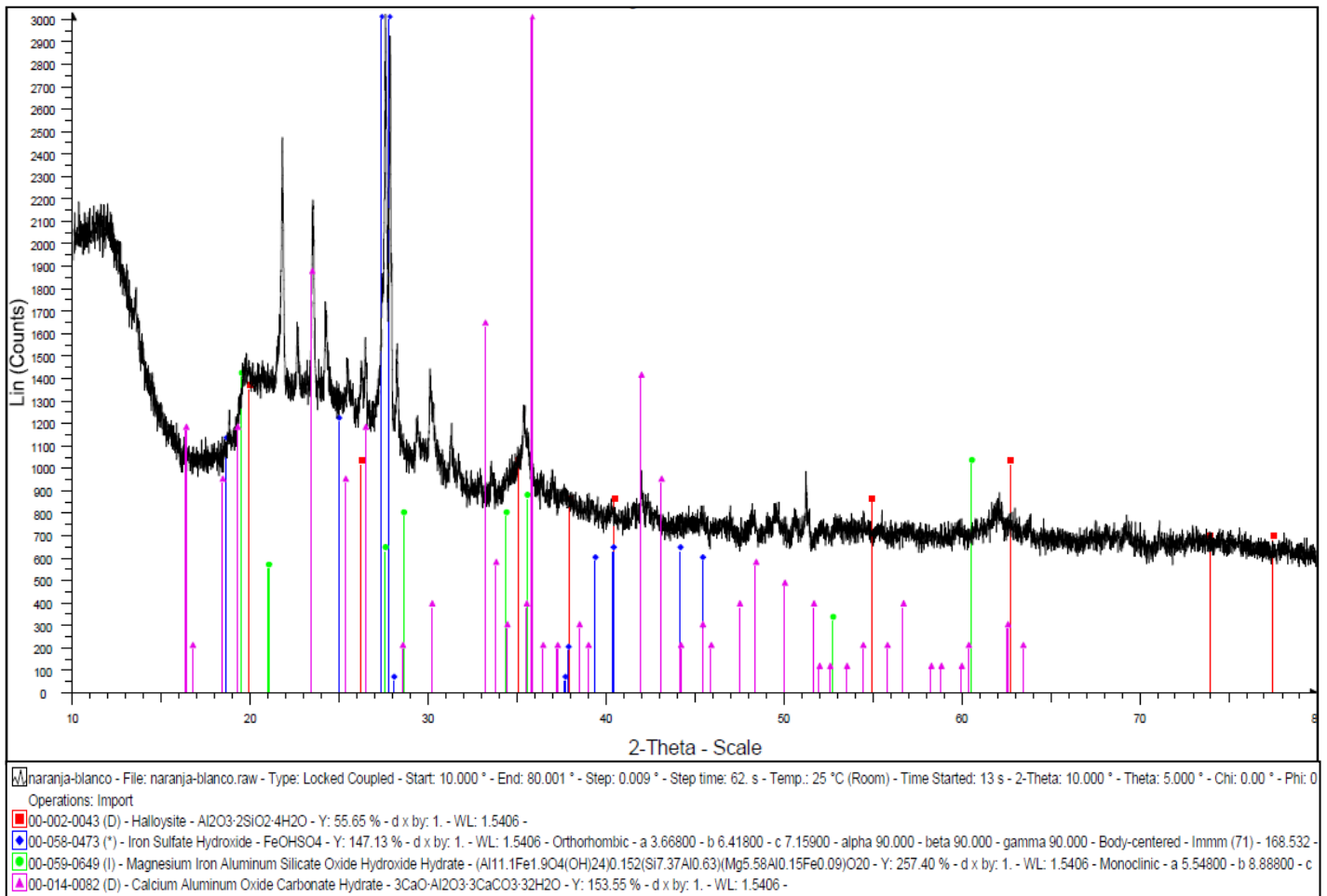
-Tepetate con la cal al 10 % y ceniza volante al 8% sobre su peso seco a 30 días de su elaboración (Figura 4.35)

Para el caso de la figura 4.35 que es la muestra de tepetate con la cal al 10 % y ceniza volante al 8 % sobre su peso seco a 30 días de su elaboración como resultado tenemos los mismos minerales que la figura 4.34 pero tenemos un incremento en la intensidad de la calcita y es por eso que probablemente haya una mayor resistencia a los 30 días que a los 15.



**Figura 4.35** Difracción de rayos X en muestra de tepetate-cal-ceniza volante a 30 días



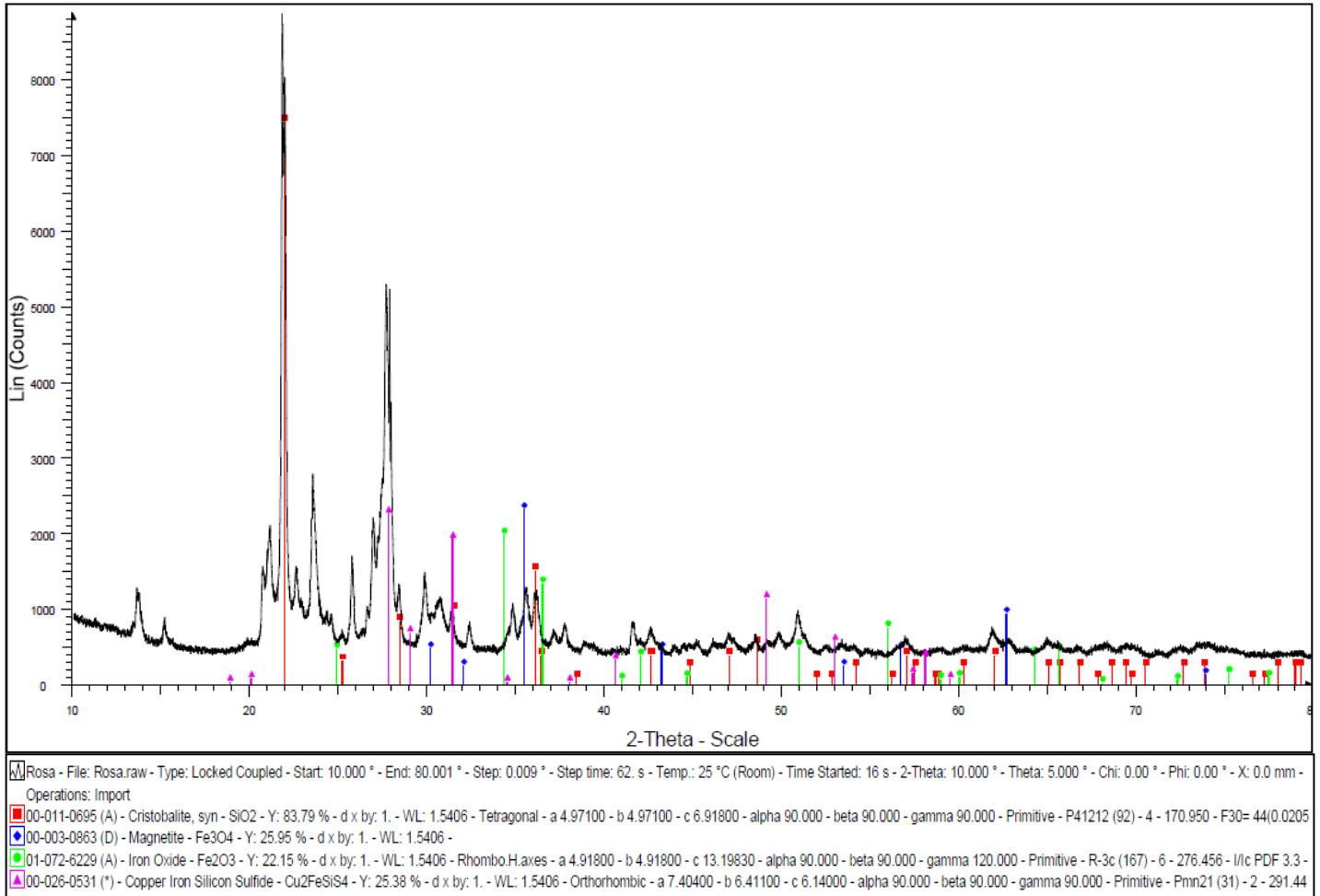


**Figura 4.37** Difracción de rayos X en muestra de sillar color naranja con betas blancas

-Sillar Rosa (Figura 4.38)

El ultimo en estudio es el sillar color rosa (Figura 4.38), el cual cómo podemos observar su mineralogía es diferente y no presenta material amorfo como el resto de los sillares por lo que no se le debería de considerar como sillar, esta es una toba lítica es decir que está compuesta por una matriz de diferentes rocas en el seno de una matriz fina





**Figura 4.38** Difracción de rayos X en muestra de sillar color rosa

### 4.13 Análisis de Costos de Materiales

En la tabla 4.17 podemos apreciar los costos de las materias primas (precio a junio del 2012) requeridas para elaborar los tabicones son para el tepetate entre 60 y 80 pesos el metro cubico mientras que para elaborar blocks de cemento-arena el precio de la arena anda en 200 pesos, es decir a más del doble, mientras que el costo de la cal esta a 80 pesos por un saco de 50 kg y 130 pesos por un saco de cemento de 50 kg, en donde podemos observar otra gran diferencia en costos que aumentara aún mas en una producción en masa, además de que la ceniza volante no genera un costo elevado debido a que solo hay que contemplar su traslado y si aunado a esto le agregamos que nuestro material solo lleva el 10 % de cal que es el material caro y un block de cemento-arena lleva mínimo un 30 % de cemento y el

costo por pieza, con las mismas dimensiones que el material tepetate-cal-ceniza volante, es de 3.50 pesos y considerando que el proceso de elaboración es el mismo, podemos cotizar aproximadamente en 2.50 la pieza de nuestros tabicones.

**Tabla 4.17** Costos de materiales para la elaboración de los block macizos arena-cemento y de los tabicones de Tepetate-Cal-Ceniza volante

<b>Costos de materia prima para la elaboración de blocks</b>			
Material	Costo (m3) pesos	Material	Costo (saco 50 kg) pesos
Arena	200	Cemento	130
Tepetate	60-80	Cal	80
		Ceniza volante	Costo de transporte

## 5 CONCLUSIONES

- El aumento de la energía de compactación sí mejora la densidad del tepetate sólo hasta cierto valor de energía (en nuestro caso  $30 \text{ kg cm/cm}^3$ ). Incrementa de  $1300 \text{ kg/cm}^3$  para una energía de compactación de  $6 \text{ kg cm/cm}^3$  a  $1530 \text{ kg/cm}^3$  para una energía de compactación de  $30 \text{ kg cm/cm}^3$ .
- El aumento de la energía de compactación de  $6 \text{ kg cm/cm}^3$  a  $30 \text{ kg cm/cm}^3$  incrementó la resistencia de  $1 \text{ kg/cm}^2$  a  $6 \text{ kg/cm}^2$ , pero el mayor incremento en la resistencia la proporcionó la adición de cal al 10% remoldeado a la energía de compactación óptima ( $30 \text{ kg cm/cm}^3$ ) a 30 días de elaboración, la cual incrementó de  $6 \text{ kg/cm}^2$  a  $24 \text{ kg/cm}^2$ ; luego la adición de ceniza volante al tepetate y a la cal con la energía de compactación óptima y a 30 días de su elaboración incrementa un poco más la resistencia de  $24 \text{ kg/cm}^2$  a  $32 \text{ kg/cm}^2$ .
- El aumento de la energía de compactación de  $6$  a  $30 \text{ kg cm/cm}^3$  disminuye la permeabilidad del tepetate (de  $8.3 \times 10^{-5}$  a  $3.08 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ ), al agregarle cal al tepetate y reproduciendo la energía de compactación óptima de  $30 \text{ kg cm/cm}^3$  conserva casi el mismo valor de la permeabilidad (de  $3.08 \times 10^{-6}$  a  $1.41 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ ) y siendo de suma importancia la adición de la ceniza volante al tepetate y a la cal con la energía de compactación óptima ( $30 \text{ kg cm/cm}^3$ ) ya que es la que ayuda a darle la mayor disminución a la permeabilidad (de  $1.41 \times 10^{-6}$  a  $9 \times 10^{-7} \text{ cm/seg}$ ).
- Es de llamar la atención la disminución considerable de la permeabilidad que se obtiene en el tepetate con la adición de cal y ceniza volante compactado con energía de  $30 \text{ kg cm/cm}^3$  ( $9.714 \times 10^{-7} \text{ cm/seg}$ ) respecto a la del sillar naranja con blanco, el cual fue el sillar más permeable ( $1.18 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ ); esto debido a que la estructura de los sillares es muy porosa.
- El tepetate con cal al 10% y ceniza volante al 8%, remoldeado con la energía óptima de  $30 \text{ kg cm/cm}^3$  y a 30 días de su elaboración en estado seco nos proporciona una resistencia a la compresión simple de  $31.6 \text{ kg/cm}^2$  mientras que el mejor de los sillares solo  $12.9 \text{ kg/cm}^2$

- El tepetate compactado bajo una energía óptima y agregándole cementantes (cal y ceniza volante) logra ser un material más resistente que el sillar en condición seca, pero además en condición saturada, es un material más impermeable que el sillar, lo que puede asegurar un mejor comportamiento de la resistencia.
- Los tabicones de tepetate con cal al 10 % y ceniza volante al 8% elaborados con una energía de compactación de  $30 \text{ kg cm/cm}^3$  sometidas a la prueba de flexión, cumplen con la norma mexicana NMX-C-404, la cual especifica un mínimo de resistencia a flexión de  $8 \text{ kg/cm}^2$  y nuestras piezas de mampostería en promedio presentan una resistencia a la flexión de  $11.59 \text{ kg/cm}^2$ , la cual sobrepasa la mínima establecida, mientras que los sillares gris y tabaco no cumplen con la resistencia mínima requerida por la norma con  $7.8$  y  $5 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente.
- Los tabicones de tepetate con cal al 10 % y ceniza volante al 8% elaborados con una energía de compactación de  $30 \text{ kg cm/cm}^3$  sometidas a la prueba de absorción máxima, están muy cerca de cumplir con la norma mexicana NMX-C-037-ONNCCE-2005, la cual especifica un máximo de absorción a 24 horas sumergido en agua de 15% y las piezas de mampostería realizadas en este trabajo presentan en promedio una absorción máxima de 16%, la cual casi pasa la máxima establecida, mientras que todos los sillares no cumplen con la absorción máxima requerida por la norma, con lo que podemos concluir que el material propuesto presenta más estabilidad en condición saturada que los sillares, lo cual concuerda con los valores obtenidos de los coeficientes de permeabilidad.
- Los tabicones de tepetate con cal al 10 % y ceniza volante al 8% elaborados con una energía de compactación de  $30 \text{ kg cm/cm}^3$  a 30 días de su elaboración sometidas a la prueba de compresión, no cumplen con la norma mexicana NMX-C-404 hasta el momento, la cual especifica una resistencia a la compresión mínima para este tipo de piezas de tabicón analizadas es de  $45 \text{ kg/cm}^2$ , siendo menor la del material tepetate-cal-ceniza con  $30.75 \text{ kg/cm}^2$ , pero como se pudo observar en las pruebas a compresión simple el material muestra una evolución en el tiempo de la resistencia por lo que se puede decir que muy probablemente con más tiempo los tabicones pasen la norma, mientras que los sillares (tabaco, naranja, gris y naranja con blanco)

están por debajo de la resistencia mínima requerida a excepción del sillar rosa con  $66 \text{ kg/cm}^2$ .

- De la fluorescencia de rayos X se tiene:

Que en los sillares se encuentra que tienen en común cinco elementos (silicio, potasio, calcio, hierro y cobre) y la diferencia de sus componentes es un elemento solamente (titanio para el sillar gris, bismuto para el naranja con blanco, estroncio para el naranja, zinc para el rosa y titanio para el tabaco) que está asociado muy probablemente al color. El elemento que predomina más en todos es el hierro.

La cal y la ceniza volante coinciden en el hierro y el calcio. La ceniza muestra además bario, potasio y cobre, que probablemente influyen en la baja permeabilidad generada al material.

- De la difracción de rayos X se tiene:

Se identificaron que algunos de los sillares tienen componentes amorfos (sillar color tabaco, naranja, naranja con blanco y gris) y solo uno no (sillar color rosa) por lo que no debe considerarse como sillar porque presenta una estructura diferente (cristalina). Por lo que con rayos X no se puede identificar bien todos sus minerales, solo con la ayuda de la fluorescencia.

Durante el estudio del proceso de evolución del material tepetate-cal y tepetate-cal-ceniza volante, todas las fases son cristalinas, las cuales no se vieron afectados por la adición de cal hidratada, sólo la formación de calcita va aumentando con el tiempo, lo que puede probablemente explicar el aumento de resistencia y disminución de la permeabilidad de los materiales propuestos.

- Los materiales cristalinos (tepetate-cal, tepetate-cal-ceniza volante y sillar rosa) son más resistentes y menos permeables que los materiales amorfos (sillares tabaco, naranja, naranja con blanco y gris) en estudio y esto se debe a su estructura.

## LITERATURA CITADA

- **Abdullah Zafar, Ji Yang, Steven J. Geib, Andrew D. Hamilton, 1996** “*Linked bis-isophthalic acid derivatives as bulding blocks in the design of self-assembling structures*”, Tetrahedron Letters, 37(14): 2327-2330
- **Aguirre-Díaz, GJ, y McDowell FW (1991)**, “LA SECCIÓN volcánica en Nazas, Durango, MEXICO, Y LA POSIBILIDAD DE volcanismo del Eoceno generalizada dentro de la Sierra Madre Occidental”, *J. Geophys. Res.*,96(B8), 13,373-13,388, doi: 10.1029/91JB00245.
- **Alvarez de Buergo M., Fort R., Gomez-Heras M. 2004**, “*El monasterio de Ucles (Cuenca España): caracterización y deterioro de los materiales de construcción*”, *Mater Construcc.* 54(275):5-22
- **Álvarez-Solís, José D., Terrera Cerrato R. y Etchevers Barra J.D. 2000**. “*Actividad microbiana en tepetate con incorporación de residuos orgánicos*”, *Agrociencia.* 34(5): 523-532
- **Alvarez-Manilla Aceves A., Itandehui Martínez Peña, Pérez Salazar A.P. , Vázquez Paulino J.C., 2002** “*Caracterización de suelos y control espacial por medio de los sistemas de información geográfica; caso valle de Querétaro*”, *Publicación Técnica No. 203 Sanfandila, Qro, INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE*
- **Anand K.B., Vinod Vasudevan, Ramamurthy K., 2003**, “*Water permeability assessment of alternative masonry systems*”, *Building and Environment*, 38(7): 947-957.
- **Arredondo, F. 1980**. “*Cales*”. *Estudio de Materiales*, Inst. Eduardo Torroja, CSCI, Madrid, 34 pp.
- **Arredondo, F. 1980**. “*El Yeso*”. *Estudio de materiales II*. Inst. Eduardo Torroja, CSCI, Madrid, 65 pp.
- **ASTM C67 – 11**, “*Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile*” ASTM International, West Conshohocken, PA. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- **ASTM D1557 - 09** “*Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2,700 kN-m/m<sup>3</sup>))*” ASTM International, West Conshohocken, PA. [www.astm.org](http://www.astm.org)

- **ASTM D698 - 07e1** “*Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>))*” ASTM International, West Conshohocken, PA. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- **ASTM Standard D 2487, 2007.** “*Standard Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soils Classification System)*”.ASTM International, West Conshohocken, PA. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- **ASTM D 422-63 (2007)** “*The Method for Particle-size analysis Soils*”. ASTM International, West Conshohocken, PA. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- **ASTM Standard D 4318, 2000.** “*Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*”. ASTM International, West Conshohocken, PA. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- **ASTM Standard D 854, 2010.** “*Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*”. ASTM International, West Conshohocken, PA. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- **ASTM D2434 – 68. 2006.** “*Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head)*”, Annual Book of ASTM Standards , ASTM International, West Conshohocken, PA
- **ASTM Standard D 2166, 2006.** “*Standard Test Method for unconfined compressive strength of cohesive soil*”. ASTM International, West Conshohocken, PA. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- **Báez, A., J.D. Etchevers, C. Hidalgo, C. Prat, V. Ordaz y R. Núñez. 2002.** “*C orgánico y P-Olsen en tepetates cultivados de México*”. *Agrociencia*, 36: 643-653
- **Belaidi, A.S.E. , Azzouz, L., Kadri, E., Kenai, S., 2012** “*Effect of natural pozzolana and marble powder on the properties of self-compacting concrete*”, *Construction and Building Materials*, 31:251-257.
- **Bessenouci, M. Z., Bibi Triki, N. E., Khelladi, S., Draoui, B., Abene A., 2011,** “*The Apparent Thermal Conductivity of Pozzolana Concrete*”, *Physics Procedia*, 21: 59-66
- **Borrelli, E., Laurenzi Tabasso, M., Sanchez Martínez A.E., 1996,** “*Realización de muestras de mortero con cal aérea para el estudio de productos consolidantes: propuesta metodológica*”, Congreso internacional de rehabilitación del patrimonio arquitectónico y edificación, Granada, España, p. 307-313
- **Bowles, J.,** “*Propiedades Geofísicas de los suelos*” Ed. Mc. Graw Hill, 1982

- **Etchevers J.D., C. Hidalgo, C. Prat y P. Quantín. 2004.** “*Tepetates of México*”, Encyclopedia of Soil Science. Lal R. (edt.). Marcel Dekker. Nueva York. 1-4 *On line*: [www.dekker.com/servlet/product/DOI/101081EESS120017323](http://www.dekker.com/servlet/product/DOI/101081EESS120017323).
- **Etchevers, D.J., Rosa, M., López-Claude, Zebrowski y Peña, D, 1992.** “*Características químicas de tepetates de referencia de los estados de México y Tlaxcala, México*” TERRA 10: 171-182
- **Flores Delgadillo, L., Alcalá Martínez, J.R., 2004** “*Manual de Procedimientos Analíticos*”, Laboratorio de Física de Suelos, Universidad Nacional Autónoma De México, Instituto de Geología, Departamento de Edafología
- **Flores, D., González, A., Alcalá, J.R., Gama, J.E., 1991,** “*Los tepetates*”, Revista de Geografía INEGI, 3: 37-42.
- **Flores-Román D., González-Velázquez, A., Alcalá-Martínez, J. R. y GamaCastro, J.E., 1990,** “*Los Tepetates*” Revista del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 3(4):
- **Flores-Román, D., González, V. A., Alcalá, M. J. R., and Gama, C. J. E., 1991,** “*Los Tepetates*” Revista de Geografía”, 3 (4): 37-41.
- **Galetakis M, Raka S., 2004,** “*Utilization of limestone dust for artificial stone production: an experimental approach*” Miner Eng; 17(2):355–7.
- **Gama Castro, J., Solleiro Rebolledo, E., Flores Roman, D., Sergey Sevod, Cabadas Baez, H., Diaz Ortega J., 2007** “*Los tepetates y su dinamica sobre la degradación y el riesgo ambiental: el caso de Glasis Buenavista, Morelos*”, Boletín de la sociedad Geologica Mexicana, 59 (1) : 133-145.
- **Garate, I., 1994,** “*Artes de la cal*”, Ministerio de cultura, Madrid, 326 pp.
- **García, E.A. 1961,** “*Estudio de los suelos tepetatosos y las posibilidades de recuperación agrícola*”, Escuela Nacional de Agricultura, Tesis Licenciatura, Chapingo, México,
- **García Rivero J.L. 2008,** “*Manual técnico de construcción*”, Cementos Apasco, SA de CV.. Editorial Fernando Porrúa, 4a. edición, , Impreso y hecho en México ISBN-968-7680-26-1
- **García Vicente, J., García Verduch, A., 1962,** “*La haloisita, materia prima de cerámica*”, Bol. Soc. Esp. Ceram., 1(8) : 531-538



- **Ghrici, M. Kenai, S., Said-Mansour M., 2007,** “*Mechanical properties and durability of mortar and concrete containing natural pozzolana and limestone blended cements*”, Cement and Concrete Composites, 29 (7): 542-549.
- **González Yunta, F., 2007,** “*La técnica tradicional del esgrafiado con mortero del cal, un recurso publicitario actual*”, I Jornada Nacional de Investigación en Edificación – Universidad Politecnica de Madrid
- **Google Maps 2012,** <http://maps.google.com.mx/>
- **Guerrero, E., Luna-Mosqueda J.L. y Caballero-Ochoa E., 1992,** “*Distribución de los tepetates de la República Mexicana escala 1:4,000,000*”: TERRA 10, 131-136
- **Gutierrez-Castorena, y Ortiz-Solorio, C.A. 1992,** “*Caracterización del tepetate blanco en Texcoco, México*” TERRA, 10, 202-209.
- **Heine, K. and Schönhals, E. 1973.** “*Entstehung und Alter der “toba”- Los tepetates y su dinámica ambiental*”. 145 Sedimente in Mexiko. Eiszeitalter und Gegenwart 23/24, 201-215.
- **Hidalgo M., C. 1995.** “*Étude d’e horizons indurés, dans les sols volcaniques de la vallée de México*”. Tesis doctoral. Paris, Francia.
- **Hidalgo-Moreno C., Gutiérrez-Castorena, M.C. 2004.** “*Los tepetates de la ladera oeste del cerro Tláloc saprolita, sin endurecimiento pedológico*”. TERRA Latinoamérica, 22(1): 11-21
- **Kandora Montrone K.A., 2008.** “*Factibilidad técnico económica de producción de cal hidráulica alta resistencia y alta rentetividad*”. Memoria para optar al título de ingeniero civil de mina, Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería de Minas.
- **Kinuthia, J.M., Wild, S., Jones, G.I., 1999.** “*Effects of monovalent and divalent metal sulphates on consistency and compaction of lime-stabilized kaolinite*”. Appl. Clay Sci. 14, 27–45.
- **Kenai S, Soboyejo W, Soboyejo A., 2004,** “*Some engineering properties of limestone concrete*”, Mater Manuf Process 19(5):949–61.
- **Ksenija J., Dragan N., Dragan B., 2012,** “*Concrete paving blocks and flags made with crushed brick as aggregate*”, Construction and Building Materials 28 659–663

- **Littleton, 1995.** “Littleton Some observations on the presence of sulphates in lime stabilized clay soils”. Buxton Lime Industries Ltd.
- **Llerena, L.D., 1947,** “*El distrito de conservación del suelo y agua de Chapingo, México: Chapingo, México*”, Escuela Nacional de Agricultura, tesis de licenciatura, Chapingo, México.
- **López-Lara, T., Horta-Rangel, J., Hernández-Zaragoza, J. B. and Castaño, V. M., 2006,** “*Properties of waste soil—hydrated lime composite*” MECHANICS OF TIME-DEPENDENT MATERIALS V. 10( 2), 155-163.
- **Lopez-Lara T., Hernández-Zaragoza J.B., Horta Rangel J.M., Pérez-Rea M.L. y Rosales-Hurtado D., 2010,** “*Caracterización del material denominado Tepetate*”, XXV Reunión Nacional de Mecánica de suelos e ingeniería Geotécnica, Editorial: Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotecnia. 1: 289-293.
- **Manning D. 2004,** “*Exploitation and use of quarry fines*”, Technical Report No. 087/MIST2/DACM/01, MIRO Mineral Solutions, Manchester, UK..
- **Martínez Molina, G. 2011,** “*Índices de anillos de crecimiento en coníferas del eje neovolcanico transversal de México*”, Tesis presentada como requisito para obtener el grado de maestro en ciencias, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México.
- **Maslen, E.N., V.A. Streltsov, N.R. Streltsova, and N. Ishizawa (1994)** “*Synchrotron X-ray study of the electron density in  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*” *Acta Cryst.*, 50, 435–441.
- **McCallister, L.D., Tidwell, L., 1997.** “Double lime treatment to minimize sulphate-lime induced heave in expansive clays”, Draft Technical Report US Army Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.
- **Mehta, P.K., 1981,** “*Studies on blended Portland cements containing Santorin earth*”, *Cement Concrete Res* 11(4):507–18.
- **Miehlich, G., 1992,** “*Formation and properties of tepetate in the central highlands of Mexico*” *TERRA* 10, 137-144.
- **Moreno Rabasco, M. C., Martínez Martínez, M. R., 2005,** “*Valoración del residuo de rapa de uva como bioadsorbente para la eliminación de cadmio de efluentes acuosos*”, Tesis de maestría, Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Química

- **Navarro-Garza, H., A. Pérez-Olvera y D. Flores-Sánchez. 2004.** “Productividad del tepetate con sistemas rotacionales”. *Terra Latinoamericana* 22:71-79.
- **Nicola A., Fulvio P., 2011,** “Constitutive modelling of tuff masonry in direct shear”, *Construction and Building Materials*, 25(4): 1612-1620.
- **Nimlos, T.J. y Ortiz-Solorio, C.A. 1987.** *Tepetate the rock mat. J. Soil Water Conservation.* 42:83-86.
- **NMX-C-404-ONNCCE (2005),** “Industria de la construcción-bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural-especificaciones y métodos de prueba”, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, México, 9 pp.
- **NMX-C-036-ONNCCE (2004),** “Industria de la construcción – bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines –resistencia a la compresión – método de prueba”, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, México, 9 pp.
- **NMX-C-037-ONNCCE (2005),** “Industria de la construcción - Bloques, ladrillos o tabiques y tabicones – Determinación de la absorción de agua y absorción máxima inicial de agua”, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, México, 9 pp.
- **NMX-C-038-ONNCCE (2004),** “Determinación de las dimensiones de ladrillos y bloques para la construcción”, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, México, 9 pp.
- **Peña Hernández, Raquel y Perdomo Molina, Antonio C. (2001).** “Cabuqueros, repartidores, labrantes y entulleros: los oficios de las canteras de tosca”. *El Pajar: Cuaderno de Etnografía Canaria. II Época. N° 8. Enero 2001*, pp. 49/52. ISSN 1136 4467.
- **Peña H.D., Miranda, M.E., Zebrowski, C. y Arias, M. H., 1992,** “Resistencia de los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada” *TERRA*, 10, 164-177.
- **Peña, H.D., y Zebrowski, C., 1992,** “Los suelos y tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada” *TERRA*, 10, 151-163.
- **Pozo Rodriguez, M., Gonzales Yelamos, J., Giner Robles, J., 2004,** “Geología practica, introducción al reconocimiento de materiales y análisis de mapas”, PEARSON, Prentice Hall, España.

- **Ramírez J. Rubén (2004)**, *“Estudio del Comportamiento Mecánico de la Mampostería No-Reforzada en Compresión y Bajo Tensión Diagonal”*, Tesis de Maestría, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- **Reyes Melo, M. E., Hinojosa Rivera, M., 2000** *“Estructura de Sólidos Amorfos”*, Doctorado en Ingenierías de Materiales FIME-UANL, Ingenierías 3(9): 7-14.
- **Rico, A. y del castillo, H., 1986**, *“La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres”* Tomo 1, Capítulo 16, Editorial Limusa, México, D.F. 1986
- **Rico Rodríguez, A., del Castillo Mejía, H., 1992** *“Consideraciones Sobre Compactación De Suelos En Obras De Infraestructura De Transporte”*, Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Documento Técnico No. 7 Sanfandila, Qro.
- **Rodríguez-Tapia, S., Ortíz-Solorio C.A., Ramírez J. Rubén (2004)**, *“Estudio del Comportamiento Mecánico de la Mampostería No-Reforzada en Compresión y Bajo Tensión Diagonal”*, Tesis de Maestría, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- **Rodríguez, S., Gutiérrez-Castorena, M.C., Hidalgo, C. y. Ortiz-Solorio, C.A., 1999**, *“Intemperismo en Tepetates y en cenizas volcánicas y su influencia en la formación de Andisole”* TERRA, 17, 97-108.
- **Salas Álvarez G., Vatin-Pérignon N., Poupeau G. 1990** *“El sillar de Arequipa (Perú), características de los depósitos de flujos piroclásticos de la quebrada Anas Huayco”*, en *Symposium internacional "Géodynamique andine": résumés des communications*. París: ORSTOM, 1990, p. 333-335. (Colloques et Séminaires). Symposium International "Géodynamique Andine", 5:15-17.
- **Senthivel R., Lourenço P.B., 2009**, *“Finite element modelling of deformation characteristics of historical stone masonry shear walls”*, Engineering Structures, 31 (9): 1930-1943
- **Siméon, 1885**, *“ Dictionnaire de la langue Nahuatl ou Mexicaine”*, Paris, Imprimerie Nationale, boevi-710 p
- **Tagnit-Hamou A, Pertove N, Luke K., 2003**, *“Properties of concrete containing diatomaceous earth”*, ACI Mater J 100(1):73–8.
- **Tarback y Lutgens, 1999**, *“Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física”*, Sexta Edición en castellano, Prentice Hall, Madrid. 562 p.

- **Tayfun Uygunoglu, Ali Kecebas, 2011**, “*LCC analysis for energy-saving in residential buildings with different types of construction masonry blocks*”, Energy and Buildings 43 2077–2085.
- **Tena, A (2004)** “*Apuntes de estructuras de mampostería*”, UAM Azcapotzalco, México.
- **Turgut P., 2008**, “*Properties of masonry blocks produced with waste limestone sawdust and glass powder*”, Construction and Building Materials, 22 (7): 1422-1427.
- **Valdés, L.A., 1970**, “*Características morfológicas y mineralógicas de los suelos de tepetate de la Cuenca de México: México*”, tesis de Maestría en Ciencias, México, México.
- **Velázquez, R. A. S., D. Flores R., y O. A. Acevedo S. 2001**, “*Formación de agregados en tepetate por influencia de especies vegetales*”. Agrocienca 35(3):311-320.
- **Vernet, C.et Cadoret, G.,1991**. “*Suivi en continu de l'évolution chimique et mécanique des bétons à hautes performances pendant les premiers jours*”, Compte- rendus du Colloque Voies Nouvelles du Béton Cachan, France,pp. 17
- **Williams, B.J. y Ortiz-Solorio, Carlos. 1981**. “*Middle american folk soil taxonomy*”. Annals of the Association of American Geographers, 71(3): 335-358.
- **Zebrowski, C., 1992**, “*Los suelos volcánicos endurecidos en América Latina*”, en TERRA, 10, 15-23.

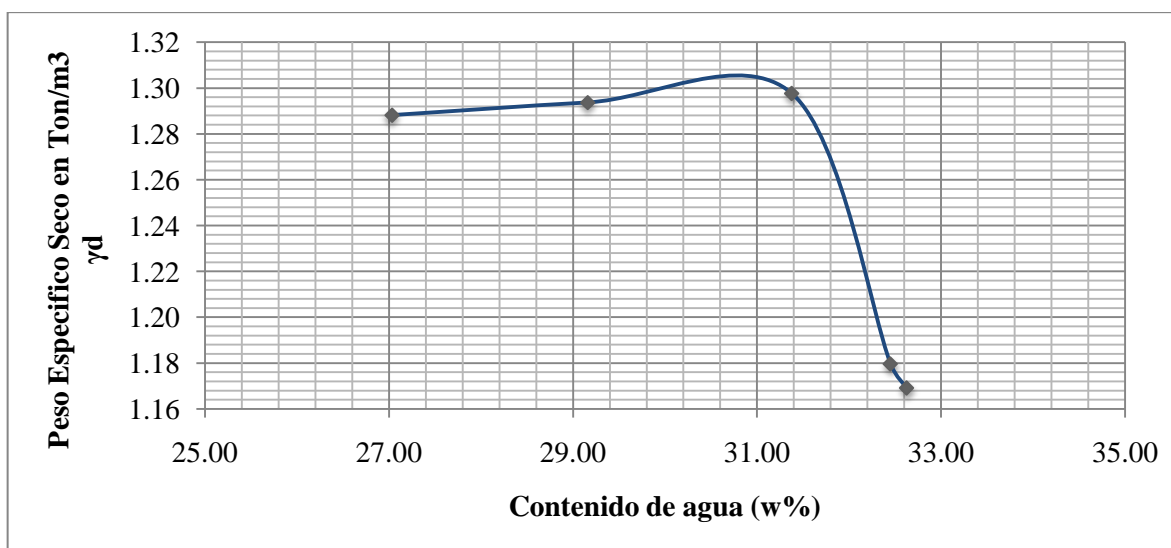
## 6 ANEXOS

### 6.1 Tepetate Bajo Proctor A Diferentes Energías De Compactación

**Tabla 6.1** Tepetate Bajo Proctor Estándar ( $E_e = 6 \text{ kg cm/cm}^3$ )

NUMERO DE CAPAS	3
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	25

PRUEBA NUMERO	1	2	3	4	5
Peso Molde + Suelo Húmedo (g)	5430.90	5463.30	5495.10	5361.40	5350.30
Volumen De Muestra Debido Al Molde	938.98	938.98	938.98	938.98	938.98
Peso Del Molde (g)	3894.30	3894.30	3894.30	3894.30	3894.30
Peso Suelo Húmedo (g) ( $W_m$ )	1536.60	1569.00	1600.80	1467.10	1456.00
Peso Especifico Húmedo ( $\text{Kg/m}^3$ ) ( $Y_m$ )	1.64	1.67	1.70	1.56	1.55
Capsula Numero	2.00	1.00	3.00	4.00	5.00
Peso Capsula + Suelo Húmedo (g)	228.97	233.10	289.57	215.18	216.15
Peso Del Suelo Húmedo	102.53	110.20	172.34	100.00	100.00
Peso De Tara	126.44	122.90	117.23	115.18	116.15
Peso Capsula + Suelo Seco (g)	207.15	208.22	248.41	190.68	191.55
Peso Del Agua (g)	21.82	24.88	41.16	24.50	24.60
Peso Suelo Seco (g)	80.71	85.32	131.18	75.50	75.40
Contenido De Agua (w%)	27.04	29.16	31.38	32.45	32.63
Peso Especifico Seco ( $\text{Kg/m}^3$ ) ( $Y_d$ )	1.29	1.29	1.30	1.18	1.17

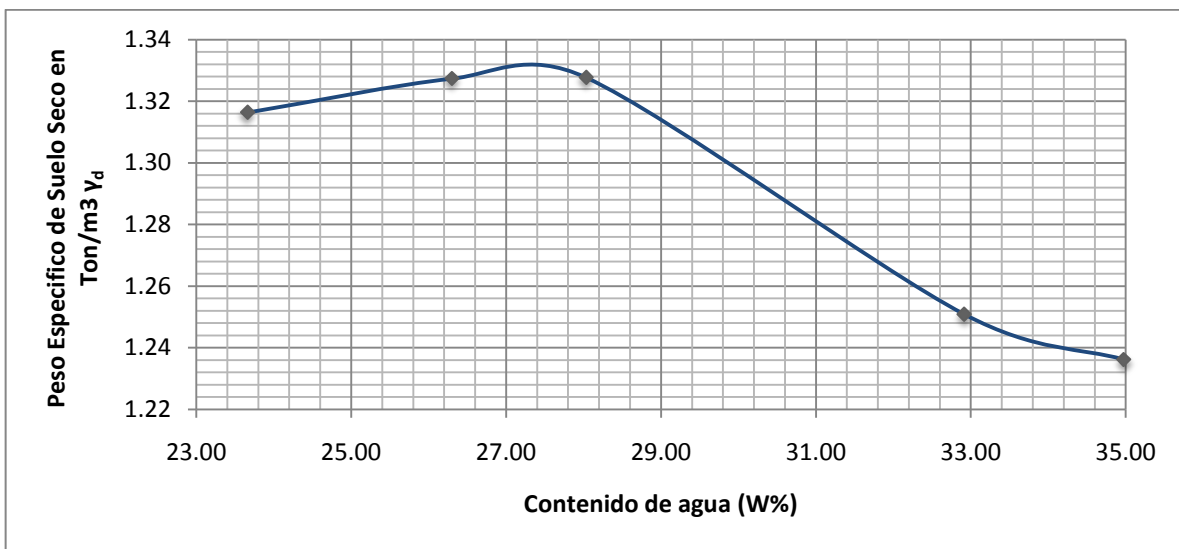


**Figura 6.1** Tepetate Bajo Proctor Estándar ( $E_e = 6 \text{ kg cm/cm}^3$ )

**Tabla 6.2 Tepetate Bajo Proctor con Energía de compactación = 12.89 kg cm/cm<sup>3</sup>**

NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	56

PRUEBA NUMERO	1	2	3	4	5
Peso Molde + Suelo Húmedo (g)	9152.90	9257.10	9307.30	9227.30	9240.00
Volumen De Muestra Debido Al Molde	2143.37	2143.37	2143.37	2143.37	2143.37
Peso Del Molde (g)	5663.80	5663.80	5663.80	5663.80	5663.80
Peso Suelo Húmedo (g) (Wm)	3489.10	3593.30	3643.50	3563.50	3576.20
Peso Especifico Húmedo (Kg/m3) (Ym)	1.63	1.68	1.70	1.66	1.67
Capsula Numero	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Peso Capsula + Suelo Húmedo (g)	269.97	267.83	225.50	250.07	231.73
Peso Del Suelo Húmedo	144.70	140.21	103.85	122.88	112.07
Peso De Tara	125.27	127.62	121.65	127.19	119.66
Peso Capsula + Suelo Seco (g)	242.28	238.63	202.76	219.64	202.69
Peso Del Agua (g)	27.69	29.20	22.74	30.43	29.04
Peso Suelo Seco (g)	117.01	111.01	81.11	92.45	83.03
Contenido De Agua (w %)	23.66	26.30	28.04	32.92	34.98
Peso Especifico Seco (Kg/m3) (Yd)	1.32	1.33	1.33	1.25	1.24

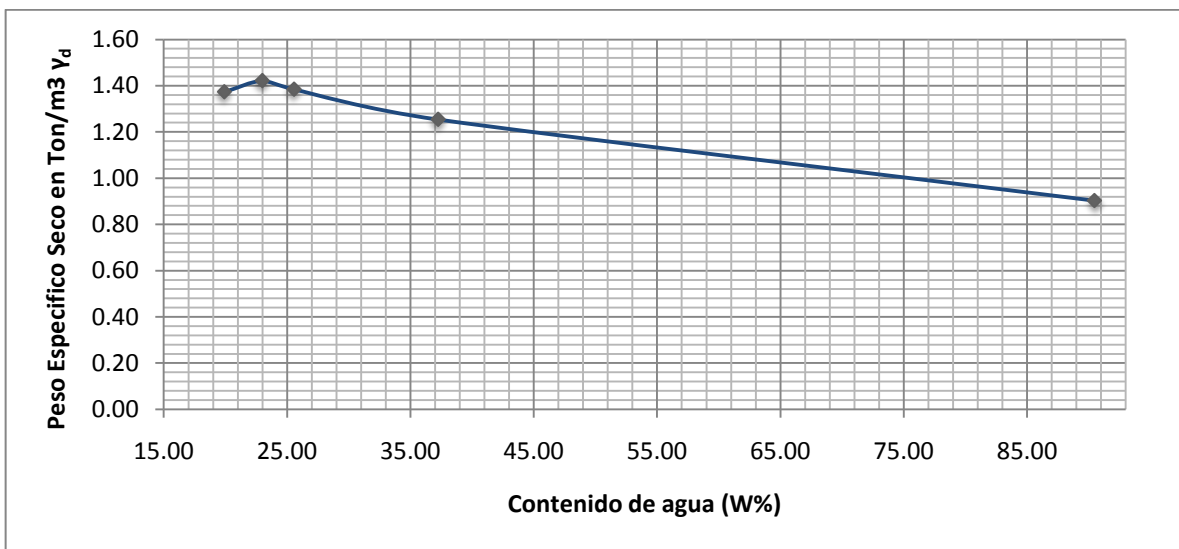


**Figura 6.2 Tepetate Bajo Proctor con energía de compactación = 12.89 kg cm/cm<sup>3</sup>**

**Tabla 6.3 Tepetate Bajo Proctor modificada (  $E_e = 27 \text{ kg cm/cm}^3$  )**

NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	24

PRUEBA NUMERO	1	2	3	4	5
Peso Molde + Suelo Húmedo (g)	5322.00	5417.00	5408.00	5391.40	5390.30
Volumen De Muestra Debido Al Molde	938.36	938.36	938.36	938.36	938.36
Peso Del Molde (g)	3776.10	3776.10	3776.10	3776.10	3776.10
Peso Suelo Húmedo (g) (Wm)	1545.90	1640.90	1631.90	1615.30	1614.20
Peso Especifico Húmedo (Kg/m3) (Ym)	1.65	1.75	1.74	1.72	1.72
Capsula Numero	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Peso Capsula + Suelo Húmedo (g)	271.40	274.39	233.35	228.21	264.29
Peso Del Suelo Húmedo	146.28	153.70	108.85	103.49	143.81
Peso De Tara	125.12	120.69	124.50	124.72	120.48
Peso Capsula + Suelo Seco (g)	247.09	245.65	211.18	205.93	230.77
Peso Del Agua (g)	24.31	28.74	22.17	28.09	68.31
Peso Suelo Seco (g)	121.97	124.96	86.68	75.40	75.50
Contenido De Agua (w %)	19.93	23.00	25.58	37.25	90.48
Peso Especifico Seco (Kg/m3) (Yd)	1.37	1.42	1.38	1.25	0.90



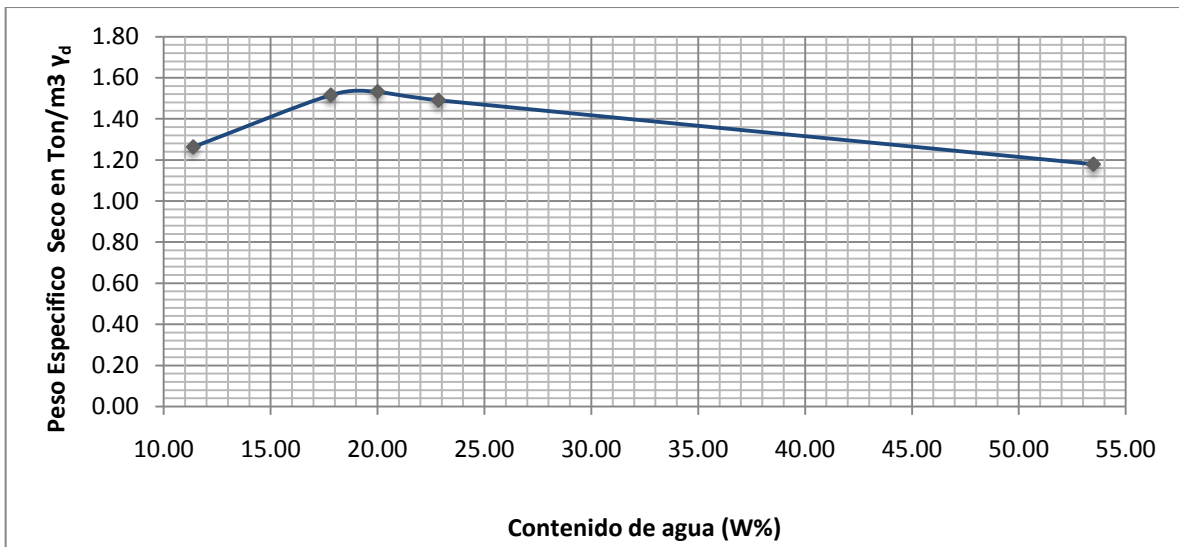
**Figura 6.3 Tepetate Bajo Proctor modificada (  $E_e = 27 \text{ kg cm/cm}^3$  )**



**Tabla 6.4 Tepetate Bajo Proctor con energía de compactación = 30 kg cm/cm<sup>3</sup>**

NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	26

PRUEBA NUMERO	1	2	3	4	5
Peso Molde + Suelo Húmedo (g)	5098.70	5454.60	5503.80	5497.20	5476.80
Volumen De Muestra Debido Al Molde	939.00	939.00	939.00	939.00	939.00
Peso Del Molde (g)	3777.30	3777.30	3777.30	3777.30	3777.30
Peso Suelo Húmedo (g) (Wm)	1321.40	1677.30	1726.50	1719.90	1699.50
Peso Especifico Húmedo (Kg/m3) (Ym)	1.41	1.79	1.84	1.83	1.81
Capsula Numero	2.00	2.00	1.00	3.00	4.00
Peso Capsula + Suelo Húmedo (g)	355.70	298.97	356.42	302.43	322.16
Peso Del Suelo Húmedo	239.54	182.81	233.48	180.24	194.98
Peso De Tara	116.16	116.16	122.94	122.19	127.18
Peso Capsula + Suelo Seco (g)	331.20	271.32	317.49	268.90	281.77
Peso Del Agua (g)	24.50	27.65	38.93	33.53	40.39
Peso Suelo Seco (g)	215.04	155.16	194.55	146.71	75.50
Contenido De Agua (w %)	11.39	17.82	20.01	22.85	53.50
Peso Especifico Seco (Kg/m3) (Yd)	1.26	1.52	1.53	1.49	1.18

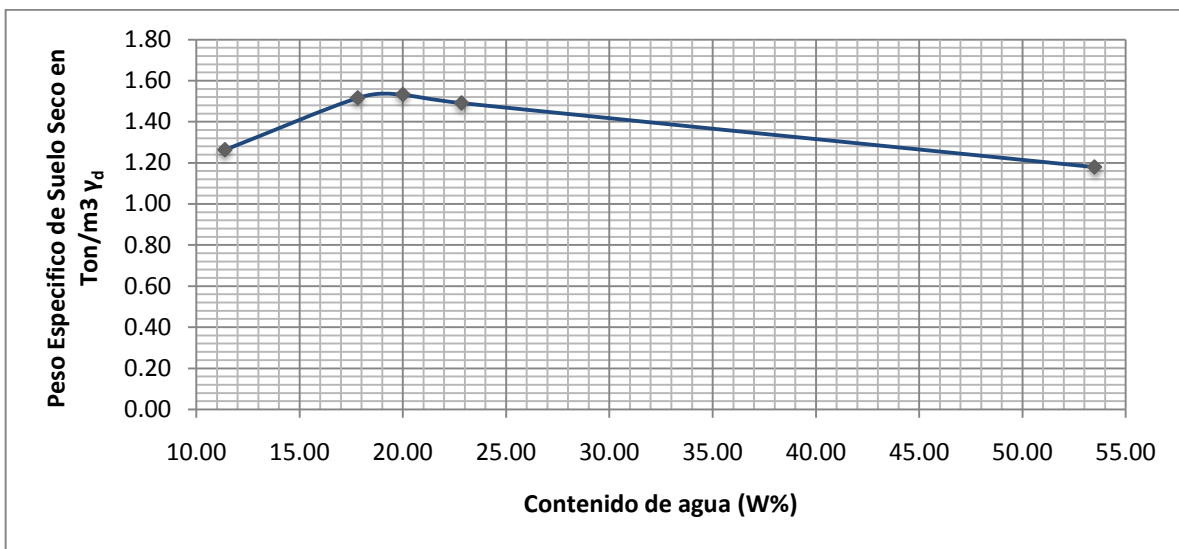


**Figura 6.4 Tepetate Bajo Proctor con energía de compactación = 30 kg cm/cm<sup>3</sup>**

**Tabla 6.5 Tepetate Bajo Proctor con energía de compactación = 40 kg cm/cm<sup>3</sup>**

NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	34

PRUEBA NUMERO	1	2	3	4	5
Peso Molde + Suelo Húmedo (g)	5344.90	5400.00	5454.90	5436.60	5400.50
Volumen De Muestra Debido Al Molde	939.00	939.00	939.00	939.00	939.00
Peso Del Molde (g)	3777.90	3777.90	3777.90	3777.90	3777.90
Peso Suelo Húmedo (g) (Wm)	1567.00	1622.10	1677.00	1658.70	1622.60
Peso Especifico Húmedo (Kg/m3) (Ym)	1.67	1.73	1.79	1.77	1.73
Capsula Numero	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Peso Capsula + Suelo Húmedo (g)	340.30	281.68	259.16	293.45	279.25
Peso Del Suelo Húmedo	220.89	156.67	129.53	163.67	159.69
Peso De Tara	119.41	125.01	129.63	129.78	119.56
Peso Capsula + Suelo Seco (g)	307.27	255.62	237.35	260.22	243.91
Peso Del Agua (g)	33.03	26.06	21.81	33.23	35.34
Peso Suelo Seco (g)	187.86	130.61	107.72	130.44	124.35
Contenido De Agua (w %)	17.58	19.95	20.25	25.48	28.42
Peso Especifico Seco (Kg/m3) (Yd)	1.42	1.44	1.49	1.41	1.35



**Figura 6.5 Tepetate Bajo Proctor con energía de compactación = 40 kg cm/cm<sup>3</sup>**

## 6.2 Compresión Simple

### 6.2.1 Compresión simple de tepetate a diferentes energías de compactación

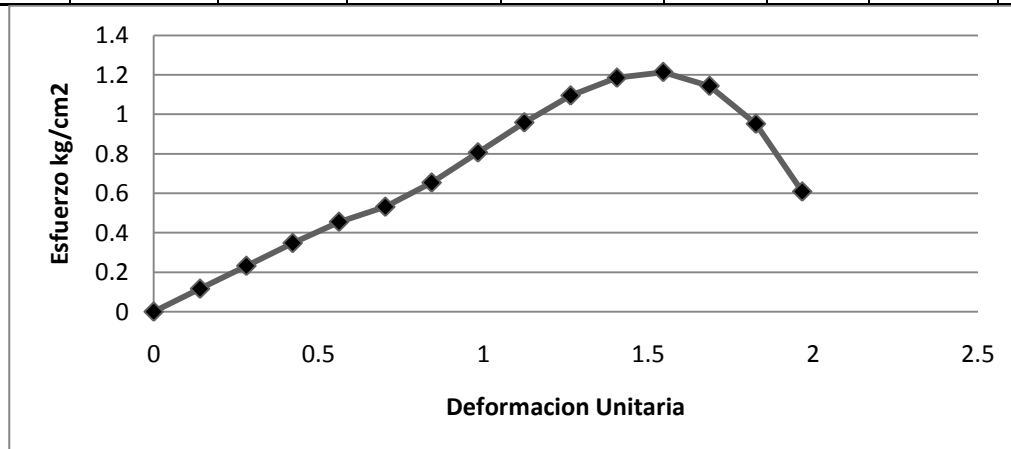
**Tabla 6.6** Compresión simple para  $E_e = 6 \text{ kg cm/cm}^3$  Probeta 1

Area corregida (cm <sup>2</sup> )	10.5785		Promedio				
Longitud inicial(cm)	9.04	90.4	Diámetros	3.67	3.68	3.66	3.67
Ancho (cm)	3.670		Longitudes		9.03	9.05	9.04

$$w\% = 28.925 \quad W_{mh} = 98.15$$

$$W_s = 69.76$$

Lectura Micrometro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	area corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0	10.5785	0.000
5	1.5	0.82	0.1161	0.127	1.23	0.1405	10.5934	0.011
10	3	0.82	0.2319	0.254	2.46	0.2810	10.6083	0.023
15	4.5	0.82	0.3474	0.381	3.69	0.4215	10.6232	0.034
20	5.9	0.82	0.4548	0.508	4.838	0.5619	10.6383	0.045
25	6.9	0.82	0.5311	0.635	5.658	0.7024	10.6533	0.052
30	8.5	0.82	0.6533	0.762	6.97	0.8429	10.6684	0.064
35	10.5	0.82	0.8059	0.889	8.61	0.9834	10.6835	0.079
40	12.5	0.82	0.9581	1.016	10.25	1.1239	10.6987	0.094
45	14.3	0.82	1.0945	1.143	11.726	1.2644	10.7139	0.107
50	15.5	0.82	1.1846	1.27	12.71	1.4049	10.7292	0.116
55	15.9	0.82	1.2135	1.397	13.038	1.5454	10.7445	0.119
60	15	0.82	1.1431	1.524	12.3	1.6858	10.7599	0.112
65	12.5	0.82	0.9513	1.651	10.25	1.8263	10.7753	0.093
70	8	0.82	0.6079	1.778	6.56	1.9668	10.7907	0.060



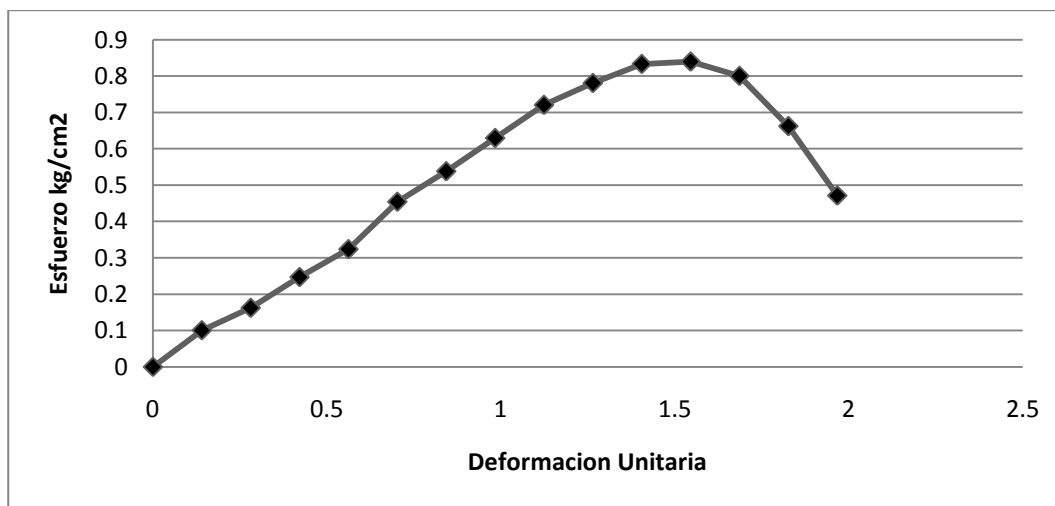
**Figura 6.6** Grafica esfuerzo-deformación para  $E_e = 6 \text{ kg cm/cm}^3$  Probeta 1

**Tabla 6.7** Compresión simple para  $E_e = 6 \text{ kg cm/cm}^3$  Probeta 2

Area corregida (cm <sup>2</sup> )	10.7521	90.3					Promedio
Longitud inicial(cm)	9.03		Diámetros	3.69	3.66	3.65	3.67
Ancho (cm)	3.700		Longitudes		9.03	9.03	9.03

$w\% = 27.521$      $W_{mh} = 45.82$   
 $W_s = 33.21$

lectura Micrometro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	area corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0	10.5785	0.000
5	1.3	0.82	0.1006	0.127	1.066	0.1405	10.5934	0.010
10	2.1	0.82	0.1623	0.254	1.722	0.2810	10.6083	0.016
15	3.2	0.82	0.2470	0.381	2.624	0.4215	10.6232	0.024
20	4.2	0.82	0.3237	0.508	3.444	0.5619	10.6383	0.032
25	5.9	0.82	0.4541	0.635	4.838	0.7024	10.6533	0.045
30	7	0.82	0.5380	0.762	5.74	0.8429	10.6684	0.053
35	8.2	0.82	0.6294	0.889	6.724	0.9834	10.6835	0.062
40	9.4	0.82	0.7205	1.016	7.708	1.1239	10.6987	0.071
45	10.2	0.82	0.7807	1.143	8.364	1.2644	10.7139	0.077
50	10.9	0.82	0.8331	1.27	8.938	1.4049	10.7292	0.082
55	11	0.82	0.8395	1.397	9.02	1.5454	10.7445	0.082
60	10.5	0.82	0.8002	1.524	8.61	1.6858	10.7599	0.078
65	8.7	0.82	0.6621	1.651	7.134	1.8263	10.7753	0.065
70	6.2	0.82	0.4711	1.778	5.084	1.9668	10.7907	0.046



**Figura 6.7** Grafica esfuerzo-deformación para  $E_e = 6 \text{ kg cm/cm}^3$  Probeta 2

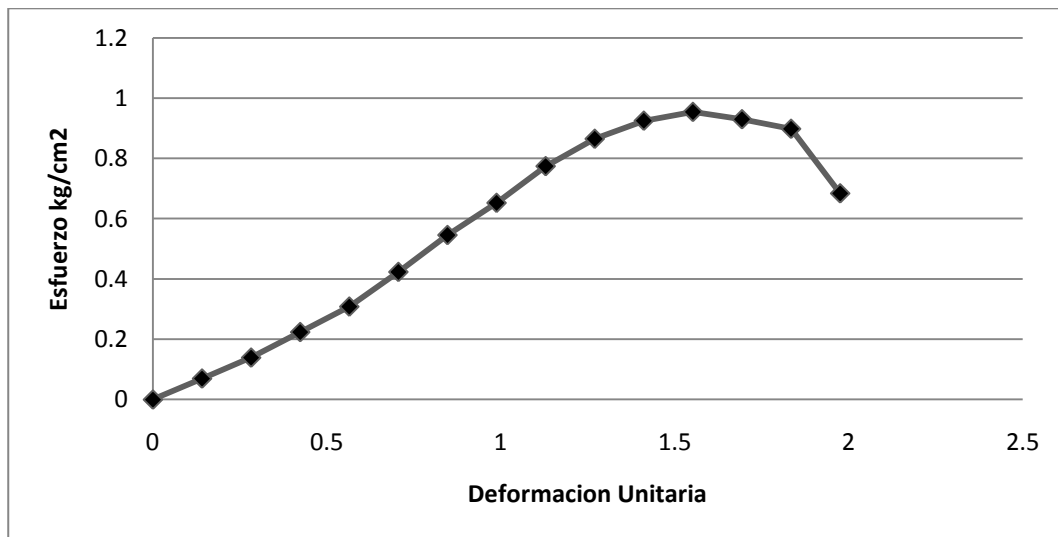
**Tabla 6.8** Compresión simple para  $E_e = 6 \text{ kg cm/cm}^3$  **Probeta 3**

Area corregida (cm <sup>2</sup> )	10.5785		Promedio				
Longitud inicial(cm)	9	90	Diámetros	3.67	3.67	3.67	3.67
Ancho (cm)	3.700		Longitudes		9.01	8.99	9

w% = 28.630    W<sub>mh</sub> = 104.12

W<sub>s</sub> = 74.31

lectura Micrometro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	area corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0	10.5785	0.000
5	0.9	0.82	0.0697	0.127	0.738	0.1411	10.5934	0.007
10	1.8	0.82	0.1391	0.254	1.476	0.2822	10.6084	0.014
15	2.9	0.82	0.2238	0.381	2.378	0.4233	10.6234	0.022
20	4	0.82	0.3083	0.508	3.28	0.5644	10.6385	0.030
25	5.5	0.82	0.4233	0.635	4.51	0.7056	10.6536	0.042
30	7.1	0.82	0.5457	0.762	5.822	0.8467	10.6688	0.054
35	8.5	0.82	0.6524	0.889	6.97	0.9878	10.6840	0.064
40	10.1	0.82	0.7741	1.016	8.282	1.1289	10.6993	0.076
45	11.3	0.82	0.8648	1.143	9.266	1.2700	10.7145	0.085
50	12.1	0.82	0.9247	1.27	9.922	1.4111	10.7299	0.091
55	12.5	0.82	0.9539	1.397	10.25	1.5522	10.7453	0.094
60	12.2	0.82	0.9297	1.524	10.004	1.6933	10.7607	0.091
65	11.8	0.82	0.8979	1.651	9.676	1.8344	10.7762	0.088
70	9	0.82	0.6839	1.778	7.38	1.9756	10.7917	0.067



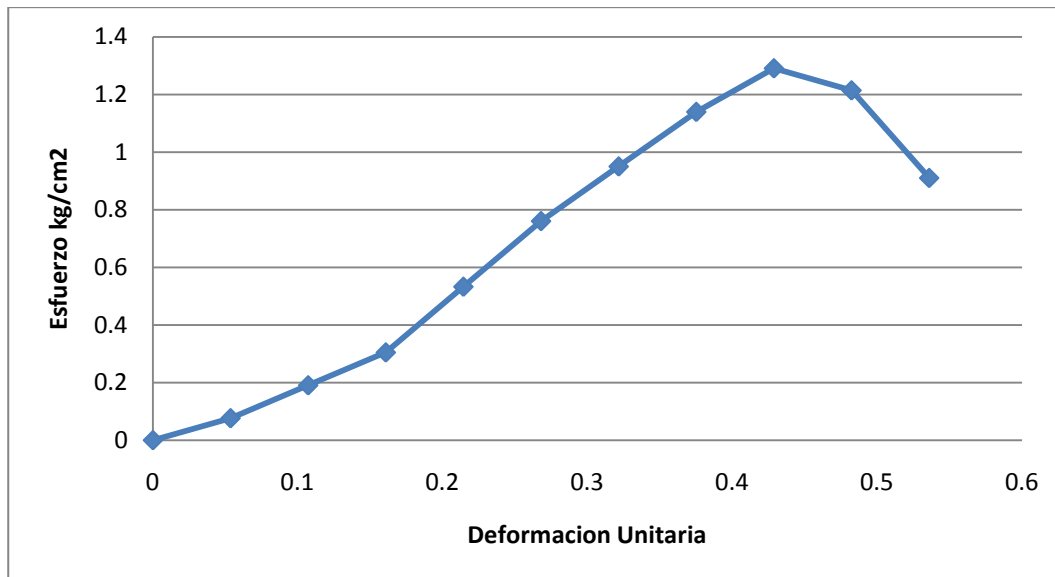
**Figura 6.8** Grafica esfuerzo-deformación para  $E_e = 6 \text{ kg cm/cm}^3$  **Probeta 3**

**Tabla 6.9** Compresión simple para  $E_e = 12.89 \text{ kg cm} / \text{cm}^3$  **Probeta 1**

Area corregida (cm <sup>2</sup> )	10.7521		Promedio				
Longitud inicial(cm)	9.33	93.3	Diámetros	3.7	3.7	3.7	3.7
Ancho (cm)	3.700		Longitudes		9.32	9.34	9.33

$w\% = 27.048$      $W_{mh} = 100.23$   
 $W_s = 73.12$

lectura Micrometro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformacion (mm)	carga (kg)	E	area corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0	10.7521	0.000
5	1	0.82	0.0762	0.05	0.82	0.0536	10.7579	0.007
10	2.5	0.82	0.1905	0.1	2.05	0.1072	10.7637	0.019
15	4	0.82	0.3046	0.15	3.28	0.1608	10.7694	0.030
20	7	0.82	0.5327	0.2	5.74	0.2144	10.7752	0.052
25	10	0.82	0.7606	0.25	8.2	0.2680	10.7810	0.075
30	12.5	0.82	0.9502	0.3	10.25	0.3215	10.7868	0.093
35	15	0.82	1.1397	0.35	12.3	0.3751	10.7926	0.112
40	17	0.82	1.2909	0.4	13.94	0.4287	10.7984	0.127
45	16	0.82	1.2143	0.45	13.12	0.4823	10.8042	0.119
50	12	0.82	0.9103	0.5	9.84	0.5359	10.8101	0.089

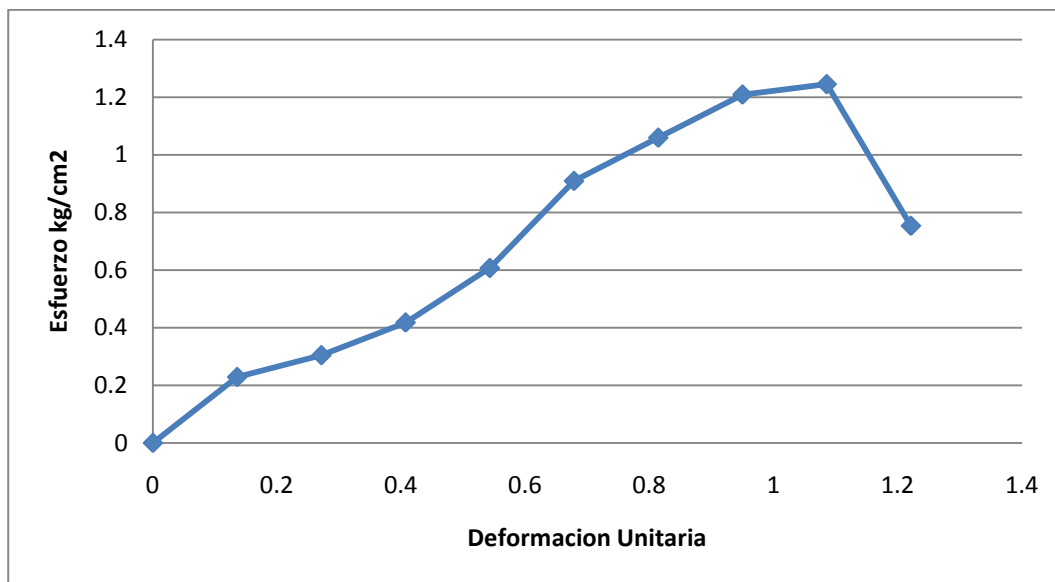


**Figura 6.9** Grafica esfuerzo-deformación para  $E_e = 12.89 \text{ kg cm} / \text{cm}^3$  **Probeta 1**

**Tabla 6.10** Compresión simple para  $E_e = 12.89 \text{ kg cm} / \text{cm}^3$  **Probeta 2**

Area corregida (cm2)	10.7521		Promedio				
Longitud inicial(cm)	9.36	93.6	Diametros	3.7	3.7	3.7	3.7
Ancho (cm)	3.700		Longitudes		9.36	9.36	9.36
			w%=	26.278	Wmh =	88.25	
					Ws =	65.06	

lectura Micrometro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm2)	deformacion (mm)	carga (kg)	E	area corregida (cm2)	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0	10.7521	0.000
5	3	0.82	0.2285	0.127	2.46	0.1357	10.7667	0.022
10	4	0.82	0.3042	0.254	3.28	0.2714	10.7814	0.030
15	5.5	0.82	0.4177	0.381	4.51	0.4071	10.7961	0.041
20	8	0.82	0.6068	0.508	6.56	0.5427	10.8108	0.060
25	12	0.82	0.9090	0.635	9.84	0.6784	10.8256	0.089
30	14	0.82	1.0590	0.762	11.48	0.8141	10.8404	0.104
35	16	0.82	1.2086	0.889	13.12	0.9498	10.8552	0.119
40	16.5	0.82	1.2447	1.016	13.53	1.0855	10.8701	0.122
45	10	0.82	0.7533	1.143	8.2	1.2212	10.8850	0.074



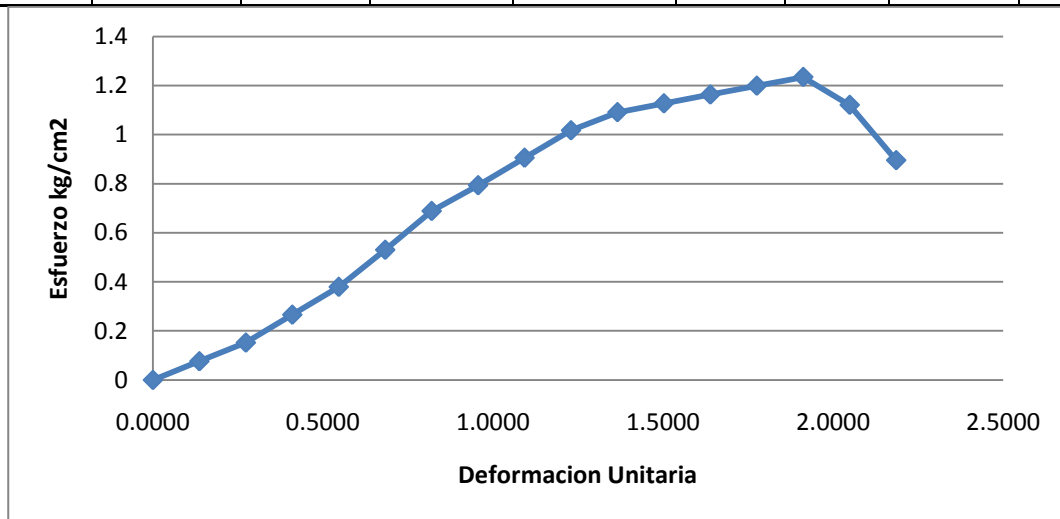
**Figura 6.10** Grafica esfuerzo-deformación para  $E_e = 12.89 \text{ kg cm} / \text{cm}^3$  **Probeta 2**

**Tabla 6.11** Compresión simple para  $E_e = 12.89 \text{ kg cm} / \text{cm}^3$  **Probeta 3**

Area corregida (cm <sup>2</sup> )	10.7521		Promedio				
Longitud inicial(cm)	9.3	93	Diametros	3.69	3.7	3.71	3.7
Ancho (cm)	3.700		Longitudes		9.3	9.3	9.3

w%= 27.112    Wmh = 97.41  
 Ws = 71

Lectura Micrometro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformacion (mm)	carga (kg)	E	area corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.7521	0.000
5	1	0.82	0.0762	0.127	0.82	0.1366	10.7668	0.007
10	2	0.82	0.1521	0.254	1.64	0.2731	10.7816	0.015
15	3.5	0.82	0.2658	0.381	2.87	0.4097	10.7964	0.026
20	5	0.82	0.3792	0.508	4.1	0.5462	10.8112	0.037
25	7	0.82	0.5302	0.635	5.74	0.6828	10.8260	0.052
30	9.1	0.82	0.6883	0.762	7.462	0.8194	10.8410	0.068
35	10.5	0.82	0.7931	0.889	8.61	0.9559	10.8559	0.078
40	12	0.82	0.9052	1.016	9.84	1.0925	10.8709	0.089
45	13.5	0.82	1.0169	1.143	11.07	1.2290	10.8859	0.100
50	14.5	0.82	1.0907	1.27	11.89	1.3656	10.9010	0.107
55	15	0.82	1.1268	1.397	12.3	1.5022	10.9161	0.111
60	15.5	0.82	1.1627	1.524	12.71	1.6387	10.9313	0.114
65	16	0.82	1.1986	1.651	13.12	1.7753	10.9465	0.118
70	16.5	0.82	1.2343	1.778	13.53	1.9118	10.9617	0.121
75	15	0.82	1.1205	1.905	12.3	2.0484	10.9770	0.110
80	12	0.82	0.8952	2.032	9.84	2.1849	10.9923	0.088



**Figura 6.11** Grafica esfuerzo-deformación para  $E_e = 12.89 \text{ kg cm} / \text{cm}^3$  **Probeta 3**

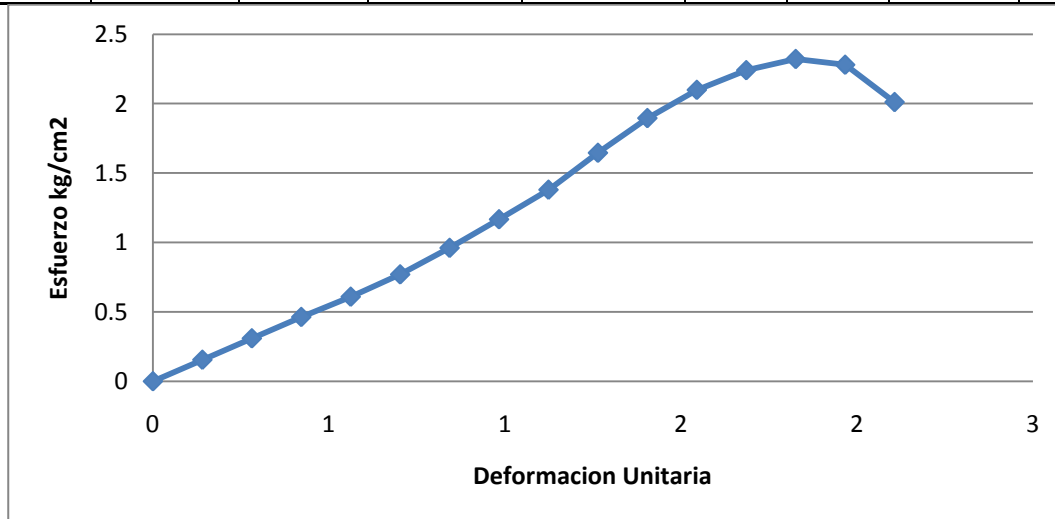


**Tabla 6.12** Compresión simple para  $E_e = 27 \text{ kg cm} / \text{cm}^3$  **Probeta 1**

Area corregida (cm <sup>2</sup> )	10.5785						Promedio
Longitud inicial(cm)	9.04	90.4	Diametros	3.67	3.68	3.66	3.67
Ancho (cm)	3.670		Longitudes		9.03	9.05	9.04

w%= 21.279    Wmh = 78.95  
 Ws = 62.15

Lectura Micrometro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformacion (mm)	carga (kg)	E	area corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0	10.5785	0.000
5	2	0.82	0.1548	0.127	1.64	0.1405	10.5934	0.015
10	4	0.82	0.3092	0.254	3.28	0.2810	10.6083	0.030
15	6	0.82	0.4631	0.381	4.92	0.4215	10.6232	0.045
20	7.9	0.82	0.6089	0.508	6.478	0.5619	10.6383	0.060
25	10	0.82	0.7697	0.635	8.2	0.7024	10.6533	0.075
30	12.5	0.82	0.9608	0.762	10.25	0.8429	10.6684	0.094
35	15.2	0.82	1.1667	0.889	12.464	0.9834	10.6835	0.114
40	18	0.82	1.3796	1.016	14.76	1.1239	10.6987	0.135
45	21.5	0.82	1.6455	1.143	17.63	1.2644	10.7139	0.161
50	24.8	0.82	1.8954	1.27	20.336	1.4049	10.7292	0.186
55	27.5	0.82	2.0987	1.397	22.55	1.5454	10.7445	0.206
60	29.4	0.82	2.2405	1.524	24.108	1.6858	10.7599	0.220
65	30.5	0.82	2.3211	1.651	25.01	1.8263	10.7753	0.228
70	30	0.82	2.2797	1.778	24.6	1.9668	10.7907	0.224
75	26.5	0.82	2.0109	1.905	21.73	2.1073	10.8062	0.197



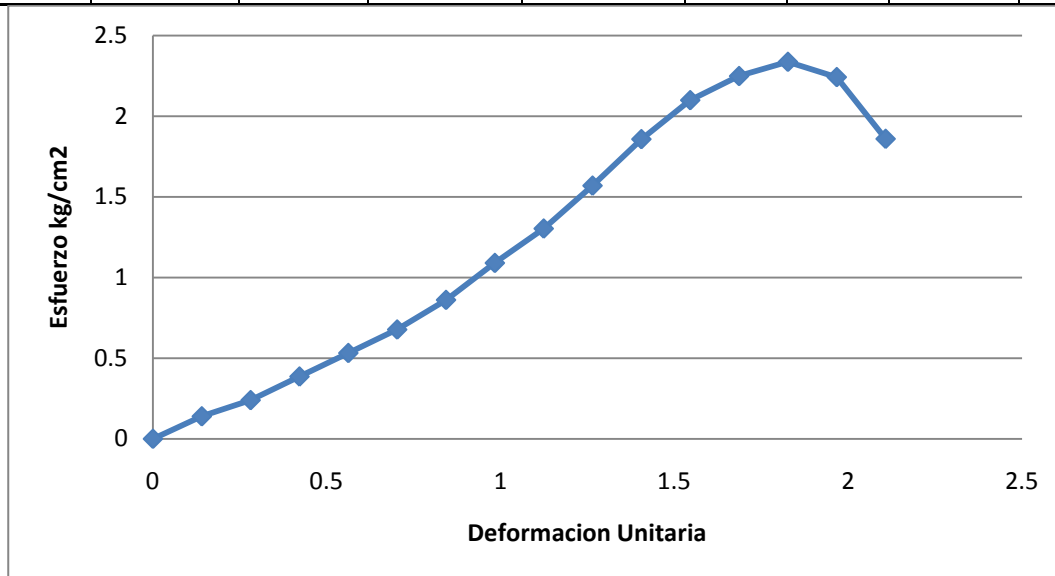
**Figura 6.12** Grafica esfuerzo-deformación para  $E_e = 27 \text{ kg cm} / \text{cm}^3$  **Probeta 1**

**Tabla 6.13** Compresión simple para  $E_e = 27 \text{ kg cm} / \text{cm}^3$  **Probeta 2**

Area corregida (cm <sup>2</sup> )	10.5785						Promedio
Longitud inicial(cm)	9.03	90.3	Diametros	3.69	3.66	3.65	3.67
Ancho (cm)	3.700		Longitudes		9.03	9.03	9.03

w%= 22.062    W<sub>mh</sub> = 97.36  
 W<sub>s</sub> = 75.88

Lectura Micrometro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformacion (mm)	carga (kg)	E	area corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0	10.5785	0.000
5	1.8	0.82	0.1393	0.127	1.476	0.1405	10.5934	0.014
10	3.1	0.82	0.2396	0.254	2.542	0.2810	10.6083	0.023
15	5	0.82	0.3859	0.381	4.1	0.4215	10.6232	0.038
20	6.9	0.82	0.5319	0.508	5.658	0.5619	10.6383	0.052
25	8.8	0.82	0.6773	0.635	7.216	0.7024	10.6533	0.066
30	11.2	0.82	0.8609	0.762	9.184	0.8429	10.6684	0.084
35	14.2	0.82	1.0899	0.889	11.644	0.9834	10.6835	0.107
40	17	0.82	1.3030	1.016	13.94	1.1239	10.6987	0.128
45	20.5	0.82	1.5690	1.143	16.81	1.2644	10.7139	0.154
50	24.3	0.82	1.8572	1.27	19.926	1.4049	10.7292	0.182
55	27.5	0.82	2.0987	1.397	22.55	1.5454	10.7445	0.206
60	29.5	0.82	2.2482	1.524	24.19	1.6858	10.7599	0.220
65	30.7	0.82	2.3363	1.651	25.174	1.8263	10.7753	0.229
70	29.5	0.82	2.2417	1.778	24.19	1.9668	10.7907	0.220
75	24.5	0.82	1.8591	1.905	20.09	2.1073	10.8062	0.182



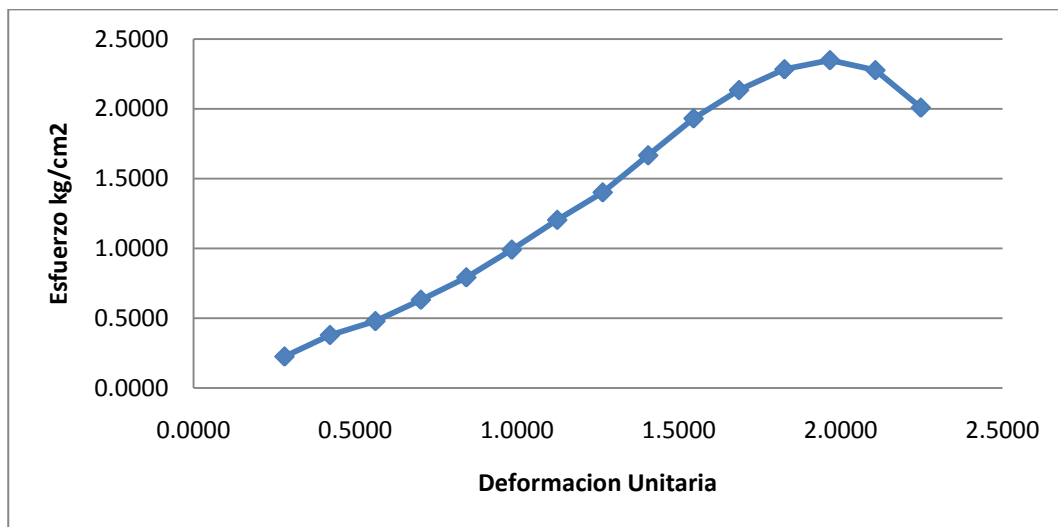
**Figura 6.13** Grafica esfuerzo-deformación para  $E_e = 27 \text{ kg cm} / \text{cm}^3$  **Probeta 2**

**Tabla 6.14** Compresión simple para  $E_e = 27 \text{ kg cm} / \text{cm}^3$  **Probeta 3**

Area corregida (cm <sup>2</sup> )	10.5785		Promedio				
Longitud inicial(cm)	9	90	Diametros	3.67	3.67	3.67	3.67
Ancho (cm)	3.700		Longitudes		9.01	8.99	9

w%= 21.942    Wmh = 46.35  
 Ws = 36.18

lectura Micrometro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformacion (mm)	carga (kg)	E	area corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0	10.5785	0.000
5	1.7	0.82	0.1316	0.127	1.394	0.1405	10.5934	0.013
10	2.9	0.82	0.2242	0.254	2.378	0.2810	10.6083	0.022
15	4.9	0.82	0.3782	0.381	4.018	0.4215	10.6232	0.037
20	6.2	0.82	0.4779	0.508	5.084	0.5619	10.6383	0.047
25	8.2	0.82	0.6312	0.635	6.724	0.7024	10.6533	0.062
30	10.3	0.82	0.7917	0.762	8.446	0.8429	10.6684	0.078
35	12.9	0.82	0.9901	0.889	10.578	0.9834	10.6835	0.097
40	15.7	0.82	1.2033	1.016	12.874	1.1239	10.6987	0.118
45	18.3	0.82	1.4006	1.143	15.006	1.2644	10.7139	0.137
50	21.8	0.82	1.6661	1.27	17.876	1.4049	10.7292	0.163
55	25.3	0.82	1.9308	1.397	20.746	1.5454	10.7445	0.189
60	28	0.82	2.1339	1.524	22.96	1.6858	10.7599	0.209
65	30	0.82	2.2830	1.651	24.6	1.8263	10.7753	0.224
70	30.9	0.82	2.3481	1.778	25.338	1.9668	10.7907	0.230
75	30	0.82	2.2765	1.905	24.6	2.1073	10.8062	0.223
80	26.5	0.82	2.0080	2.032	21.73	2.2478	10.8217	0.197



**Figura 6.14** Grafica esfuerzo-deformación para  $E_e = 27 \text{ kg cm} / \text{cm}^3$  **Probeta 3**

**Tabla 6.15** Compresión simple para  $E_e = 30 \text{ kg cm}^3$  **Probeta 1**

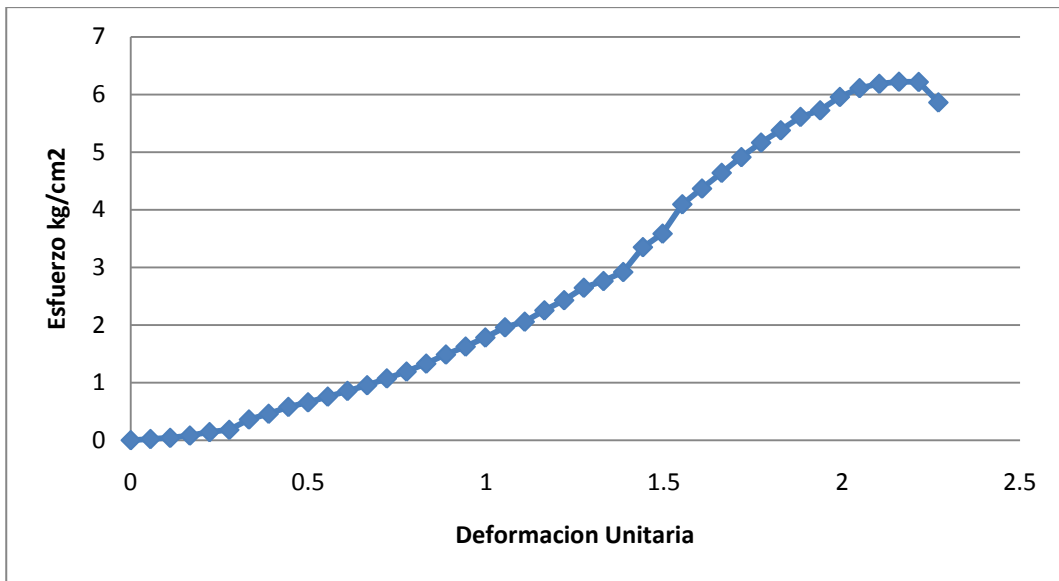
Area corregida (cm <sup>2</sup> )	10.5785	90.25					Promedio
Longitud inicial(cm)	9.025		Diametros	3.7	3.67	3.64	3.67
Ancho (cm)	3.670		Longitudes		9.03	9.02	9.025

$$w\% = 19.858 \quad W_{mh} = 88.43$$

$$W_s = 70.87$$

lectura Micrometro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformacion (mm)	carga (kg)	E	area corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.423	0	0	0	0	10.5785	0.000
5	0.5	0.423	0.0200	0.05	0.2115	0.0554	10.5843	0.002
10	1	0.423	0.0399	0.1	0.4230	0.1107	10.5902	0.004
15	2	0.423	0.0798	0.15	0.8460	0.1661	10.5961	0.008
20	3.5	0.423	0.1397	0.2	1.4806	0.2215	10.6020	0.014
25	4.5	0.423	0.1795	0.25	1.9036	0.2769	10.6078	0.018
30	9	0.423	0.3587	0.3	3.8072	0.3322	10.6137	0.035
35	11.5	0.423	0.4581	0.35	4.8647	0.3876	10.6196	0.045
40	14.5	0.423	0.5773	0.4	6.1338	0.4430	10.6255	0.057
45	16.5	0.423	0.6565	0.45	6.9798	0.4983	10.6315	0.064
50	19	0.423	0.7556	0.5	8.0374	0.5537	10.6374	0.074
55	21.5	0.423	0.8545	0.55	9.0949	0.6091	10.6433	0.084
60	24	0.423	0.9534	0.6	10.1525	0.6645	10.6492	0.093
65	27	0.423	1.0719	0.65	11.4215	0.7198	10.6552	0.105
70	30	0.423	1.1904	0.7	12.6906	0.7752	10.6611	0.117
75	33.5	0.423	1.3285	0.75	14.1712	0.8306	10.6671	0.130
80	37.5	0.423	1.4863	0.8	15.8633	0.8859	10.6730	0.146
85	41	0.423	1.6241	0.85	17.3438	0.9413	10.6790	0.159
90	45	0.423	1.7816	0.9	19.0359	0.9967	10.6850	0.175
95	49.5	0.423	1.9586	0.95	20.9395	1.0520	10.6909	0.192
100	52	0.423	2.0564	1	21.9970	1.1074	10.6969	0.202
105	57	0.423	2.2529	1.05	24.1121	1.1628	10.7029	0.221
110	61.5	0.423	2.4294	1.1	26.0157	1.2182	10.7089	0.238
115	67	0.423	2.6451	1.15	28.3423	1.2735	10.7149	0.259
120	70	0.423	2.7620	1.2	29.6114	1.3289	10.7209	0.271
125	74	0.423	2.9182	1.25	31.3035	1.3843	10.7270	0.286
130	85	0.423	3.3501	1.3	35.9567	1.4396	10.7330	0.329
135	91	0.423	3.5846	1.35	38.4948	1.4950	10.7390	0.352
140	104	0.423	4.0944	1.4	43.9941	1.5504	10.7451	0.402

145	111	0.423	4.3675	1.45	46.9552	1.6058	10.7511	0.428
150	118	0.423	4.6403	1.5	49.9164	1.6611	10.7572	0.455
155	125	0.423	4.9128	1.55	52.8775	1.7165	10.7632	0.482
160	131.5	0.423	5.1653	1.6	55.6271	1.7719	10.7693	0.507
165	137	0.423	5.3784	1.65	57.9537	1.8272	10.7754	0.527
170	143	0.423	5.6107	1.7	60.4919	1.8826	10.7814	0.550
175	146	0.423	5.7252	1.75	61.7609	1.9380	10.7875	0.561
180	152	0.423	5.9571	1.8	64.2990	1.9934	10.7936	0.584
185	156	0.423	6.1104	1.85	65.9911	2.0487	10.7997	0.599
190	158	0.423	6.1853	1.9	66.8372	2.1041	10.8058	0.607
195	159	0.423	6.2209	1.95	67.2602	2.1595	10.8120	0.610
200	159	0.423	6.2174	2	67.2602	2.2148	10.8181	0.610
205	150	0.423	5.8621	2.05	63.4530	2.2702	10.8242	0.575



**Figura 6.15** Grafica esfuerzo-deformación para  $E_e = 30 \text{ kg cm} / \text{cm}^3$  Probeta 1

**Tabla 6.16** Compresión simple para  $E_e = 30 \text{ kg cm}^3$  **Probeta 2**

area corregida (cm <sup>2</sup> )	10.5785		Promedio				
longitud inicial(cm)	9.115	91.15	Diametros	3.7	3.67	3.64	3.67
ancho (cm)	3.670		Longitudes		9.12	9.11	9.115

$$w\% = 19.681 \quad W_{mh} = 105.48$$

$$W_s = 84.72$$

lectura Micrometro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformacion (mm)	carga (kg)	E	area corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.42302	0	0	0	0	10.5785	0.000
5	2	0.42302	0.0799	0.05	0.8460	0.0554	10.5843	0.008
10	3	0.42302	0.1198	0.1	1.2691	0.1107	10.5902	0.012
15	5	0.42302	0.1996	0.15	2.1151	0.1661	10.5961	0.020
20	7.5	0.42302	0.2993	0.2	3.1727	0.2215	10.6020	0.029
25	10.5	0.42302	0.4187	0.25	4.4417	0.2769	10.6078	0.041
30	12	0.42302	0.4783	0.3	5.0762	0.3322	10.6137	0.047
35	13.5	0.42302	0.5378	0.35	5.7108	0.3876	10.6196	0.053
40	16	0.42302	0.6370	0.4	6.7683	0.4430	10.6255	0.062
45	18	0.42302	0.7162	0.45	7.6144	0.4983	10.6315	0.070
50	20	0.42302	0.7953	0.5	8.4604	0.5537	10.6374	0.078
55	22	0.42302	0.8744	0.55	9.3064	0.6091	10.6433	0.086
60	24.5	0.42302	0.9732	0.6	10.3640	0.6645	10.6492	0.095
65	28	0.42302	1.1116	0.65	11.8446	0.7198	10.6552	0.109
70	31.5	0.42302	1.2499	0.7	13.3251	0.7752	10.6611	0.123
75	34	0.42302	1.3483	0.75	14.3827	0.8306	10.6671	0.132
80	37	0.42302	1.4665	0.8	15.6517	0.8859	10.6730	0.144
85	41	0.42302	1.6241	0.85	17.3438	0.9413	10.6790	0.159
90	45	0.42302	1.7816	0.9	19.0359	0.9967	10.6850	0.175
95	49	0.42302	1.9388	0.95	20.7280	1.0520	10.6909	0.190
100	53	0.42302	2.0959	1	22.4201	1.1074	10.6969	0.206
105	58	0.42302	2.2924	1.05	24.5352	1.1628	10.7029	0.225
110	64	0.42302	2.5281	1.1	27.0733	1.2182	10.7089	0.248
115	68	0.42302	2.6846	1.15	28.7654	1.2735	10.7149	0.263
120	73	0.42302	2.8804	1.2	30.8805	1.3289	10.7209	0.282
125	79	0.42302	3.1154	1.25	33.4186	1.3843	10.7270	0.306
130	83	0.42302	3.2713	1.3	35.1107	1.4396	10.7330	0.321
135	90	0.42302	3.5452	1.35	38.0718	1.4950	10.7390	0.348
140	95	0.42302	3.7400	1.4	40.1869	1.5504	10.7451	0.367
145	99	0.42302	3.8953	1.45	41.8790	1.6058	10.7511	0.382

150	105	0.42302	4.1291	1.5	44.4171	1.6611	10.7572	0.405
155	109	0.42302	4.2840	1.55	46.1092	1.7165	10.7632	0.420
160	115	0.42302	4.5172	1.6	48.6473	1.7719	10.7693	0.443
165	120	0.42302	4.7110	1.65	50.7624	1.8272	10.7754	0.462
170	125	0.42302	4.9045	1.7	52.8775	1.8826	10.7814	0.481
175	128	0.42302	5.0194	1.75	54.1466	1.9380	10.7875	0.492
180	132	0.42302	5.1733	1.8	55.8386	1.9934	10.7936	0.507
185	135	0.42302	5.2879	1.85	57.1077	2.0487	10.7997	0.519
190	137	0.42302	5.3632	1.9	57.9537	2.1041	10.8058	0.526
195	138.5	0.42302	5.4188	1.95	58.5883	2.1595	10.8120	0.531
200	139	0.42302	5.4353	2	58.7998	2.2148	10.8181	0.533
205	138.5	0.42302	5.4127	2.05	58.5883	2.2702	10.8242	0.531
210	135	0.42302	5.2729	2.1	57.1077	2.3256	10.8303	0.517

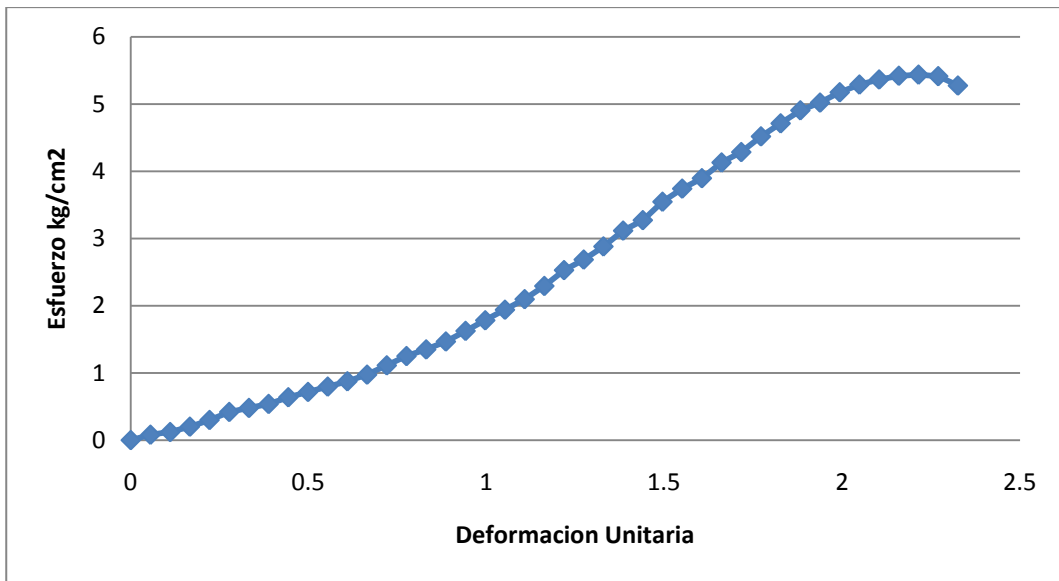


Figura 6.16 Grafica esfuerzo-deformación para  $E_e = 30 \text{ kg cm} / \text{cm}^3$  Probeta 2

**Tabla 6.17** Compresión simple para  $E_e = 30 \text{ kg cm} / \text{cm}^3$  **Probeta 3**

Area corregida (cm <sup>2</sup> )	10.5785						Promedio
Longitud inicial(cm)	9.06	90.6	Diametros	3.67	3.68	3.66	3.67
Ancho (cm)	3.670		Longitudes		9.05	9.07	9.06

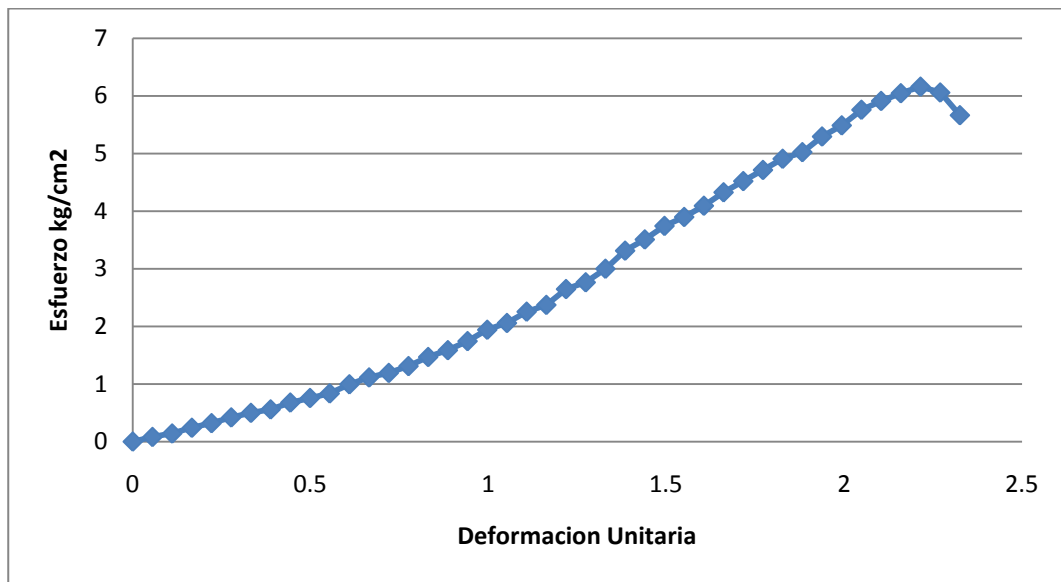
$$w\% = 18.858 \quad W_{mh} = 57.8$$

$$W_s = 46.9$$

Lectura Micrometro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformacion (mm)	carga (kg)	E	area corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.42302	0	0	0	0	10.5785	0.000
5	2	0.42302	0.0799	0.05	0.8460	0.0554	10.5843	0.008
10	3.5	0.42302	0.1398	0.1	1.4806	0.1107	10.5902	0.014
15	6	0.42302	0.2395	0.15	2.5381	0.1661	10.5961	0.023
20	8	0.42302	0.3192	0.2	3.3842	0.2215	10.6020	0.031
25	10.5	0.42302	0.4187	0.25	4.4417	0.2769	10.6078	0.041
30	12.5	0.42302	0.4982	0.3	5.2878	0.3322	10.6137	0.049
35	14	0.42302	0.5577	0.35	5.9223	0.3876	10.6196	0.055
40	17	0.42302	0.6768	0.4	7.1913	0.4430	10.6255	0.066
45	19	0.42302	0.7560	0.45	8.0374	0.4983	10.6315	0.074
50	21	0.42302	0.8351	0.5	8.8834	0.5537	10.6374	0.082
55	25	0.42302	0.9936	0.55	10.5755	0.6091	10.6433	0.097
60	28	0.42302	1.1122	0.6	11.8446	0.6645	10.6492	0.109
65	30	0.42302	1.1910	0.65	12.6906	0.7198	10.6552	0.117
70	33	0.42302	1.3094	0.7	13.9597	0.7752	10.6611	0.128
75	37	0.42302	1.4673	0.75	15.6517	0.8306	10.6671	0.144
80	40	0.42302	1.5854	0.8	16.9208	0.8859	10.6730	0.155
85	44	0.42302	1.7429	0.85	18.6129	0.9413	10.6790	0.171
90	49	0.42302	1.9399	0.9	20.7280	0.9967	10.6850	0.190
95	52	0.42302	2.0575	0.95	21.9970	1.0520	10.6909	0.202
100	57	0.42302	2.2541	1	24.1121	1.1074	10.6969	0.221
105	60	0.42302	2.3714	1.05	25.3812	1.1628	10.7029	0.233
110	67	0.42302	2.6466	1.1	28.3423	1.2182	10.7089	0.260
115	70	0.42302	2.7636	1.15	29.6114	1.2735	10.7149	0.271
120	76	0.42302	2.9988	1.2	32.1495	1.3289	10.7209	0.294
125	84	0.42302	3.3126	1.25	35.5337	1.3843	10.7270	0.325
130	89	0.42302	3.5078	1.3	37.6488	1.4396	10.7330	0.344
135	95	0.42302	3.7421	1.35	40.1869	1.4950	10.7390	0.367



140	99	0.42302	3.8975	1.4	41.8790	1.5504	10.7451	0.382
145	104	0.42302	4.0920	1.45	43.9941	1.6058	10.7511	0.401
150	110	0.42302	4.3257	1.5	46.5322	1.6611	10.7572	0.424
155	115	0.42302	4.5198	1.55	48.6473	1.7165	10.7632	0.443
160	120	0.42302	4.7136	1.6	50.7624	1.7719	10.7693	0.462
165	125	0.42302	4.9073	1.65	52.8775	1.8272	10.7754	0.481
170	128	0.42302	5.0222	1.7	54.1466	1.8826	10.7814	0.493
175	135	0.42302	5.2939	1.75	57.1077	1.9380	10.7875	0.519
180	140	0.42302	5.4868	1.8	59.2228	1.9934	10.7936	0.538
185	147	0.42302	5.7579	1.85	62.1839	2.0487	10.7997	0.565
190	151	0.42302	5.9113	1.9	63.8760	2.1041	10.8058	0.580
195	154.5	0.42302	6.0448	1.95	65.3566	2.1595	10.8120	0.593
200	157.5	0.42302	6.1587	2	66.6257	2.2148	10.8181	0.604
205	155	0.42302	6.0575	2.05	65.5681	2.2702	10.8242	0.594
210	145	0.42302	5.6635	2.1	61.3379	2.3256	10.8303	0.555



**Figura 6.17** Grafica esfuerzo-deformación para  $E_e = 30 \text{ kg/cm}^3$  Probeta 3

### 6.2.2 Compresión simple para tepetate con 1 aditivo + Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 30 días

**Tabla 6.18** Compresión simple Tepetate-Cal 10% + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 30 días de elaboración

Los demás contenidos de cal se referencian de Ramírez Sánchez, 2012

Area corregida (cm <sup>2</sup> )	10.6593	96.65					Promedio
Longitud inicial(cm)	9.665		Diametros	3.683	3.685	3.684	3.684
Ancho (cm)	3.684		Longitudes		9.66	9.67	9.665

$$w\% = 2.588 \quad W_{mh} = 102.8$$

$$W_s = 100.14$$

lectura Micrometro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformacion (mm)	carga (kg)	E	area corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.6593	0.000
5	1	0.82	0.0769	0.05	0.82	0.0517	10.6649	0.008
10	2.7	0.82	0.2075	0.1	2.214	0.1035	10.6704	0.020
15	5	0.82	0.3840	0.15	4.1	0.1552	10.6759	0.038
20	10	0.82	0.7677	0.2	8.2	0.2069	10.6814	0.075
25	15	0.82	1.1509	0.25	12.3	0.2587	10.6870	0.113
30	24	0.82	1.8405	0.3	19.68	0.3104	10.6925	0.181
35	34	0.82	2.6061	0.35	27.88	0.3621	10.6981	0.256
40	44	0.82	3.3708	0.4	36.08	0.4139	10.7036	0.331
45	54	0.82	4.1348	0.45	44.28	0.4656	10.7092	0.405
50	64	0.82	4.8979	0.5	52.48	0.5173	10.7148	0.480
55	76	0.82	5.8132	0.55	62.32	0.5691	10.7203	0.570
60	85	0.82	6.4983	0.6	69.7	0.6208	10.7259	0.637
65	96	0.82	7.3354	0.65	78.72	0.6725	10.7315	0.719
70	105	0.82	8.0189	0.7	86.1	0.7243	10.7371	0.786
75	108	0.82	8.2437	0.75	88.56	0.7760	10.7427	0.808
80	123	0.82	9.3838	0.8	100.86	0.8277	10.7483	0.920
85	132	0.82	10.0652	0.85	108.24	0.8795	10.7539	0.987
90	142	0.82	10.8220	0.9	116.44	0.9312	10.7595	1.061
95	151	0.82	11.5019	0.95	123.82	0.9829	10.7651	1.128
100	160	0.82	12.1811	1	131.2	1.0347	10.7708	1.195
105	168	0.82	12.7835	1.05	137.76	1.0864	10.7764	1.254
110	175	0.82	13.3092	1.1	143.5	1.1381	10.7820	1.305
115	184	0.82	13.9863	1.15	150.88	1.1899	10.7877	1.372

120	194	0.82	14.7387	1.2	159.08	1.2416	10.7933	1.445
125	205	0.82	15.5663	1.25	168.1	1.2933	10.7990	1.527
130	215	0.82	16.3170	1.3	176.3	1.3451	10.8047	1.600
135	240	0.82	18.2048	1.35	196.8	1.3968	10.8103	1.785
140	270	0.82	20.4697	1.4	221.4	1.4485	10.8160	2.007
145	280	0.82	21.2167	1.45	229.6	1.5003	10.8217	2.081
150	290	0.82	21.9628	1.5	237.8	1.5520	10.8274	2.154
155	300	0.82	22.7082	1.55	246	1.6037	10.8331	2.227
160	305	0.82	23.0746	1.6	250.1	1.6555	10.8388	2.263
165	309	0.82	23.3649	1.65	253.38	1.7072	10.8445	2.291
170	315	0.82	23.8061	1.7	258.3	1.7589	10.8502	2.335
175	317	0.82	23.9446	1.75	259.94	1.8107	10.8559	2.348
180	318	0.82	24.0075	1.8	260.76	1.8624	10.8616	2.354
185	305	0.82	23.0139	1.85	250.1	1.9141	10.8674	2.257

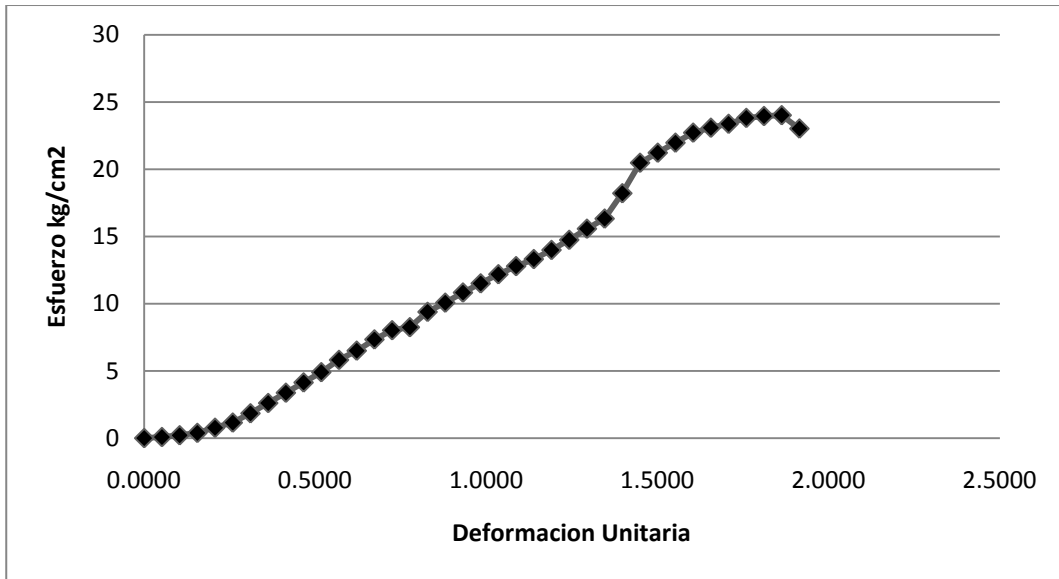


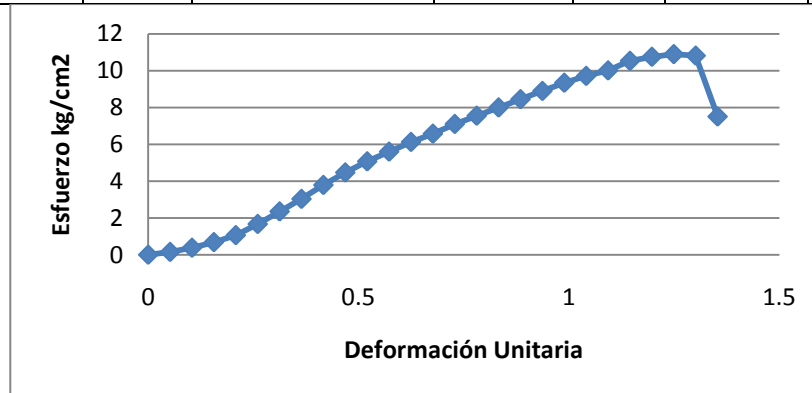
Figura 6.18 Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal al 10% + Ee = 30 kg cm /cm<sup>3</sup>

**Tabla 6.19** Compresión simple **Tepetate-Ceniza volante 4% + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup>** a 30 días de elaboración

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.7812	96.06	Promedio				
longitud inicial(cm)	9.606		Diámetros	3.7	3.708	3.707	3.705
ancho (cm)	3.705		Longitudes		9.607	9.605	9.606

w%= 2.202    Wmh = 34.51  
Ws = 33.75

lectura Micrómetro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0	10.7812	0.000
5	2	0.82	0.152037401	0.05	1.64	0.052045384	10.7868	0.015
10	5	0.82	0.379895579	0.1	4.1	0.104090767	10.7924	0.037
15	9	0.82	0.683455778	0.15	7.38	0.156136151	10.7981	0.067
20	14	0.82	1.062599245	0.2	11.48	0.208181534	10.8037	0.104
25	22	0.82	1.668927948	0.25	18.04	0.260226918	10.8093	0.164
30	31	0.82	2.35044407	0.3	25.42	0.312272301	10.8150	0.231
35	40	0.82	3.031247665	0.35	32.8	0.364317685	10.8206	0.297
40	50	0.82	3.78708034	0.4	41	0.416363069	10.8263	0.371
45	59	0.82	4.466419296	0.45	48.38	0.468408452	10.8319	0.438
50	67	0.82	5.069383289	0.5	54.94	0.520453836	10.8376	0.497
55	74	0.82	5.596091071	0.55	60.68	0.572499219	10.8433	0.549
60	81	0.82	6.122244667	0.6	66.42	0.624544603	10.8490	0.600
65	87	0.82	6.572300392	0.65	71.34	0.676589986	10.8546	0.645
70	94	0.82	7.097385197	0.7	77.08	0.72863537	10.8603	0.696
75	100	0.82	7.546451301	0.75	82	0.780680754	10.8660	0.740
80	106	0.82	7.995042388	0.8	86.92	0.832726137	10.8717	0.784
85	112	0.82	8.443158456	0.85	91.84	0.884771521	10.8774	0.828
90	118	0.82	8.890799507	0.9	96.76	0.936816904	10.8832	0.872
95	124	0.82	9.337965539	0.95	101.68	0.988862288	10.8889	0.916
100	129	0.82	9.709389965	1	105.78	1.040907671	10.8946	0.952
105	133	0.82	10.00519154	1.05	109.06	1.092953055	10.9003	0.981
110	140	0.82	10.52623869	1.1	114.8	1.144998439	10.9061	1.032
115	143	0.82	10.74614032	1.15	117.26	1.197043822	10.9118	1.054
120	145	0.82	10.89069619	1.2	118.9	1.249089206	10.9176	1.068
125	144	0.82	10.80988772	1.25	118.08	1.301134589	10.9233	1.060
130	100	0.82	7.502907992	1.3	82	1.353179973	10.9291	0.736



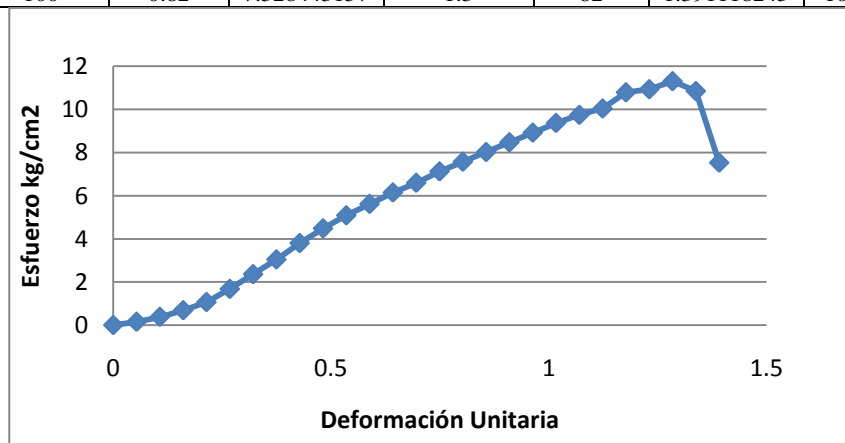
**Figura 6.19** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con ceniza volante 4% + Ee = 30 kg cm /cm<sup>3</sup>

**Tabla 6.20** Compresión simple **Tepetate-Ceniza volante 6% + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup>** a 30 días de elaboración

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.7289		Promedio				
longitud inicial(cm)	9.345	93.45	Diámetros	3.698	3.7	3.69	3.696
ancho (cm)	3.696		Longitudes		9.35	9.34	9.345

w%= 2.302    Wmh = 63.41  
 Ws = 61.95

lectura Micrómetro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm )	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0	10.7405	0.000
5	2	0.82	0.152611306	0.05	1.64	0.053504548	10.7463	0.015
10	5	0.82	0.38132402	0.1	4.1	0.107009096	10.7520	0.037
15	9	0.82	0.686015596	0.15	7.38	0.160513644	10.7578	0.067
20	14	0.82	1.066563488	0.2	11.48	0.214018192	10.7635	0.105
25	22	0.82	1.675129664	0.25	18.04	0.267522739	10.7693	0.164
30	31	0.82	2.359143666	0.3	25.42	0.321027287	10.7751	0.231
35	40	0.82	3.042422389	0.35	32.8	0.374531835	10.7809	0.298
40	50	0.82	3.800985544	0.4	41	0.428036383	10.7867	0.373
45	59	0.82	4.48275286	0.45	48.38	0.481540931	10.7925	0.440
50	67	0.82	5.087846883	0.5	54.94	0.535045479	10.7983	0.499
55	74	0.82	5.61639016	0.55	60.68	0.588550027	10.8041	0.551
60	81	0.82	6.144361554	0.6	66.42	0.642054575	10.8099	0.603
65	87	0.82	6.595945597	0.65	71.34	0.695559123	10.8157	0.647
70	94	0.82	7.122814071	0.7	77.08	0.74906367	10.8216	0.699
75	100	0.82	7.573376893	0.75	82	0.802568218	10.8274	0.743
80	106	0.82	8.023449528	0.8	86.92	0.856072766	10.8332	0.787
85	112	0.82	8.473031977	0.85	91.84	0.909577314	10.8391	0.831
90	118	0.82	8.92212424	0.9	96.76	0.963081862	10.8450	0.875
95	124	0.82	9.370726317	0.95	101.68	1.01658641	10.8508	0.919
100	129	0.82	9.743308683	1	105.78	1.070090958	10.8567	0.956
105	133	0.82	10.03999388	1.05	109.06	1.123595506	10.8626	0.985
110	143	0.82	10.78903926	1.1	117.26	1.177100054	10.8684	1.058
115	145	0.82	10.93401183	1.15	118.9	1.230604601	10.8743	1.072
120	150	0.82	11.30491939	1.2	123	1.284109149	10.8802	1.109
125	144	0.82	10.84684038	1.25	118.08	1.337613697	10.8861	1.064
130	100	0.82	7.528443157	1.3	82	1.391118245	10.8920	0.738



**Figura 6.20** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con ceniza volante 6% + Ee = 30 kg cm /cm<sup>3</sup>

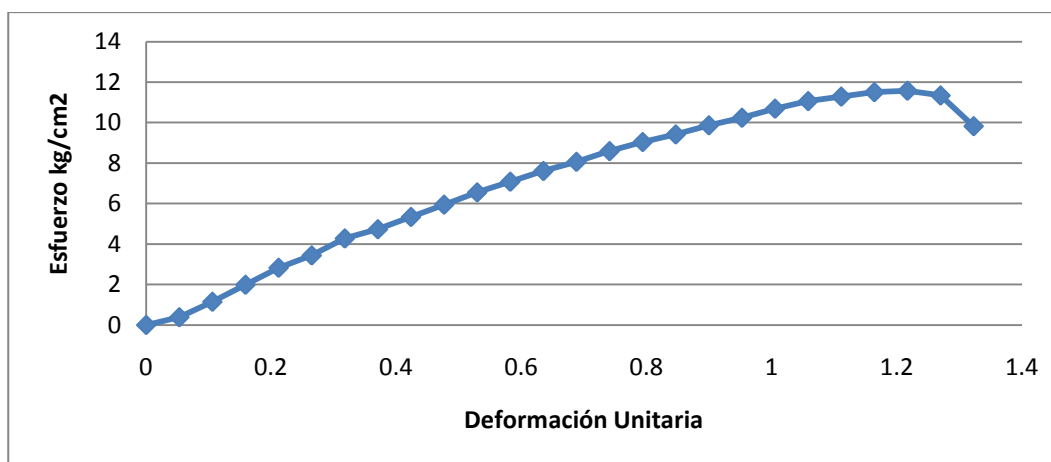
**Tabla 6.21** Compresión simple **Tepetate-Ceniza volante 8% + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup>** a 30 días de elaboración

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.6922						Promedio
longitud inicial(cm)	9.4485	94.485	Diámetros	3.692	3.685	3.692	3.690
ancho (cm)	3.690		Longitudes		9.452	9.445	9.4485

w%= 2.025    Wmh = 72.58

Ws = 71.11

lectura Micrómetro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0	10.7057	0.000
5	5	0.82	0.382771662	0.05	4.1	0.052898857	10.7113	0.038
10	15	0.82	1.147707218	0.1	12.3	0.105797715	10.7170	0.113
15	26	0.82	1.988305715	0.15	21.32	0.158696572	10.7227	0.195
20	37	0.82	2.82801282	0.2	30.34	0.21159543	10.7284	0.277
25	45	0.82	3.437651751	0.25	36.9	0.264494287	10.7341	0.337
30	56	0.82	4.275697626	0.3	45.92	0.317393144	10.7398	0.419
35	62	0.82	4.731295983	0.35	50.84	0.370292002	10.7455	0.464
40	70	0.82	5.338949541	0.4	57.4	0.423190859	10.7512	0.524
45	78	0.82	5.945954814	0.45	63.96	0.476089716	10.7569	0.583
50	86	0.82	6.552311803	0.5	70.52	0.528988574	10.7626	0.643
55	93	0.82	7.081871352	0.55	76.26	0.581887431	10.7683	0.695
60	100	0.82	7.610863652	0.6	82	0.634786289	10.7741	0.746
65	106	0.82	8.063220585	0.65	86.92	0.687685146	10.7798	0.791
70	113	0.82	8.591118904	0.7	92.66	0.740584003	10.7856	0.843
75	119	0.82	9.042462892	0.75	97.58	0.793482861	10.7913	0.887
80	124	0.82	9.4173741	0.8	101.68	0.846381718	10.7971	0.924
85	130	0.82	9.867786178	0.85	106.6	0.899280576	10.8028	0.968
90	135	0.82	10.24184651	0.9	110.7	0.952179433	10.8086	1.004
95	141	0.82	10.69132668	0.95	115.62	1.00507829	10.8144	1.048
100	146	0.82	11.06453614	1	119.72	1.057977148	10.8202	1.085
105	149	0.82	11.28585247	1.05	122.18	1.110876005	10.8259	1.107
110	152	0.82	11.50692569	1.1	124.64	1.163774862	10.8317	1.128
115	153	0.82	11.57642993	1.15	125.46	1.21667372	10.8375	1.135
120	150	0.82	11.34336344	1.2	123	1.269572577	10.8433	1.112
125	130	0.82	9.825647665	1.25	106.6	1.322471435	10.8492	0.964



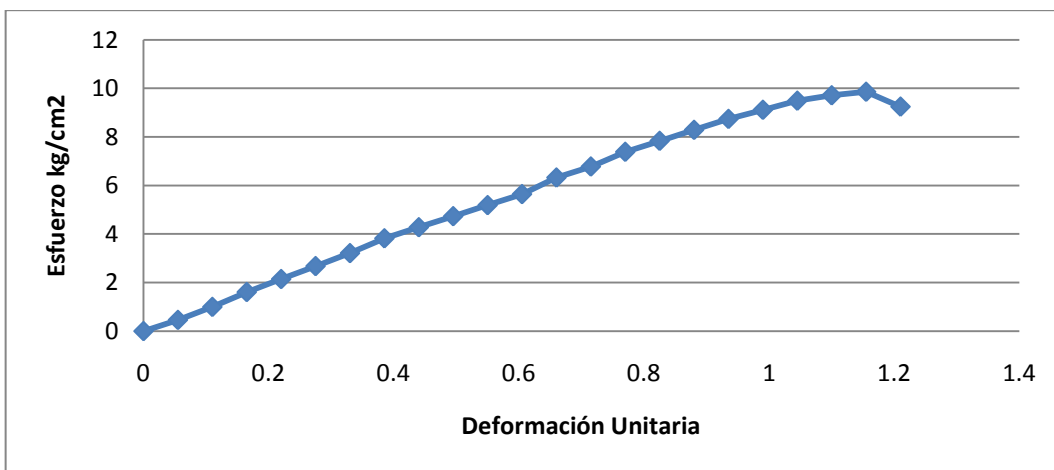
**Figura 6.21** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con ceniza volante 8% + Ee = 30 kg /cm<sup>3</sup>

**Tabla 6.22** Compresión simple **Tepetate-Ceniza volante 10% + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup>** a 30 días de elaboración

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.7521	90.8	Promedio				
longitud inicial(cm)	9.08		Diámetros	3.7	3.69	3.71	3.7
ancho (cm)	3.700		Longitudes	9.09		9.07	9.08

w%= 2.119    Wmh = 47.2  
 Ws = 46.2

lectura Micrómetro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0	10.6941	0.000
5	6	0.82	0.459814351	0.05	4.92	0.055005501	10.7000	0.045
10	13	0.82	0.995716126	0.1	10.66	0.110011001	10.7059	0.098
15	21	0.82	1.607578793	0.15	17.22	0.165016502	10.7118	0.158
20	28	0.82	2.142257433	0.2	22.96	0.220022002	10.7177	0.210
25	35	0.82	2.676345594	0.25	28.7	0.275027503	10.7236	0.262
30	42	0.82	3.209843276	0.3	34.44	0.330033003	10.7295	0.315
35	50	0.82	3.819133142	0.35	41	0.385038504	10.7354	0.375
40	56	0.82	4.275067203	0.4	45.92	0.440044004	10.7414	0.419
45	62	0.82	4.73049514	0.45	50.84	0.495049505	10.7473	0.464
50	68	0.82	5.185416952	0.5	55.76	0.550055006	10.7532	0.509
55	74	0.82	5.639832639	0.55	60.68	0.605060506	10.7592	0.553
60	83	0.82	6.322257534	0.6	68.06	0.660066007	10.7651	0.620
65	89	0.82	6.77553444	0.65	72.98	0.715071507	10.7711	0.664
70	97	0.82	7.380480068	0.7	79.54	0.770077008	10.7771	0.724
75	103	0.82	7.832660371	0.75	84.46	0.825082508	10.7831	0.768
80	109	0.82	8.284334549	0.8	89.38	0.880088009	10.7890	0.812
85	115	0.82	8.735502602	0.85	94.3	0.935093509	10.7950	0.857
90	120	0.82	9.110245815	0.9	98.4	0.99009901	10.8010	0.893
95	125	0.82	9.484567258	0.95	102.5	1.04510451	10.8070	0.930
100	128	0.82	9.706798208	1	104.96	1.100110011	10.8130	0.952
105	130	0.82	9.852983912	1.05	106.6	1.155115512	10.8191	0.966
110	122	0.82	9.241500838	1.1	100.04	1.210121012	10.8251	0.906

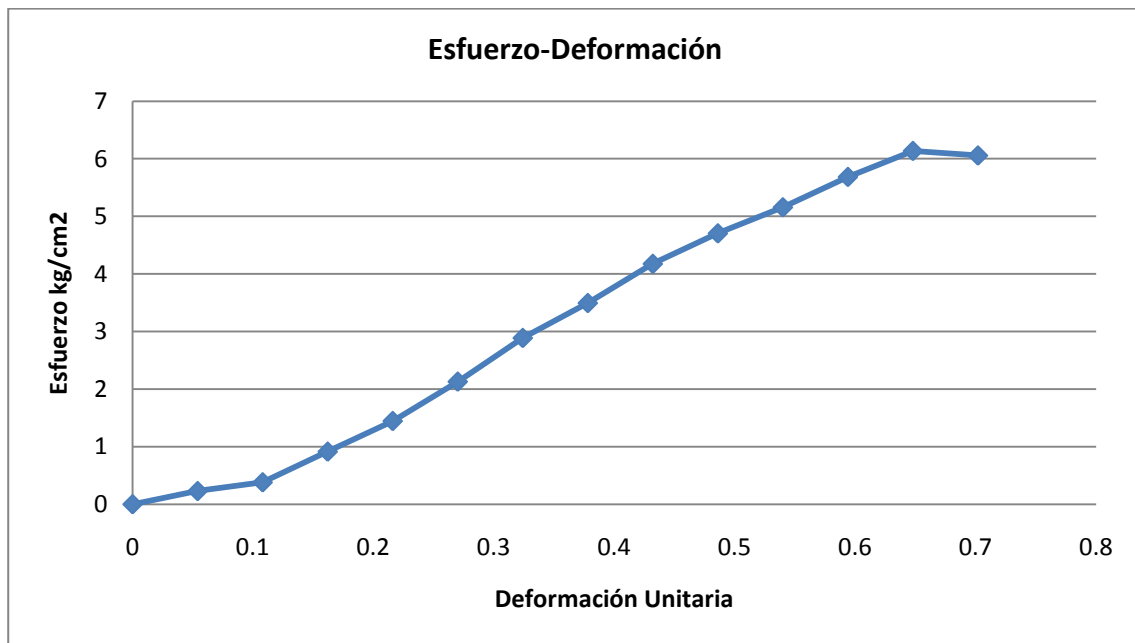


**Figura 6.22** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con ceniza volante 10% + Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup>

**Tabla 6.23** Compresión simple **Tepetate-Puzolana 4%** + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 30 días de elaboración

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.7521						Promedio
longitud inicial(cm)	9.26	92.6	Diámetros	3.698	3.7	3.702	3.7
ancho (cm)	3.700		Longitudes		9.25	9.27	9.26
			w%=	2.014	Wmh =	72.5	
					Ws =	71.04	

lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0	10.7521	0.000
5	3	0.82	0.228668424	0.05	2.46	0.05399568	10.7579	0.022
10	5	0.82	0.380908144	0.1	4.1	0.107991361	10.7637	0.037
15	12	0.82	0.913685393	0.15	9.84	0.161987041	10.7696	0.090
20	19	0.82	1.445886134	0.2	15.58	0.215982721	10.7754	0.142
25	28	0.82	2.129626546	0.25	22.96	0.269978402	10.7812	0.209
30	38	0.82	2.888642644	0.3	31.16	0.323974082	10.7871	0.283
35	46	0.82	3.494883691	0.35	37.72	0.377969762	10.7929	0.343
40	55	0.82	4.176400424	0.4	45.1	0.431965443	10.7988	0.410
45	62	0.82	4.705389182	0.45	50.84	0.485961123	10.8046	0.461
50	68	0.82	5.157949236	0.5	55.76	0.539956803	10.8105	0.506
55	75	0.82	5.685826154	0.55	61.5	0.593952484	10.8164	0.558
60	81	0.82	6.137356726	0.6	66.42	0.647948164	10.8222	0.602
65	80	0.82	6.05829255	0.65	65.6	0.701943844	10.8281	0.594



**Figura 6.23** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con puzolana 4% + Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup>



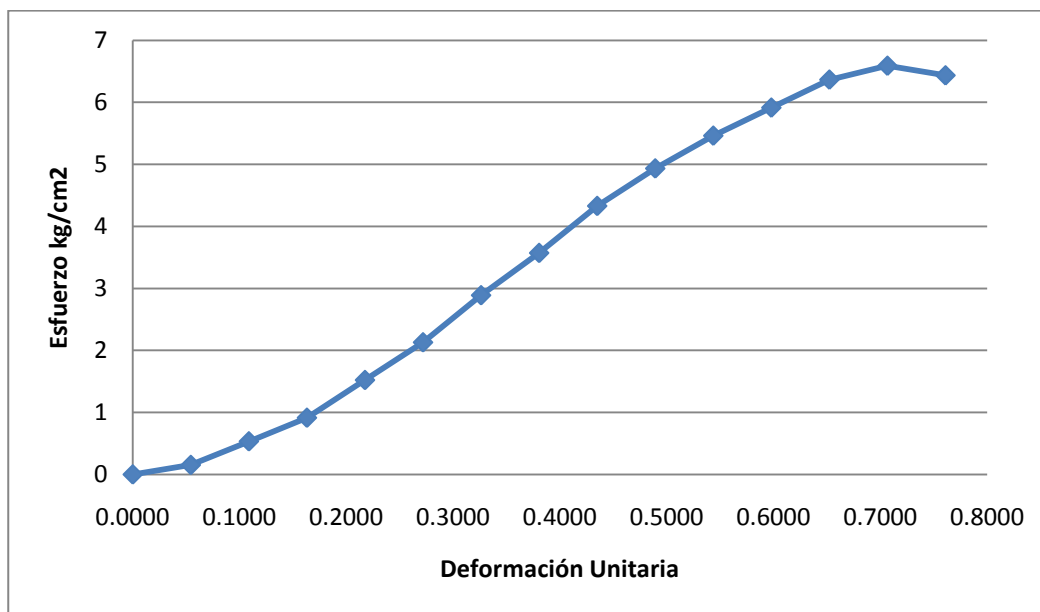
**Tabla 6.24** Compresión simple **Tepetate-Puzolana 6%** +  $E_e = 30 \text{ kg cm/cm}^3$  a 30 días de elaboración

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.7521		Promedio				
longitud inicial(cm)	9.205	92.05	Diámetros	3.71	3.7	3.69	3.7
ancho (cm)	3.700		Longitudes		9.2	9.21	9.205

$$w\% = 2.235 \quad W_{mh} = 37.14$$

$$W_s = 36.31$$

lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.7521	0.000
5	2	0.82	0.152445079	0.05	1.64	0.0543	10.7580	0.015
10	7	0.82	0.533267641	0.1	5.74	0.1087	10.7638	0.052
15	12	0.82	0.913675725	0.15	9.84	0.1630	10.7697	0.090
20	20	0.82	1.521963919	0.2	16.4	0.2174	10.7756	0.149
25	28	0.82	2.129588948	0.25	22.96	0.2717	10.7814	0.209
30	38	0.82	2.888581412	0.3	31.16	0.3261	10.7873	0.283
35	47	0.82	3.570771067	0.35	38.54	0.3804	10.7932	0.350
40	57	0.82	4.328147067	0.4	46.74	0.4348	10.7991	0.424
45	65	0.82	4.932912196	0.45	53.3	0.4891	10.8050	0.484
50	72	0.82	5.461164651	0.5	59.04	0.5435	10.8109	0.536
55	78	0.82	5.913028775	0.55	63.96	0.5978	10.8168	0.580
60	84	0.82	6.364395526	0.6	68.88	0.6522	10.8227	0.624
65	87	0.82	6.588089406	0.65	71.34	0.7065	10.8286	0.646
70	85	0.82	6.43311601	0.7	69.7	0.7609	10.8346	0.631



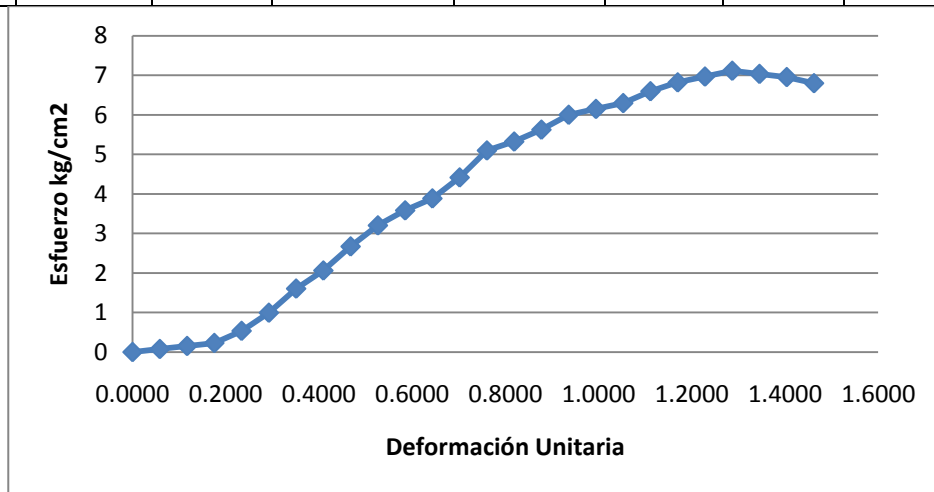
**Figura 6.24** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con puzolana 6% +  $E_e = 30 \text{ kg cm/cm}^3$

**Tabla 6.25** Compresión simple **Tepetate-Puzolana 8%** + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 30 días de elaboración

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.6941		Promedio				
longitud inicial(cm)	8.55	85.5	Diámetros	3.69	3.7	3.68	3.69
ancho (cm)	3.690		Longitudes		8.55	8.55	8.55

w%= 2.151    Wmh = 83.21  
 Ws = 81.42

lectura Micrómetro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.6941	0.000
5	1	0.82	0.076633061	0.05	0.82	0.0585	10.7003	0.008
10	2	0.82	0.153176441	0.1	1.64	0.1170	10.7066	0.015
15	3	0.82	0.229630139	0.15	2.46	0.1754	10.7129	0.023
20	7	0.82	0.535489771	0.2	5.74	0.2339	10.7192	0.053
25	13	0.82	0.993898073	0.25	10.66	0.2924	10.7254	0.097
30	21	0.82	1.604585997	0.3	17.22	0.3509	10.7317	0.157
35	27	0.82	2.061828436	0.35	22.14	0.4094	10.7380	0.202
40	35	0.82	2.671171134	0.4	28.7	0.4678	10.7444	0.262
45	42	0.82	3.203522044	0.45	34.44	0.5263	10.7507	0.314
50	47	0.82	3.582786194	0.5	38.54	0.5848	10.7570	0.351
55	51	0.82	3.885417283	0.55	41.82	0.6433	10.7633	0.381
60	58	0.82	4.416109081	0.6	47.56	0.7018	10.7697	0.433
65	67	0.82	5.098363048	0.65	54.94	0.7602	10.7760	0.500
70	70	0.82	5.323509099	0.7	57.4	0.8187	10.7824	0.522
75	74	0.82	5.624391394	0.75	60.68	0.8772	10.7887	0.552
80	79	0.82	6.00087541	0.8	64.78	0.9357	10.7951	0.589
85	81	0.82	6.149164195	0.85	66.42	0.9942	10.8015	0.603
90	83	0.82	6.297273617	0.9	68.06	1.0526	10.8079	0.618
95	87	0.82	6.596855526	0.95	71.34	1.1111	10.8142	0.647
100	90	0.82	6.820297624	1	73.8	1.1696	10.8206	0.669
105	92	0.82	6.967734432	1.05	75.44	1.2281	10.8270	0.683
110	94	0.82	7.114991877	1.1	77.08	1.2865	10.8335	0.698
115	93	0.82	7.035130273	1.15	76.26	1.3450	10.8399	0.690
120	92	0.82	6.95535835	1.2	75.44	1.4035	10.8463	0.682
125	90	0.82	6.800119228	1.25	73.8	1.4620	10.8528	0.667



**Figura 6.25** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con puzolana 8% + Ee = 30 kg cm /cm<sup>3</sup>

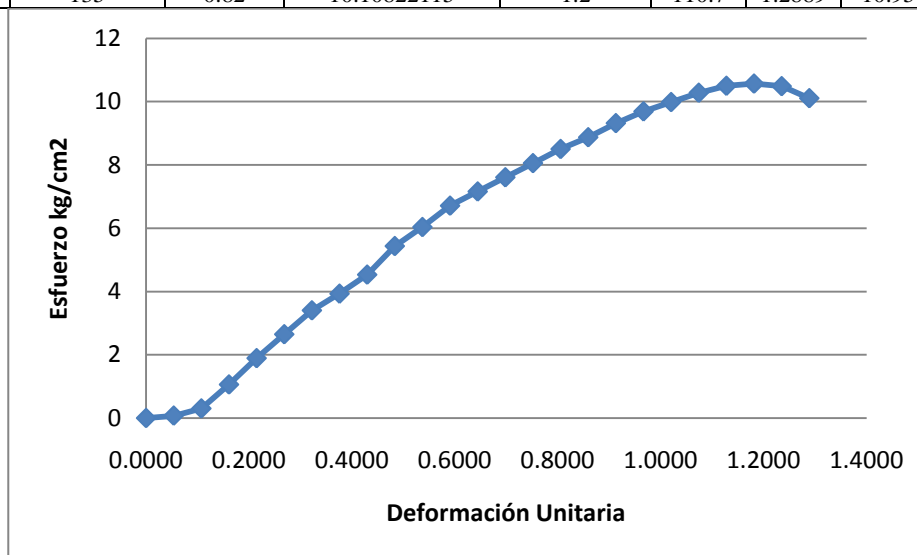
**Tabla 6.26** Compresión simple **Tepetate-Puzolana 10%** + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 30 días de elaboración

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.8103						Promedio
longitud inicial(cm)	9.31	93.1	Diámetros	3.71	3.7	3.72	3.71
ancho (cm)	3.710		Longitudes		9.3	9.32	9.31

w%= 2.240 Wmh = 65.18

Ws = 63.72

lectura Micrómetro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.8103	0.000
5	1	0.82	0.075812677	0.05	0.82	0.0537	10.8161	0.007
10	4	0.82	0.303087758	0.1	3.28	0.1074	10.8219	0.030
15	14	0.82	1.060236826	0.15	11.48	0.1611	10.8278	0.104
20	25	0.82	1.892261607	0.2	20.5	0.2148	10.8336	0.186
25	35	0.82	2.647740434	0.25	28.7	0.2685	10.8394	0.260
30	45	0.82	3.402404509	0.3	36.9	0.3222	10.8453	0.334
35	52	0.82	3.929549077	0.35	42.64	0.3759	10.8511	0.385
40	60	0.82	4.531650833	0.4	49.2	0.4296	10.8570	0.444
45	72	0.82	5.435047892	0.45	59.04	0.4834	10.8628	0.533
50	80	0.82	6.035683094	0.5	65.6	0.5371	10.8687	0.592
55	89	0.82	6.711071796	0.55	72.98	0.5908	10.8746	0.658
60	95	0.82	7.15963353	0.6	77.9	0.6445	10.8804	0.702
65	101	0.82	7.607706413	0.65	82.82	0.6982	10.8863	0.746
70	107	0.82	8.055290445	0.7	87.74	0.7519	10.8922	0.790
75	113	0.82	8.502385626	0.75	92.66	0.8056	10.8981	0.834
80	118	0.82	8.873790342	0.8	96.76	0.8593	10.9040	0.870
85	124	0.82	9.319948558	0.85	101.68	0.9130	10.9099	0.914
90	129	0.82	9.690497784	0.9	105.78	0.9667	10.9158	0.950
95	133	0.82	9.985560235	0.95	109.06	1.0204	10.9218	0.979
100	137	0.82	10.28029678	1	112.34	1.0741	10.9277	1.008
105	140	0.82	10.49970951	1.05	114.8	1.1278	10.9336	1.030
110	141	0.82	10.56896343	1.1	115.62	1.1815	10.9396	1.036
115	140	0.82	10.48830298	1.15	114.8	1.2352	10.9455	1.029
120	135	0.82	10.10822115	1.2	110.7	1.2889	10.9515	0.991



**Figura 6.26** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con puzolana 10% + Ee = 30 kg cm /cm<sup>3</sup>

6.2.3 Compresión simple al material tepetate-cal-puzolana + Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a diferentes edades 7, 15, 30 y 60 días

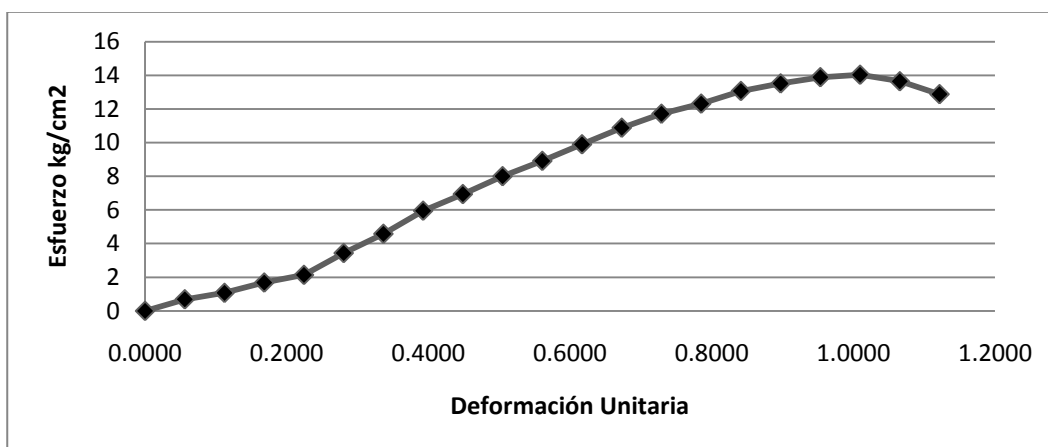
**Tabla 6.27** Compresión simple **Tepetate-cal10%-puzolana10% + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 7 días de elaboración Probeta 1**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.7018		Promedio				
longitud inicial(cm)	8.915	89.15	Diámetros	3.685	3.695	3.693	3.691
ancho (cm)	3.691		Longitudes		8.91	8.92	8.915

$$w\% = 4.571 \quad W_{mh} = 37.19$$

$$W_s = 35.49$$

Lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.7018	0.000
5	9	0.82	0.689215907	0.05	7.38	0.0561	10.7078	0.068
10	14	0.82	1.071511998	0.1	11.48	0.1122	10.7138	0.105
15	22	0.82	1.682859143	0.15	18.04	0.1683	10.7199	0.165
20	28	0.82	2.140617457	0.2	22.96	0.2243	10.7259	0.210
25	45	0.82	3.438344229	0.25	36.9	0.2804	10.7319	0.337
30	60	0.82	4.581880536	0.3	49.2	0.3365	10.7379	0.449
35	78	0.82	5.95309273	0.35	63.96	0.3926	10.7440	0.584
40	91	0.82	6.941364224	0.4	74.62	0.4487	10.7500	0.681
45	105	0.82	8.004754149	0.45	86.1	0.5048	10.7561	0.785
50	117	0.82	8.914555245	0.5	95.94	0.5609	10.7622	0.874
55	130	0.82	9.899474772	0.55	106.6	0.6169	10.7682	0.971
60	143	0.82	10.88327698	0.6	117.26	0.6730	10.7743	1.067
65	154	0.82	11.71383414	0.65	126.28	0.7291	10.7804	1.149
70	162	0.82	12.31538323	0.7	132.84	0.7852	10.7865	1.208
75	172	0.82	13.06820056	0.75	141.04	0.8413	10.7926	1.282
80	178	0.82	13.51641866	0.8	145.96	0.8974	10.7987	1.326
85	183	0.82	13.88822911	0.85	150.06	0.9534	10.8048	1.362
90	185	0.82	14.03206286	0.9	151.7	1.0095	10.8110	1.376
95	180	0.82	13.64508261	0.95	147.6	1.0656	10.8171	1.338
100	170	0.82	12.8797169	1	139.4	1.1217	10.8232	1.263



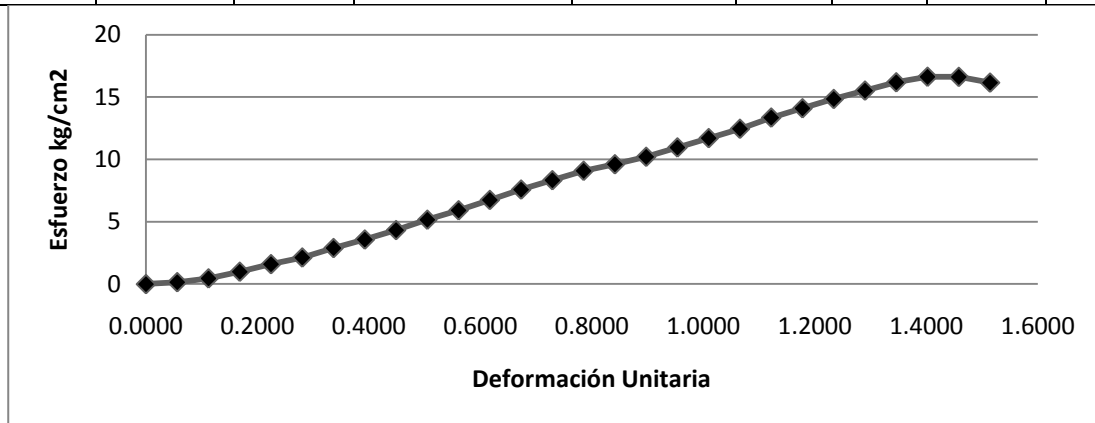
**Figura 6.27** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg cm /cm<sup>3</sup> a 7 días de elaboración probeta 1

**Tabla 6.28** Compresión simple **Tepetate-cal10%-puzolana10% + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 7 días de elaboración Probeta 2**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.7502	88.72	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.872		Diámetros	3.7	3.72	3.69	3.70
ancho (cm)	3.700		Longitudes		8.87	8.874	8.872

w%= 4.542    Wmh = 65.39  
 Ws = 62.42

Lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.7502	0.000
5	2	0.82	0.1524699	0.05	1.64	0.0561	10.7562	0.015
10	6	0.82	0.457153015	0.1	4.92	0.1122	10.7623	0.045
15	13	0.82	0.989942053	0.15	10.66	0.1683	10.7683	0.097
20	21	0.82	1.598238771	0.2	17.22	0.2243	10.7744	0.157
25	28	0.82	2.129787172	0.25	22.96	0.2804	10.7804	0.209
30	38	0.82	2.888799787	0.3	31.16	0.3365	10.7865	0.283
35	47	0.82	3.570978524	0.35	38.54	0.3926	10.7926	0.350
40	57	0.82	4.328322697	0.4	46.74	0.4487	10.7986	0.424
45	68	0.82	5.160703964	0.45	55.76	0.5048	10.8047	0.506
50	78	0.82	5.916294134	0.5	63.96	0.5609	10.8108	0.580
55	89	0.82	6.746835837	0.55	72.98	0.6169	10.8169	0.662
60	100	0.82	7.576436368	0.6	82	0.6730	10.8230	0.743
65	110	0.82	8.329374144	0.65	90.2	0.7291	10.8291	0.817
70	120	0.82	9.081456309	0.7	98.4	0.7852	10.8353	0.891
75	127	0.82	9.605774796	0.75	104.14	0.8413	10.8414	0.942
80	135	0.82	10.2050876	0.8	110.7	0.8974	10.8475	1.001
85	145	0.82	10.95481683	0.85	118.9	0.9534	10.8537	1.074
90	155	0.82	11.70369045	0.9	127.1	1.0095	10.8598	1.148
95	165	0.82	12.45170847	0.95	135.3	1.0656	10.8660	1.221
100	177	0.82	13.34971511	1	145.14	1.1217	10.8721	1.309
105	187	0.82	14.09593633	1.05	153.34	1.1778	10.8783	1.382
110	197	0.82	14.84130195	1.1	161.54	1.2339	10.8845	1.455
115	206	0.82	15.51051818	1.15	168.92	1.2900	10.8907	1.521
120	215	0.82	16.17896436	1.2	176.3	1.3460	10.8969	1.587
125	221	0.82	16.62101584	1.25	181.22	1.4021	10.9031	1.630
130	221	0.82	16.61156134	1.3	181.22	1.4582	10.9093	1.629
135	215	0.82	16.1513709	1.35	176.3	1.5143	10.9155	1.584



**Figura 6.28** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 7 días de elaboración probeta 2

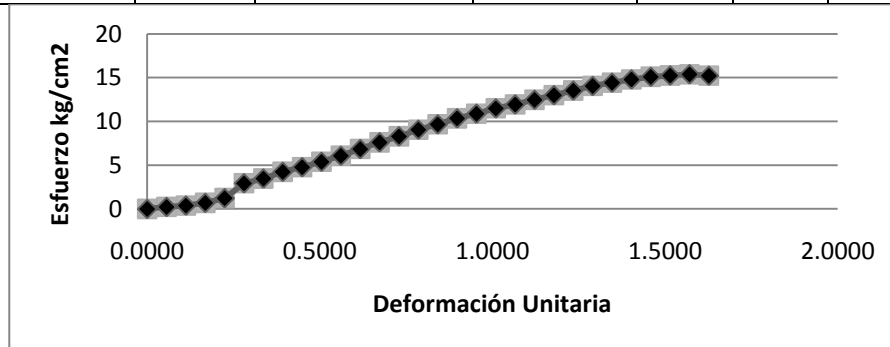
**Tabla 6.29** Compresión simple **Tepetate-cal10%-puzolana10% + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 7 días de elaboración Probeta 3**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.5977						Promedio
longitud inicial(cm)	9.072	90.72	Diámetros	3.67	3.675	3.674	3.673
ancho (cm)	3.673		Longitudes		9.077	9.065	9.0720

w%= 4.252 Wmh = 57.62

Ws = 55.17

Lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.5977	0.000
5	3	0.82	0.231997927	0.05	2.46	0.0551	10.6035	0.023
10	5	0.82	0.386449987	0.1	4.1	0.1102	10.6094	0.038
15	9	0.82	0.69522617	0.15	7.38	0.1653	10.6153	0.068
20	16	0.82	1.235275313	0.2	13.12	0.2205	10.6211	0.121
25	38	0.82	2.932158355	0.25	31.16	0.2756	10.6270	0.288
30	45	0.82	3.470373759	0.3	36.9	0.3307	10.6329	0.340
35	55	0.82	4.239222447	0.35	45.1	0.3858	10.6387	0.416
40	62	0.82	4.776115852	0.4	50.84	0.4409	10.6446	0.468
45	70	0.82	5.389403707	0.45	57.4	0.4960	10.6505	0.529
50	79	0.82	6.078958078	0.5	64.78	0.5511	10.6564	0.596
55	89	0.82	6.844651027	0.55	72.98	0.6063	10.6623	0.671
60	99	0.82	7.609491074	0.6	81.18	0.6614	10.6683	0.746
65	108	0.82	8.296657318	0.65	88.56	0.7165	10.6742	0.814
70	118	0.82	9.059834206	0.7	96.76	0.7716	10.6801	0.888
75	126	0.82	9.66868697	0.75	103.32	0.8267	10.6860	0.948
80	135	0.82	10.35355038	0.8	110.7	0.8818	10.6920	1.015
85	142	0.82	10.88434553	0.85	116.44	0.9369	10.6979	1.067
90	150	0.82	11.49115133	0.9	123	0.9921	10.7039	1.127
95	156	0.82	11.94414475	0.95	127.92	1.0472	10.7099	1.171
100	163	0.82	12.47314881	1	133.66	1.1023	10.7158	1.223
105	170	0.82	13.00155584	1.05	139.4	1.1574	10.7218	1.275
110	177	0.82	13.52936583	1.1	145.14	1.2125	10.7278	1.327
115	184	0.82	14.0565788	1.15	150.88	1.2676	10.7338	1.379
120	189	0.82	14.43049112	1.2	154.98	1.3228	10.7398	1.415
125	194	0.82	14.803977	1.25	159.08	1.3779	10.7458	1.452
130	198	0.82	15.1007699	1.3	162.36	1.4330	10.7518	1.481
135	199	0.82	15.16855004	1.35	163.18	1.4881	10.7578	1.488
140	200	0.82	15.23624489	1.4	164	1.5432	10.7638	1.494
145	198	0.82	15.07543871	1.45	162.36	1.5983	10.7698	1.478



**Figura 6.29** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 7 días de elaboración probeta 3

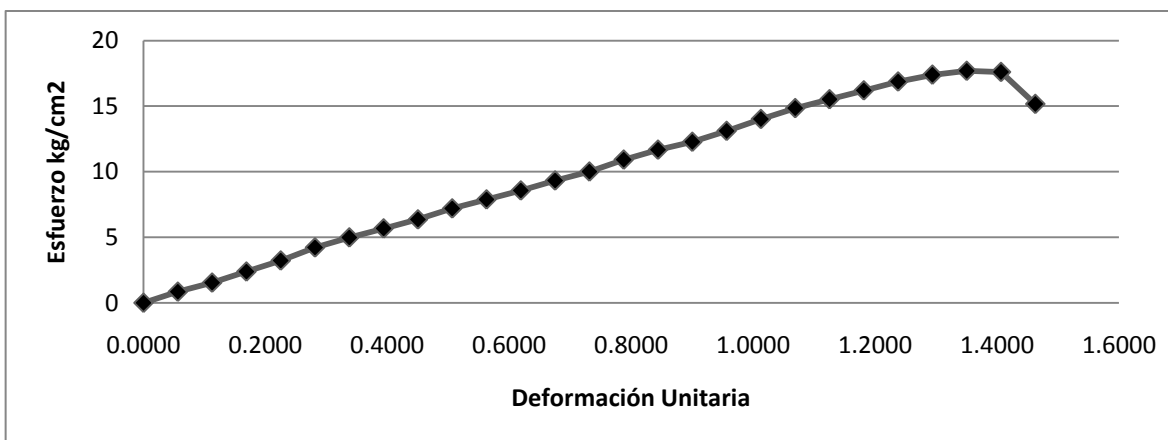
**Tabla 6.30** Compresión simple **Tepetate-cal10%-puzolana10% + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 15 días de elaboración Probeta 1**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.6593	mm	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.8875	88.875	Diámetros	3.685	3.682	3.685	3.684
ancho (cm)	3.684		Longitudes		8.883	8.892	8.8875

w%= 2.112    Wmh = 108.42

Ws = 106.13

lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.6593	0.000
5	11	0.82	0.845730513	0.05	9.02	0.0563	10.6653	0.083
10	20	0.82	1.536826269	0.1	16.4	0.1125	10.6713	0.151
15	31	0.82	2.380739077	0.15	25.42	0.1688	10.6774	0.233
20	42	0.82	3.223699755	0.2	34.44	0.2250	10.6834	0.316
25	55	0.82	4.219131256	0.25	45.1	0.2813	10.6894	0.414
30	65	0.82	4.983432915	0.3	53.3	0.3376	10.6954	0.489
35	74	0.82	5.67024408	0.35	60.68	0.3938	10.7015	0.556
40	83	0.82	6.356276229	0.4	68.06	0.4501	10.7075	0.623
45	94	0.82	7.194606086	0.45	77.08	0.5063	10.7136	0.706
50	103	0.82	7.878993645	0.5	84.46	0.5626	10.7196	0.773
55	112	0.82	8.562602187	0.55	91.84	0.6188	10.7257	0.840
60	122	0.82	9.321840239	0.6	100.04	0.6751	10.7318	0.914
65	131	0.82	10.00384747	0.65	107.42	0.7314	10.7379	0.981
70	143	0.82	10.91404159	0.7	117.26	0.7876	10.7440	1.070
75	153	0.82	11.67063964	0.75	125.46	0.8439	10.7501	1.145
80	161	0.82	12.2739013	0.8	132.02	0.9001	10.7562	1.204
85	172	0.82	13.10504689	0.85	141.04	0.9564	10.7623	1.285
90	184	0.82	14.01138921	0.9	150.88	1.0127	10.7684	1.374
95	195	0.82	14.84058727	0.95	159.9	1.0689	10.7745	1.455
100	204	0.82	15.51670859	1	167.28	1.1252	10.7806	1.522
105	213	0.82	16.19205091	1.05	174.66	1.1814	10.7868	1.588
110	222	0.82	16.8666142	1.1	182.04	1.2377	10.7929	1.654
115	229	0.82	17.38853356	1.15	187.78	1.2940	10.7991	1.705
120	233	0.82	17.68217947	1.2	191.06	1.3502	10.8052	1.734
125	232	0.82	17.59624963	1.25	190.24	1.4065	10.8114	1.726
130	200	0.82	15.16052498	1.3	164	1.4627	10.8176	1.487



**Figura 6.30** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 15 días de elaboración probeta 1

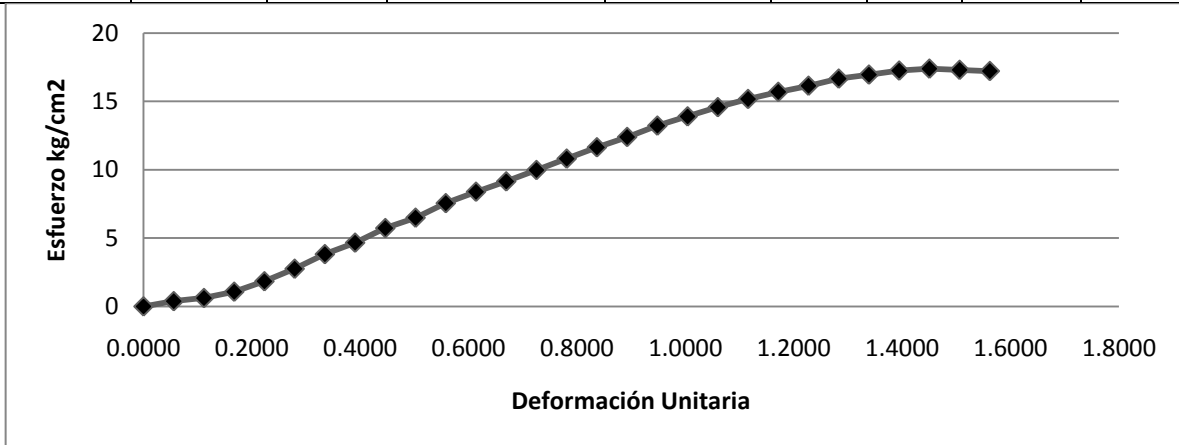
**Tabla 6.31** Compresión simple **Tepetate-cal10%-puzolana10%** +Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a **15 días** de elaboración **Probeta 2**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.6922	mm	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.9655	89.655	Diámetros	3.698	3.685	3.686	3.689666667
ancho (cm)	3.690		Longitudes		8.942	8.989	8.9655

w%= 2.476 Wmh = 94.52

Ws = 92.18

Lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.6922	0.000
5	5	0.82	0.383244935	0.05	4.1	0.0558	10.6981	0.038
10	8	0.82	0.612849732	0.1	6.56	0.1115	10.7041	0.060
15	14	0.82	1.071888244	0.15	11.48	0.1673	10.7101	0.105
20	24	0.82	1.836496212	0.2	19.68	0.2231	10.7161	0.180
25	36	0.82	2.75320458	0.25	29.52	0.2788	10.7221	0.270
30	50	0.82	3.821756726	0.3	41	0.3346	10.7281	0.375
35	61	0.82	4.659934206	0.35	50.02	0.3904	10.7341	0.457
40	75	0.82	5.726219516	0.4	61.5	0.4462	10.7401	0.562
45	85	0.82	6.486079961	0.45	69.7	0.5019	10.7461	0.636
50	99	0.82	7.550141206	0.5	81.18	0.5577	10.7521	0.740
55	110	0.82	8.384341031	0.55	90.2	0.6135	10.7582	0.822
60	120	0.82	9.141421393	0.6	98.4	0.6692	10.7642	0.896
65	131	0.82	9.973782087	0.65	107.42	0.7250	10.7702	0.978
70	142	0.82	10.80520183	0.7	116.44	0.7808	10.7763	1.060
75	153	0.82	11.63568062	0.75	125.46	0.8365	10.7824	1.141
80	163	0.82	12.38921104	0.8	133.66	0.8923	10.7884	1.215
85	174	0.82	13.2178507	0.85	142.68	0.9481	10.7945	1.296
90	183	0.82	13.89370563	0.9	150.06	1.0038	10.8006	1.363
95	192	0.82	14.5687907	0.95	157.44	1.0596	10.8067	1.429
100	200	0.82	15.16726955	1	164	1.1154	10.8128	1.487
105	207	0.82	15.68927049	1.05	169.74	1.1712	10.8189	1.539
110	213	0.82	16.13492184	1.1	174.66	1.2269	10.8250	1.582
115	220	0.82	16.65576798	1.15	180.4	1.2827	10.8311	1.633
120	224	0.82	16.94901954	1.2	183.68	1.3385	10.8372	1.662
125	228	0.82	17.24192893	1.25	186.96	1.3942	10.8433	1.691
130	230	0.82	17.38333671	1.3	188.6	1.4500	10.8495	1.705
135	229	0.82	17.29796254	1.35	187.78	1.5058	10.8556	1.696
140	228	0.82	17.21267392	1.4	186.96	1.5615	10.8618	1.688



**Figura 6.31** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg cm /cm<sup>3</sup> a 15 días de elaboración probeta 2

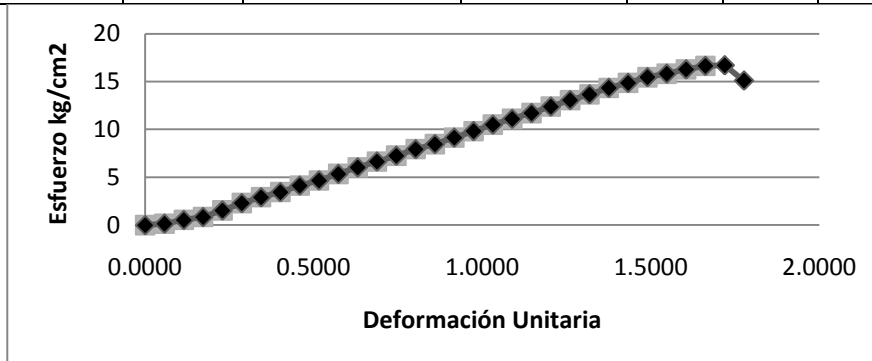


**Tabla 6.32** Compresión simple **Tepetate-cal10%-puzolana10% +Ee= 30 kg/cm<sup>3</sup>** a **15 días** de elaboración **Probeta 3**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.6632	mm	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.7275	87.275	Diámetros	3.684	3.685	3.685	3.684666667
ancho (cm)	3.685		Longitudes		8.735	8.72	8.7275

w%= 2.369 Wmh = 76.81  
Ws = 74.99

lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.6632	0.000
5	2	0.82	0.15371196	0.05	1.64	0.0573	10.6693	0.015
10	7	0.82	0.537683467	0.1	5.74	0.1146	10.6754	0.053
15	11	0.82	0.844446545	0.15	9.02	0.1719	10.6816	0.083
20	20	0.82	1.534476231	0.2	16.4	0.2292	10.6877	0.150
25	30	0.82	2.300392662	0.25	24.6	0.2865	10.6938	0.226
30	38	0.82	2.912156571	0.3	31.16	0.3437	10.7000	0.286
35	45	0.82	3.446623938	0.35	36.9	0.4010	10.7061	0.338
40	54	0.82	4.133569693	0.4	44.28	0.4583	10.7123	0.405
45	61	0.82	4.666715375	0.45	50.02	0.5156	10.7185	0.458
50	70	0.82	5.35216322	0.5	57.4	0.5729	10.7246	0.525
55	79	0.82	6.036818054	0.55	64.78	0.6302	10.7308	0.592
60	87	0.82	6.644308515	0.6	71.34	0.6875	10.7370	0.652
65	95	0.82	7.251094078	0.65	77.9	0.7448	10.7432	0.711
70	104	0.82	7.933457991	0.7	85.28	0.8021	10.7494	0.778
75	111	0.82	8.462550506	0.75	91.02	0.8594	10.7556	0.830
80	120	0.82	9.14341651	0.8	98.4	0.9166	10.7618	0.897
85	129	0.82	9.823489503	0.85	105.78	0.9739	10.7681	0.963
90	138	0.82	10.50276949	0.9	113.16	1.0312	10.7743	1.030
95	146	0.82	11.10519349	0.95	119.72	1.0885	10.7805	1.089
100	154	0.82	11.70691259	1	126.28	1.1458	10.7868	1.148
105	163	0.82	12.38390165	1.05	133.66	1.2031	10.7930	1.214
110	172	0.82	13.0600977	1.1	141.04	1.2604	10.7993	1.281
115	180	0.82	13.659614	1.15	147.6	1.3177	10.8056	1.340
120	189	0.82	14.33426808	1.2	154.98	1.3750	10.8119	1.406
125	196	0.82	14.85653189	1.25	160.72	1.4323	10.8181	1.457
130	204	0.82	15.45393349	1.3	167.28	1.4895	10.8244	1.516
135	209	0.82	15.82349863	1.35	171.38	1.5468	10.8307	1.552
140	215	0.82	16.26828967	1.4	176.3	1.6041	10.8370	1.595
145	220	0.82	16.63692964	1.45	180.4	1.6614	10.8433	1.632
150	221	0.82	16.70281563	1.5	181.22	1.7187	10.8497	1.638
155	200	0.82	15.10685902	1.55	164	1.7760	10.8560	1.482



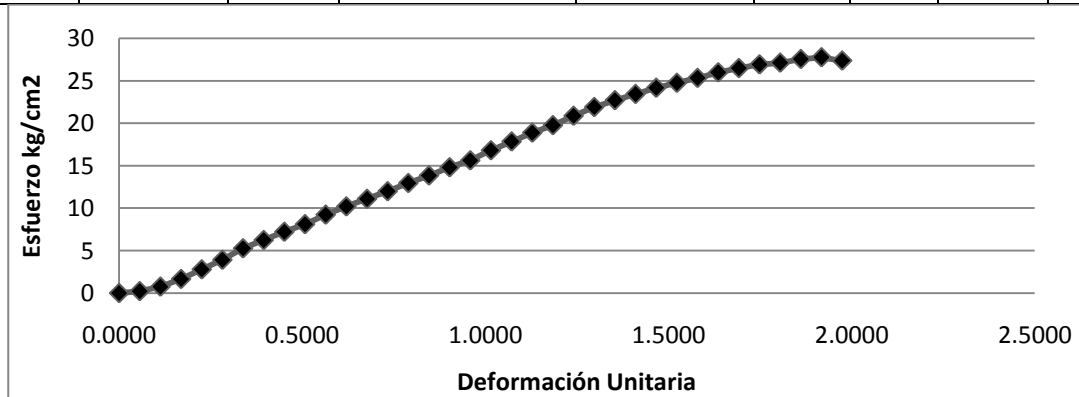
**Figura 6.32** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg/cm<sup>3</sup> a 15 días de elaboración probeta 3

**Tabla 6.33** Compresión simple **Tepetate-cal10%-puzolana10% +Ee= 30 kg/cm<sup>3</sup>** a **30 días** de elaboración **Probeta 1**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.8648	mm	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.865	88.65	Diámetros	3.724	3.736	3.698	3.719
ancho (cm)	3.719		Longitudes		8.85	8.88	8.865

w%= 2.017    Wmh = 69.42  
 Ws = 68.02

lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.8648	0.000
5	3	0.82	0.226291889	0.05	2.46	0.0564	10.8709	0.022
10	10	0.82	0.753880615	0.1	8.2	0.1128	10.8771	0.074
15	22	0.82	1.657600856	0.15	18.04	0.1692	10.8832	0.163
20	37	0.82	2.786208239	0.2	30.34	0.2256	10.8894	0.273
25	52	0.82	3.91353858	0.25	42.64	0.2820	10.8955	0.384
30	70	0.82	5.265245246	0.3	57.4	0.3384	10.9017	0.516
35	83	0.82	6.239543355	0.35	68.06	0.3948	10.9078	0.612
40	96	0.82	7.212734695	0.4	78.72	0.4512	10.9140	0.707
45	108	0.82	8.10972918	0.45	88.56	0.5076	10.9202	0.795
50	123	0.82	9.230844582	0.5	100.86	0.5640	10.9264	0.905
55	136	0.82	10.20067304	0.55	111.52	0.6204	10.9326	1.000
60	148	0.82	11.09443235	0.6	121.36	0.6768	10.9388	1.088
65	160	0.82	11.98717003	0.65	131.2	0.7332	10.9450	1.176
70	173	0.82	12.95376332	0.7	141.86	0.7896	10.9513	1.270
75	185	0.82	13.84441516	0.75	151.7	0.8460	10.9575	1.358
80	198	0.82	14.80883748	0.8	162.36	0.9024	10.9637	1.452
85	209	0.82	15.62265394	0.85	171.38	0.9588	10.9700	1.532
90	225	0.82	16.80906877	0.9	184.5	1.0152	10.9762	1.648
95	239	0.82	17.84479261	0.95	195.98	1.0716	10.9825	1.750
100	253	0.82	18.87932455	1	207.46	1.1280	10.9887	1.851
105	265	0.82	19.76350605	1.05	217.3	1.1844	10.9950	1.938
110	280	0.82	20.87027601	1.1	229.6	1.2408	11.0013	2.047
115	294	0.82	21.90127479	1.15	241.08	1.2972	11.0076	2.148
120	305	0.82	22.70772698	1.2	250.1	1.3536	11.0139	2.227
125	315	0.82	23.43883367	1.25	258.3	1.4100	11.0202	2.299
130	325	0.82	24.16908901	1.3	266.5	1.4664	11.0265	2.370
135	333	0.82	24.74984526	1.35	273.06	1.5228	11.0328	2.427
140	341	0.82	25.32992042	1.4	279.62	1.5792	11.0391	2.484
145	350	0.82	25.98355322	1.45	287	1.6356	11.0454	2.548
150	357	0.82	26.48802748	1.5	292.74	1.6920	11.0518	2.598
155	363	0.82	26.9177522	1.55	297.66	1.7484	11.0581	2.640
160	366	0.82	27.12463305	1.6	300.12	1.8049	11.0645	2.660
165	372	0.82	27.55346384	1.65	305.04	1.8613	11.0708	2.702
170	375	0.82	27.75970617	1.7	307.5	1.9177	11.0772	2.722
175	370	0.82	27.37382656	1.75	303.4	1.9741	11.0836	2.685



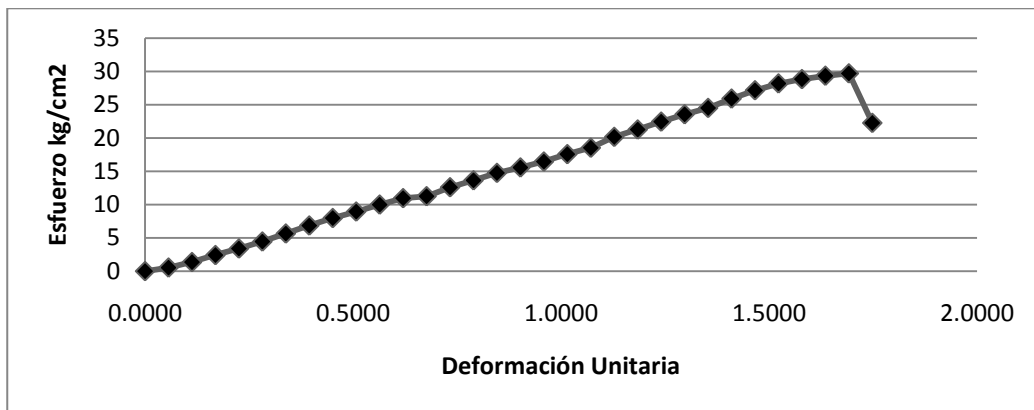
**Figura 6.33** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg/cm<sup>3</sup> a 30 días de elaboración probeta 1

**Tabla 6.34** Compresión simple **Tepetate-cal10%-puzolana10% +Ee= 30 kg/cm<sup>3</sup>** a **30 días** de elaboración **Probeta2**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.8648	mm	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.865	88.65	Diámetros	3.724	3.736	3.698	3.719
ancho (cm)	3.719		Longitudes		8.85	8.88	8.865

w%= 2.216    Wmh = 82.14  
 Ws = 80.32

lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.8648	0.000
5	7	0.82	0.528014407	0.05	5.74	0.0564	10.8709	0.052
10	18	0.82	1.356985107	0.1	14.76	0.1128	10.8771	0.133
15	32	0.82	2.41105579	0.15	26.24	0.1692	10.8832	0.236
20	45	0.82	3.388631642	0.2	36.9	0.2256	10.8894	0.332
25	59	0.82	4.440361081	0.25	48.38	0.2820	10.8955	0.435
30	75	0.82	5.641334192	0.3	61.5	0.3384	10.9017	0.553
35	91	0.82	6.840945125	0.35	74.62	0.3948	10.9078	0.671
40	106	0.82	7.964061226	0.4	86.92	0.4512	10.9140	0.781
45	119	0.82	8.935720115	0.45	97.58	0.5076	10.9202	0.876
50	133	0.82	9.981319751	0.5	109.06	0.5640	10.9264	0.979
55	146	0.82	10.95072253	0.55	119.72	0.6204	10.9326	1.074
60	150	0.82	11.24435712	0.6	123	0.6768	10.9388	1.103
65	168	0.82	12.58652853	0.65	137.76	0.7332	10.9450	1.234
70	182	0.82	13.62765852	0.7	149.24	0.7896	10.9513	1.336
75	197	0.82	14.74243128	0.75	161.54	0.8460	10.9575	1.446
80	208	0.82	15.55675856	0.8	170.56	0.9024	10.9637	1.526
85	220	0.82	16.44489889	0.85	180.4	0.9588	10.9700	1.613
90	235	0.82	17.5561385	0.9	192.7	1.0152	10.9762	1.722
95	248	0.82	18.51677225	0.95	203.36	1.0716	10.9825	1.816
100	270	0.82	20.14789577	1	221.4	1.1280	10.9887	1.976
105	285	0.82	21.25509141	1.05	233.7	1.1844	10.9950	2.084
110	301	0.82	22.43554671	1.1	246.82	1.2408	11.0013	2.200
115	316	0.82	23.54014569	1.15	259.12	1.2972	11.0076	2.309
120	329	0.82	24.49456451	1.2	269.78	1.3536	11.0139	2.402
125	348	0.82	25.89433054	1.25	285.36	1.4100	11.0202	2.539
130	365	0.82	27.14374612	1.3	299.3	1.4664	11.0265	2.662
135	379	0.82	28.1687428	1.35	310.78	1.5228	11.0328	2.763
140	388	0.82	28.82114113	1.4	318.16	1.5792	11.0391	2.826
145	395	0.82	29.32429578	1.45	323.9	1.6356	11.0454	2.876
150	400	0.82	29.67846217	1.5	328	1.6920	11.0518	2.911
155	300	0.82	22.2460762	1.55	246	1.7484	11.0581	2.182



**Figura 6.34** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg/cm<sup>3</sup> a 30 días de elaboración probeta 2

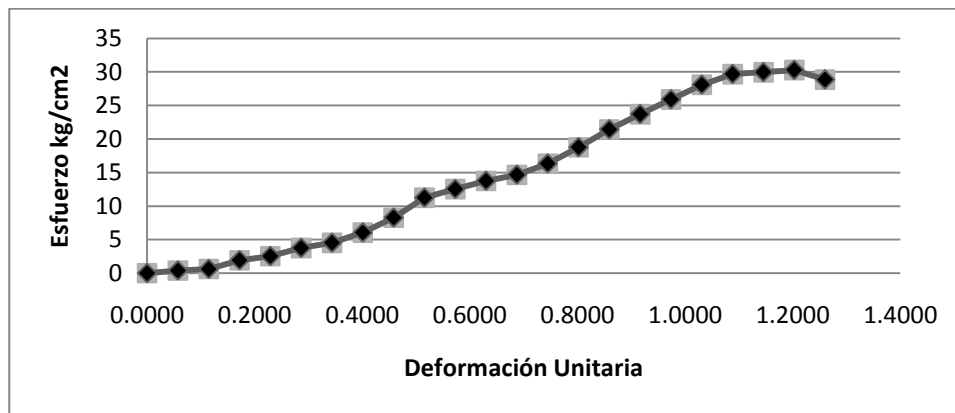
**Tabla 6.35** Compresión simple **Tepetate-cal10%-puzolana10% +Ee= 30 kg/cm<sup>3</sup>** a **30 días** de elaboración **Probeta3**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.6632	mm	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.7275	87.275	Diámetros	3.684	3.685	3.685	3.684666667
ancho (cm)	3.685		Longitudes		8.735	8.72	8.7275

w%= 2.189 Wmh = 102.34

Ws = 100.1

lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.6632	0.000
5	5	0.82	0.3842799	0.05	4.1	0.0573	10.6693	0.038
10	8	0.82	0.614495391	0.1	6.56	0.1146	10.6754	0.060
15	25	0.82	1.919196693	0.15	20.5	0.1719	10.6816	0.188
20	33	0.82	2.531885782	0.2	27.06	0.2292	10.6877	0.248
25	49	0.82	3.757308015	0.25	40.18	0.2865	10.6938	0.368
30	59	0.82	4.521506255	0.3	48.38	0.3437	10.7000	0.443
35	79	0.82	6.050739803	0.35	64.78	0.4010	10.7061	0.593
40	108	0.82	8.267139386	0.4	88.56	0.4583	10.7123	0.811
45	147	0.82	11.24601902	0.45	120.54	0.5156	10.7185	1.103
50	164	0.82	12.53935383	0.5	134.48	0.5729	10.7246	1.230
55	180	0.82	13.75477531	0.55	147.6	0.6302	10.7308	1.349
60	192	0.82	14.66330155	0.6	157.44	0.6875	10.7370	1.438
65	214	0.82	16.3340435	0.65	175.48	0.7448	10.7432	1.602
70	246	0.82	18.76567948	0.7	201.72	0.8021	10.7494	1.840
75	281	0.82	21.42321344	0.75	230.42	0.8594	10.7556	2.101
80	311	0.82	23.69668779	0.8	255.02	0.9166	10.7618	2.324
85	340	0.82	25.89136768	0.85	278.8	0.9739	10.7681	2.539
90	369	0.82	28.08349232	0.9	302.58	1.0312	10.7743	2.754
95	390	0.82	29.66455795	0.95	319.8	1.0885	10.7805	2.909
100	394	0.82	29.95145169	1	323.08	1.1458	10.7868	2.937
105	398.5	0.82	30.27598042	1.05	326.77	1.2031	10.7930	2.969
110	380	0.82	28.85370423	1.1	311.6	1.2604	10.7993	2.830



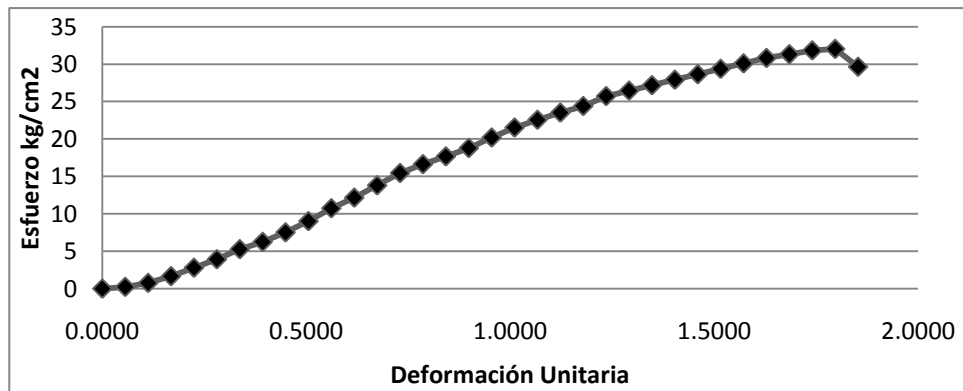
**Figura 6.35** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg/cm<sup>3</sup> a 30 días de elaboración probeta 3

**Tabla 6.36** Compresión simple **Tepetate-cal10%-puzolana10% +Ee= 30 kg/cm<sup>3</sup>** a **60 días** de elaboración **Probeta1**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.8628	mm	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.905	89.05	Diámetros	3.726	3.736	3.695	3.719
ancho (cm)	3.719		Longitudes		8.9	8.91	8.905

w%= 2.107    Wmh = 49.35  
 Ws = 48.31

lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.8628	0.000
5	3	0.82	0.226333029	0.05	2.46	0.0561	10.8689	0.022
10	10	0.82	0.754019587	0.1	8.2	0.1123	10.8750	0.074
15	22	0.82	1.657910632	0.15	18.04	0.1684	10.8812	0.163
20	37	0.82	2.78673602	0.2	30.34	0.2246	10.8873	0.273
25	52	0.82	3.914289874	0.25	42.64	0.2807	10.8934	0.384
30	70	0.82	5.266269457	0.3	57.4	0.3369	10.8996	0.516
35	83	0.82	6.240773017	0.35	68.06	0.3930	10.9057	0.612
40	100	0.82	7.514765188	0.4	82	0.4492	10.9119	0.737
45	120	0.82	9.012632091	0.45	98.4	0.5053	10.9180	0.884
50	143	0.82	10.73399226	0.5	117.26	0.5615	10.9242	1.053
55	162	0.82	12.15332076	0.55	132.84	0.6176	10.9303	1.192
60	184	0.82	13.79597298	0.6	150.88	0.6738	10.9365	1.353
65	206	0.82	15.43676029	0.65	168.92	0.7299	10.9427	1.514
70	222	0.82	16.62632261	0.7	182.04	0.7861	10.9489	1.631
75	236	0.82	17.66482671	0.75	193.52	0.8422	10.9551	1.732
80	251	0.82	18.77695262	0.8	205.82	0.8984	10.9613	1.841
85	270	0.82	20.18687177	0.85	221.4	0.9545	10.9675	1.980
90	288	0.82	21.52045649	0.9	236.16	1.0107	10.9737	2.111
95	302	0.82	22.55378968	0.95	247.64	1.0668	10.9800	2.212
100	315	0.82	23.51129708	1	258.3	1.1230	10.9862	2.306
105	327	0.82	24.39310582	1.05	268.14	1.1791	10.9925	2.392
110	345	0.82	25.72122295	1.1	282.9	1.2353	10.9987	2.522
115	355	0.82	26.45171916	1.15	291.1	1.2914	11.0050	2.594
120	365	0.82	27.18136768	1.2	299.3	1.3476	11.0112	2.666
125	375	0.82	27.91016851	1.25	307.5	1.4037	11.0175	2.737
130	385	0.82	28.63812165	1.3	315.7	1.4599	11.0238	2.809
135	395	0.82	29.3652271	1.35	323.9	1.5160	11.0301	2.880
140	405	0.82	30.09148487	1.4	332.1	1.5722	11.0363	2.951
145	415	0.82	30.81689494	1.45	340.3	1.6283	11.0426	3.022
150	422	0.82	31.31881175	1.5	346.04	1.6844	11.0490	3.071
155	429	0.82	31.82013517	1.55	351.78	1.7406	11.0553	3.121
160	432	0.82	32.02434351	1.6	354.24	1.7967	11.0616	3.141
165	400	0.82	29.63521613	1.65	328	1.8529	11.0679	2.906



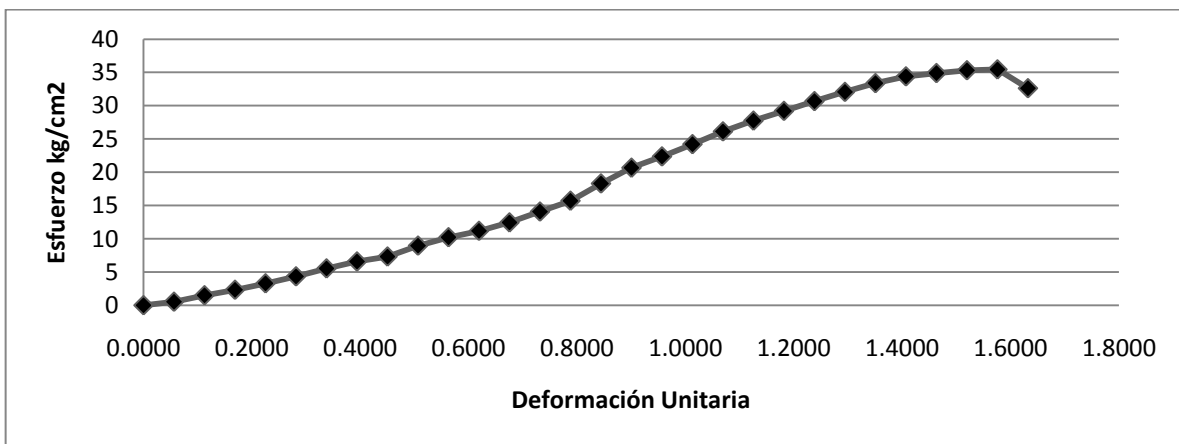
**Figura 6.36** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg/cm<sup>3</sup> a 30 días de elaboración probeta 1

**Tabla 6.37** Compresión simple **Tepetate-cal10%-puzolana10% + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 60 días de elaboración Probeta2**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.9291	mm	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.885	88.85	Diámetros	3.724	3.736	3.731	3.730
ancho (cm)	3.730		Longitudes	8.89		8.88	8.885

w%= 2.294    Wmh = 77.16  
 Ws = 75.39

lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.9291	0.000
5	7	0.82	0.52490565	0.05	5.74	0.0563	10.9353	0.051
10	20	0.82	1.498885984	0.1	16.4	0.1125	10.9415	0.147
15	31	0.82	2.321964389	0.15	25.42	0.1688	10.9476	0.228
20	44	0.82	3.293833617	0.2	36.08	0.2251	10.9538	0.323
25	58	0.82	4.339422702	0.25	47.56	0.2814	10.9600	0.426
30	74	0.82	5.533380389	0.3	60.68	0.3376	10.9662	0.543
35	88	0.82	6.576520589	0.35	72.16	0.3939	10.9724	0.645
40	98	0.82	7.319714705	0.4	80.36	0.4502	10.9786	0.718
45	120	0.82	8.957849308	0.45	98.4	0.5065	10.9848	0.878
50	137	0.82	10.22109353	0.5	112.34	0.5627	10.9910	1.002
55	150	0.82	11.18464499	0.55	123	0.6190	10.9972	1.097
60	167	0.82	12.44518699	0.6	136.94	0.6753	11.0035	1.220
65	189	0.82	14.07669272	0.65	154.98	0.7316	11.0097	1.381
70	211	0.82	15.70634068	0.7	173.02	0.7878	11.0159	1.540
75	246	0.82	18.3012712	0.75	201.72	0.8441	11.0222	1.795
80	278	0.82	20.67018661	0.8	227.96	0.9004	11.0284	2.027
85	301	0.82	22.3676011	0.85	246.82	0.9567	11.0347	2.194
90	326	0.82	24.21161086	0.9	267.32	1.0129	11.0410	2.374
95	352	0.82	26.12773604	0.95	288.64	1.0692	11.0473	2.562
100	374	0.82	27.74492846	1	306.68	1.1255	11.0536	2.721
105	394	0.82	29.21197895	1.05	323.08	1.1818	11.0598	2.865
110	414	0.82	30.67734055	1.1	339.48	1.2380	11.0661	3.009
115	433	0.82	32.06695564	1.15	355.06	1.2943	11.0725	3.145
120	451	0.82	33.38095087	1.2	369.82	1.3506	11.0788	3.274
125	465	0.82	34.39753334	1.25	381.3	1.4069	11.0851	3.373
130	472	0.82	34.89541682	1.3	387.04	1.4631	11.0914	3.422
135	478	0.82	35.31882045	1.35	391.96	1.5194	11.0978	3.464
140	480	0.82	35.44633131	1.4	393.6	1.5757	11.1041	3.476
145	442	0.82	32.62150123	1.45	362.44	1.6320	11.1105	3.199



**Figura 6.37** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 30 días de elaboración probeta 2

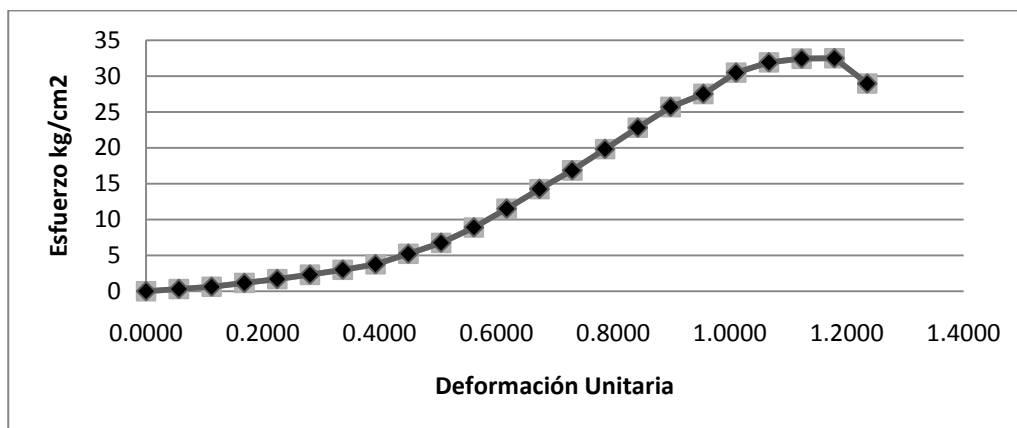
**Tabla 6.38** Compresión simple **Tepetate-cal10%-puzolana10% +Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 60 días de elaboración Probeta3**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.6304	mm	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.7575	87.575	Diámetros	3.66	3.667	3.71	3.679
ancho (cm)	3.679		Longitudes		8.735	8.78	8.7575

w%= 2.092      Wmh = 94.15

Ws = 92.18

lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.6304	0.000
5	4	0.82	0.308375207	0.05	3.28	0.0561	10.6364	0.030
10	8	0.82	0.616403925	0.1	6.56	0.1123	10.6424	0.060
15	15	0.82	1.155107692	0.15	12.3	0.1684	10.6484	0.113
20	22	0.82	1.693205104	0.2	18.04	0.2246	10.6544	0.166
25	30	0.82	2.307616717	0.25	24.6	0.2807	10.6603	0.226
30	39	0.82	2.998212599	0.3	31.98	0.3369	10.6664	0.294
35	49	0.82	3.764862815	0.35	40.18	0.3930	10.6724	0.369
40	68	0.82	5.221762423	0.4	55.76	0.4492	10.6784	0.512
45	88	0.82	6.753763521	0.45	72.16	0.5053	10.6844	0.662
50	116	0.82	8.897664188	0.5	95.12	0.5615	10.6904	0.873
55	150	0.82	11.49910357	0.55	123	0.6176	10.6965	1.128
60	186	0.82	14.25083256	0.6	152.52	0.6738	10.7025	1.398
65	220	0.82	16.84629501	0.65	180.4	0.7299	10.7086	1.652
70	259	0.82	19.82146609	0.7	212.38	0.7861	10.7146	1.944
75	298	0.82	22.79325891	0.75	244.36	0.8422	10.7207	2.235
80	336	0.82	25.68522932	0.8	275.52	0.8984	10.7268	2.519
85	360	0.82	27.50429655	0.85	295.2	0.9545	10.7329	2.697
90	399	0.82	30.46664754	0.9	327.18	1.0107	10.7390	2.988
95	418	0.82	31.89933623	0.95	342.76	1.0668	10.7451	3.128
100	425	0.82	32.41512841	1	348.5	1.1230	10.7512	3.179
105	426	0.82	32.47294876	1.05	349.32	1.1791	10.7573	3.185
110	380	0.82	28.95002189	1.1	311.6	1.2353	10.7634	2.839



**Figura 6.38** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% puzolana 10% + Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 30 días de elaboración probeta 3

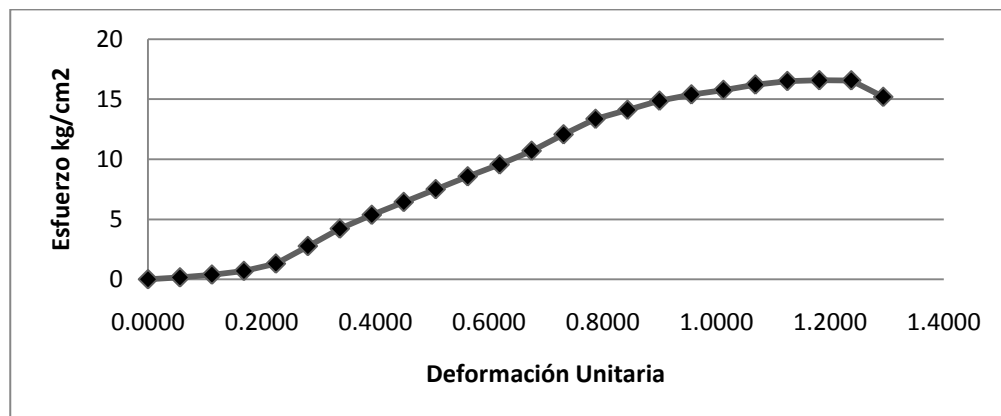
6.2.4 Compresión simple al material tepetate-cal-ceniza volante + Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a diferentes edades 7, 15, 30 y 60 días

**Tabla 6.39** Compresión simple **Tepetate-cal10%-ceniza10%** + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a **7 días** de elaboración **Probeta1**

área corregida (cm2)	10.6593	mm	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.8875	88.875	Diámetros	3.685	3.682	3.685	3.684
ancho (cm)	3.684		Longitudes		8.883	8.892	8.8875

w%= 2.053      Wmh = 92.56  
 Ws = 90.66

Lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm2)	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm2)	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.6593	0.000
5	2	0.82	0.153769184	0.05	1.64	0.0563	10.6653	0.015
10	5	0.82	0.384206567	0.1	4.1	0.1125	10.6713	0.038
15	9	0.82	0.691182313	0.15	7.38	0.1688	10.6774	0.068
20	17	0.82	1.304830853	0.2	13.94	0.2250	10.6834	0.128
25	36	0.82	2.761613186	0.25	29.52	0.2813	10.6894	0.271
30	55	0.82	4.216750928	0.3	45.1	0.3376	10.6954	0.414
35	70	0.82	5.3637444	0.35	57.4	0.3938	10.7015	0.526
40	84	0.82	6.43285787	0.4	68.88	0.4501	10.7075	0.631
45	98	0.82	7.500759537	0.45	80.36	0.5063	10.7136	0.736
50	112	0.82	8.5674494	0.5	91.84	0.5626	10.7196	0.840
55	125	0.82	9.556475655	0.55	102.5	0.6188	10.7257	0.937
60	140	0.82	10.69719372	0.6	114.8	0.6751	10.7318	1.049
65	158	0.82	12.06570916	0.65	129.56	0.7314	10.7379	1.183
70	175	0.82	13.3563446	0.7	143.5	0.7876	10.7440	1.310
75	185	0.82	14.11155774	0.75	151.7	0.8439	10.7501	1.384
80	195	0.82	14.8659053	0.8	159.9	0.9001	10.7562	1.458
85	202	0.82	15.39081089	0.85	165.64	0.9564	10.7623	1.509
90	207	0.82	15.76281286	0.9	169.74	1.0127	10.7684	1.546
95	213	0.82	16.21048763	0.95	174.66	1.0689	10.7745	1.590
100	217	0.82	16.50551846	1	177.94	1.1252	10.7806	1.619
105	218	0.82	16.572146	1.05	178.76	1.1814	10.7868	1.625
110	218	0.82	16.56271124	1.1	178.76	1.2377	10.7929	1.624
115	200	0.82	15.18649219	1.15	164	1.2940	10.7991	1.489



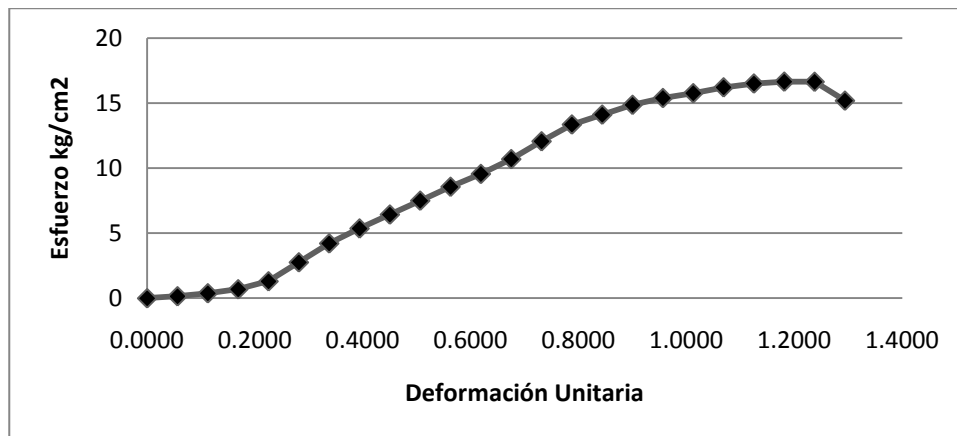
**Figura 6.39** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 7 días de elaboración probeta 1



**Tabla 6.40** Compresión simple **Tepetate-cal10%-ceniza10%** + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a **7 días** de elaboración **Probeta2**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.6593	mm	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.8875	88.875	Diámetros	3.685	3.682	3.685	3.684
ancho (cm)	3.684		Longitudes		8.883	8.892	8.8875
			w%=	2.230	Wmh =	33.18	
					Ws =	32.44	

Lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.6593	0.000
5	2	0.82	0.153769184	0.05	1.64	0.0563	10.6653	0.015
10	5	0.82	0.384206567	0.1	4.1	0.1125	10.6713	0.038
15	9	0.82	0.691182313	0.15	7.38	0.1688	10.6774	0.068
20	17	0.82	1.304830853	0.2	13.94	0.2250	10.6834	0.128
25	36	0.82	2.761613186	0.25	29.52	0.2813	10.6894	0.271
30	55	0.82	4.216750928	0.3	45.1	0.3376	10.6954	0.414
35	70	0.82	5.3637444	0.35	57.4	0.3938	10.7015	0.526
40	84	0.82	6.43285787	0.4	68.88	0.4501	10.7075	0.631
45	98	0.82	7.500759537	0.45	80.36	0.5063	10.7136	0.736
50	112	0.82	8.5674494	0.5	91.84	0.5626	10.7196	0.840
55	125	0.82	9.556475655	0.55	102.5	0.6188	10.7257	0.937
60	140	0.82	10.69719372	0.6	114.8	0.6751	10.7318	1.049
65	158	0.82	12.06570916	0.65	129.56	0.7314	10.7379	1.183
70	175	0.82	13.3563446	0.7	143.5	0.7876	10.7440	1.310
75	185	0.82	14.11155774	0.75	151.7	0.8439	10.7501	1.384
80	195	0.82	14.8659053	0.8	159.9	0.9001	10.7562	1.458
85	202	0.82	15.39081089	0.85	165.64	0.9564	10.7623	1.509
90	207	0.82	15.76281286	0.9	169.74	1.0127	10.7684	1.546
95	213	0.82	16.21048763	0.95	174.66	1.0689	10.7745	1.590
100	217	0.82	16.50551846	1	177.94	1.1252	10.7806	1.619
105	219	0.82	16.64816502	1.05	179.58	1.1814	10.7868	1.633
110	219	0.82	16.63868698	1.1	179.58	1.2377	10.7929	1.632
115	200	0.82	15.18649219	1.15	164	1.2940	10.7991	1.489



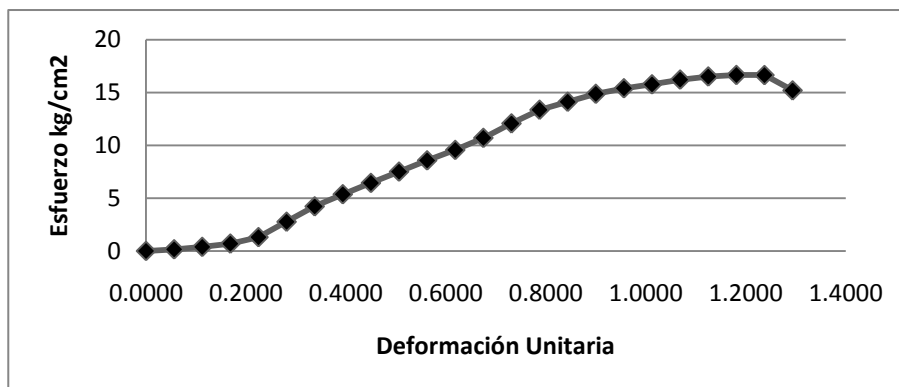
**Figura 6.40** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 7 días de elaboración probeta 2

**Tabla 6.41** Compresión simple **Tepetate-cal10%-ceniza10%** + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a **7 días** de elaboración **Probeta3**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.6593	mm	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.8875	88.875	Diámetros	3.685	3.682	3.685	3.684
ancho (cm)	3.684		Longitudes		8.883	8.892	8.8875

w%= 2.100    Wmh = 71.92  
 Ws = 70.41

Lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.6593	0.000
5	2	0.82	0.153769184	0.05	1.64	0.0563	10.6653	0.015
10	5	0.82	0.384206567	0.1	4.1	0.1125	10.6713	0.038
15	9	0.82	0.691182313	0.15	7.38	0.1688	10.6774	0.068
20	17	0.82	1.304830853	0.2	13.94	0.2250	10.6834	0.128
25	36	0.82	2.761613186	0.25	29.52	0.2813	10.6894	0.271
30	55	0.82	4.216750928	0.3	45.1	0.3376	10.6954	0.414
35	70	0.82	5.3637444	0.35	57.4	0.3938	10.7015	0.526
40	84	0.82	6.43285787	0.4	68.88	0.4501	10.7075	0.631
45	98	0.82	7.500759537	0.45	80.36	0.5063	10.7136	0.736
50	112	0.82	8.5674494	0.5	91.84	0.5626	10.7196	0.840
55	125	0.82	9.556475655	0.55	102.5	0.6188	10.7257	0.937
60	140	0.82	10.69719372	0.6	114.8	0.6751	10.7318	1.049
65	158	0.82	12.06570916	0.65	129.56	0.7314	10.7379	1.183
70	175	0.82	13.3563446	0.7	143.5	0.7876	10.7440	1.310
75	185	0.82	14.11155774	0.75	151.7	0.8439	10.7501	1.384
80	195	0.82	14.8659053	0.8	159.9	0.9001	10.7562	1.458
85	202	0.82	15.39081089	0.85	165.64	0.9564	10.7623	1.509
90	207	0.82	15.76281286	0.9	169.74	1.0127	10.7684	1.546
95	213	0.82	16.21048763	0.95	174.66	1.0689	10.7745	1.590
100	217	0.82	16.50551846	1	177.94	1.1252	10.7806	1.619
105	219	0.82	16.64816502	1.05	179.58	1.1814	10.7868	1.633
110	219	0.82	16.63868698	1.1	179.58	1.2377	10.7929	1.632
115	200	0.82	15.18649219	1.15	164	1.2940	10.7991	1.489



**Figura 6.41** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 7 días de elaboración probeta 3

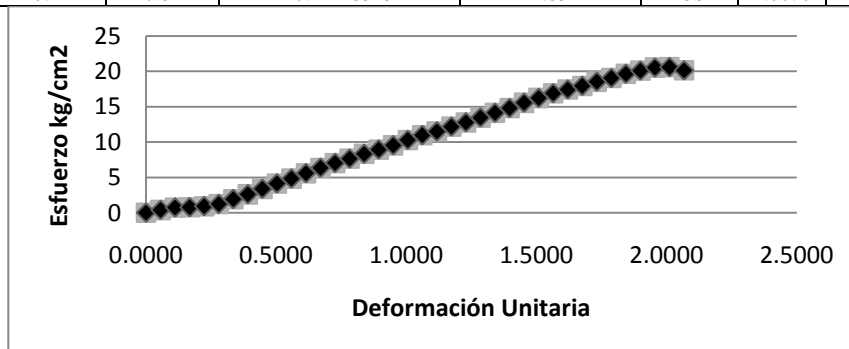
**Tabla 6.42** Compresión simple **Tepetate-cal10%-ceniza10%** + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a **15 días** de elaboración **Probeta 1**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.6555	mm	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.95	89.5	Diámetros	3.69	3.68	3.68	3.683333333
ancho (cm)	3.683		Longitudes		8.955	8.945	8.95

w%= 2.278 Wmh = 66.73

Ws = 65.21

lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.6555	0.000
5	5	0.82	0.384563643	0.05	4.1	0.0559	10.6614	0.038
10	9.5	0.82	0.730262497	0.1	7.79	0.1117	10.6674	0.072
15	10	0.82	0.768267445	0.15	8.2	0.1676	10.6734	0.075
20	12	0.82	0.921405029	0.2	9.84	0.2235	10.6793	0.090
25	16	0.82	1.227852167	0.25	13.12	0.2793	10.6853	0.120
30	25	0.82	1.91744421	0.3	20.5	0.3352	10.6913	0.188
35	34	0.82	2.606262397	0.35	27.88	0.3911	10.6973	0.256
40	44	0.82	3.370918512	0.4	36.08	0.4469	10.7033	0.331
45	54	0.82	4.134714786	0.45	44.28	0.5028	10.7093	0.405
50	63	0.82	4.82112542	0.5	51.66	0.5587	10.7153	0.473
55	73	0.82	5.583245005	0.55	59.86	0.6145	10.7214	0.548
60	83	0.82	6.34450475	0.6	68.06	0.6704	10.7274	0.622
65	92	0.82	7.02850783	0.65	75.44	0.7263	10.7334	0.689
70	100	0.82	7.635383222	0.7	82	0.7821	10.7395	0.749
75	109	0.82	8.317881582	0.75	89.38	0.8380	10.7455	0.816
80	117	0.82	8.923338237	0.8	95.94	0.8939	10.7516	0.875
85	125	0.82	9.528107019	0.85	102.5	0.9497	10.7576	0.934
90	135	0.82	10.28455166	0.9	110.7	1.0056	10.7637	1.009
95	144	0.82	10.96399758	0.95	118.08	1.0615	10.7698	1.075
100	151	0.82	11.49047789	1	123.82	1.1173	10.7759	1.127
105	160	0.82	12.16846209	1.05	131.2	1.1732	10.7820	1.193
110	168	0.82	12.76966253	1.1	137.76	1.2291	10.7881	1.252
115	177	0.82	13.44614201	1.15	145.14	1.2849	10.7942	1.319
120	186	0.82	14.12184763	1.2	152.52	1.3408	10.8003	1.385
125	195	0.82	14.79677939	1.25	159.9	1.3966	10.8064	1.451
130	205	0.82	15.54677523	1.3	168.1	1.4525	10.8125	1.525
135	214	0.82	16.22011629	1.35	175.48	1.5084	10.8187	1.591
140	223	0.82	16.89268349	1.4	182.86	1.5642	10.8248	1.657
145	230	0.82	17.41305893	1.45	188.6	1.6201	10.8310	1.708
150	237	0.82	17.93283249	1.5	194.34	1.6760	10.8371	1.759
155	245	0.82	18.52762712	1.55	200.9	1.7318	10.8433	1.817
160	252	0.82	19.04615391	1.6	206.64	1.7877	10.8494	1.868
165	260	0.82	19.63961579	1.65	213.2	1.8436	10.8556	1.926
170	266	0.82	20.08140181	1.7	218.12	1.8994	10.8618	1.969
175	272	0.82	20.52267193	1.75	223.04	1.9553	10.8680	2.013
180	273	0.82	20.58638611	1.8	223.86	2.0112	10.8742	2.019
185	267	0.82	20.12245919	1.85	218.94	2.0670	10.8804	1.973



**Figura 6.42** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 15 días de elaboración probeta 1

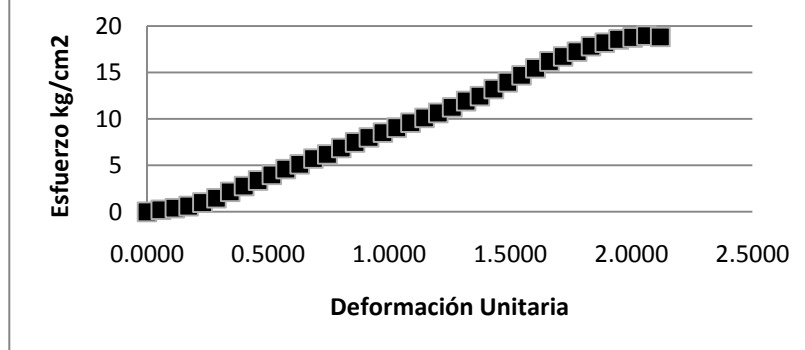
**Tabla 6.43** Compresión simple **Tepetate-cal10%-ceniza10%** + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a **15 días** de elaboración **Probeta 2**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.6632	mm	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.7275	87.275	Diámetros	3.684	3.685	3.685	3.684666667
ancho (cm)	3.685		Longitudes		8.735	8.72	8.7275

w%= 2.150 Wmh = 107.45

Ws = 105.14

lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.6632	0.000
5	3	0.82	0.23056794	0.05	2.46	0.0573	10.6693	0.023
10	5	0.82	0.384059619	0.1	4.1	0.1146	10.6754	0.038
15	8	0.82	0.614142942	0.15	6.56	0.1719	10.6816	0.060
20	13	0.82	0.99740955	0.2	10.66	0.2292	10.6877	0.098
25	19	0.82	1.456915353	0.25	15.58	0.2865	10.6938	0.143
30	28	0.82	2.145799579	0.3	22.96	0.3437	10.7000	0.210
35	36	0.82	2.757299151	0.35	29.52	0.4010	10.7061	0.270
40	44	0.82	3.368093824	0.4	36.08	0.4583	10.7123	0.330
45	52	0.82	3.978183599	0.45	42.64	0.5156	10.7185	0.390
50	60	0.82	4.587568475	0.5	49.2	0.5729	10.7246	0.450
55	67	0.82	5.119833034	0.55	54.94	0.6302	10.7308	0.502
60	75	0.82	5.727852168	0.6	61.5	0.6875	10.7370	0.562
65	81	0.82	6.182511793	0.65	66.42	0.7448	10.7432	0.606
70	90	0.82	6.865492492	0.7	73.8	0.8021	10.7494	0.673
75	98	0.82	7.471440988	0.75	80.36	0.8594	10.7556	0.733
80	105	0.82	8.000489446	0.8	86.1	0.9166	10.7618	0.785
85	112	0.82	8.528921119	0.85	91.84	0.9739	10.7681	0.836
90	119	0.82	9.056736005	0.9	97.58	1.0312	10.7743	0.888
95	126	0.82	9.583934105	0.95	103.32	1.0885	10.7805	0.940
100	133	0.82	10.11051542	1	109.06	1.1458	10.7868	0.992
105	140	0.82	10.63647995	1.05	114.8	1.2031	10.7930	1.043
110	148	0.82	11.23775849	1.1	121.36	1.2604	10.7993	1.102
115	157	0.82	11.91421888	1.15	128.74	1.3177	10.8056	1.168
120	164	0.82	12.43820088	1.2	134.48	1.3750	10.8119	1.220
125	174	0.82	13.18896199	1.25	142.68	1.4323	10.8181	1.293
130	184	0.82	13.93884197	1.3	150.88	1.4895	10.8244	1.367
135	194	0.82	14.68784084	1.35	159.08	1.5468	10.8307	1.440
140	204	0.82	15.43595858	1.4	167.28	1.6041	10.8370	1.514
145	214	0.82	16.18319519	1.45	175.48	1.6614	10.8433	1.587
150	221	0.82	16.70281563	1.5	181.22	1.7187	10.8497	1.638
155	228	0.82	17.22181928	1.55	186.96	1.7760	10.8560	1.689
160	236	0.82	17.81569639	1.6	193.52	1.8333	10.8623	1.747
165	241	0.82	18.18253005	1.65	197.62	1.8906	10.8687	1.783
170	246	0.82	18.54892315	1.7	201.72	1.9479	10.8750	1.819
175	249	0.82	18.76415954	1.75	204.18	2.0052	10.8814	1.840
180	251.5	0.82	18.94147459	1.8	206.23	2.0624	10.8877	1.858
185	250	0.82	18.81748953	1.85	205	2.1197	10.8941	1.845



**Figura 6.43** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 15 días de elaboración probeta 2

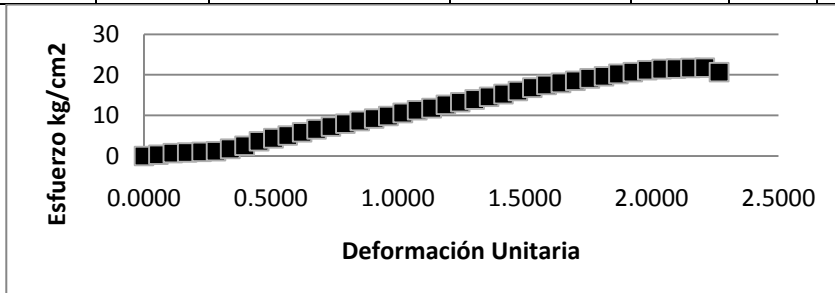
**Tabla 6.44** Compresión simple **Tepetate-cal10%-ceniza10%** + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 15 días de elaboración **Probeta3**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.6593	mm	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.825	88.25	Diámetros	3.685	3.682	3.685	3.684
ancho (cm)	3.684		Longitudes		8.845	8.805	8.825

w%= 2.515 Wmh = 48.9

Ws = 47.67

lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.6593	0.000
5	4	0.82	0.307537143	0.05	3.28	0.0567	10.6654	0.030
10	9	0.82	0.691566304	0.1	7.38	0.1133	10.6714	0.068
15	11	0.82	0.844768268	0.15	9.02	0.1700	10.6775	0.083
20	13	0.82	0.997795891	0.2	10.66	0.2266	10.6835	0.098
25	15	0.82	1.150649173	0.25	12.3	0.2833	10.6896	0.113
30	23	0.82	1.763326272	0.3	18.86	0.3399	10.6957	0.173
35	33	0.82	2.528551557	0.35	27.06	0.3966	10.7018	0.248
40	47	0.82	3.599221895	0.4	38.54	0.4533	10.7079	0.353
45	57	0.82	4.362529432	0.45	46.74	0.5099	10.7140	0.428
50	66	0.82	5.048473245	0.5	54.12	0.5666	10.7201	0.495
55	76	0.82	5.810080959	0.55	62.32	0.6232	10.7262	0.570
60	86	0.82	6.570816969	0.6	70.52	0.6799	10.7323	0.644
65	95	0.82	7.254320011	0.65	77.9	0.7365	10.7384	0.711
70	104	0.82	7.937038521	0.7	85.28	0.7932	10.7446	0.778
75	113	0.82	8.618972496	0.75	92.66	0.8499	10.7507	0.845
80	121	0.82	9.223891431	0.8	99.22	0.9065	10.7568	0.905
85	129	0.82	9.828113002	0.85	105.78	0.9632	10.7630	0.964
90	139	0.82	10.58392388	0.9	113.98	1.0198	10.7692	1.038
95	148	0.82	11.26276331	0.95	121.36	1.0765	10.7753	1.105
100	155	0.82	11.78870587	1	127.1	1.1331	10.7815	1.156
105	166	0.82	12.61808856	1.05	136.12	1.1898	10.7877	1.237
110	174	0.82	13.21860539	1.1	142.68	1.2465	10.7939	1.296
115	183	0.82	13.89435027	1.15	150.06	1.3031	10.8001	1.363
120	192	0.82	14.56931062	1.2	157.44	1.3598	10.8063	1.429
125	201	0.82	15.24348643	1.25	164.82	1.4164	10.8125	1.495
130	211	0.82	15.99267236	1.3	173.02	1.4731	10.8187	1.568
135	222	0.82	16.81673766	1.35	182.04	1.5297	10.8249	1.649
140	231	0.82	17.48842911	1.4	189.42	1.5864	10.8312	1.715
145	238	0.82	18.00800823	1.45	195.16	1.6431	10.8374	1.766
150	245	0.82	18.52697716	1.5	200.9	1.6997	10.8436	1.817
155	253	0.82	19.12091263	1.55	207.46	1.7564	10.8499	1.875
160	260	0.82	19.63861758	1.6	213.2	1.8130	10.8562	1.926
165	268	0.82	20.23120191	1.65	219.76	1.8697	10.8624	1.984
170	274	0.82	20.67219692	1.7	224.68	1.9263	10.8687	2.027
175	280	0.82	21.11266891	1.75	229.6	1.9830	10.8750	2.071
180	284	0.82	21.40190027	1.8	232.88	2.0397	10.8813	2.099
185	286	0.82	21.54015251	1.85	234.52	2.0963	10.8876	2.112
190	288	0.82	21.67823041	1.9	236.16	2.1530	10.8939	2.126
195	289.5	0.82	21.77851995	1.95	237.39	2.2096	10.9002	2.136
200	275	0.82	20.67572732	2	225.5	2.2663	10.9065	2.028



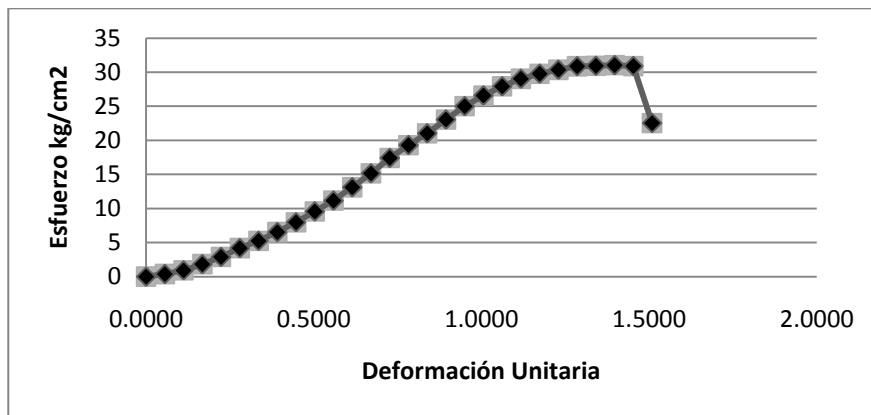
**Figura 6.44** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 15 días de elaboración probeta 3

**Tabla 6.45** Compresión simple **Tepetate-cal10%-ceniza10% + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 30 días de elaboración Probeta 1**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.7521	mm	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.9475	89.475	Diámetros	3.72	3.68	3.7	3.7
ancho (cm)	3.700		Longitudes		8.95	8.945	8.9475

w%= 2.240 Wmh = 74.56  
Ws = 72.89

lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.7521	0.000
5	5	0.82	0.381106849	0.05	4.1	0.0559	10.7581	0.037
10	12	0.82	0.914145027	0.1	9.84	0.1118	10.7642	0.090
15	24	0.82	1.827267235	0.15	19.68	0.1676	10.7702	0.179
20	38	0.82	2.891553657	0.2	31.16	0.2235	10.7762	0.284
25	55	0.82	4.18279949	0.25	45.1	0.2794	10.7823	0.410
30	69	0.82	5.244571481	0.3	56.58	0.3353	10.7883	0.514
35	86	0.82	6.533047177	0.35	70.52	0.3912	10.7944	0.641
40	105	0.82	7.971919973	0.4	86.1	0.4471	10.8004	0.782
45	126	0.82	9.560934165	0.45	103.32	0.5029	10.8065	0.938
50	147	0.82	11.14815842	0.5	120.54	0.5588	10.8125	1.093
55	173	0.82	13.11256872	0.55	141.86	0.6147	10.8186	1.286
60	200	0.82	15.15051549	0.6	164	0.6706	10.8247	1.486
65	230	0.82	17.41329079	0.65	188.6	0.7265	10.8308	1.708
70	255	0.82	19.29517233	0.7	209.1	0.7823	10.8369	1.892
75	278	0.82	21.02367354	0.75	227.96	0.8382	10.8430	2.062
80	305	0.82	23.05254279	0.8	250.1	0.8941	10.8491	2.261
85	331	0.82	25.00357119	0.85	271.42	0.9500	10.8552	2.452
90	352	0.82	26.57489913	0.9	288.64	1.0059	10.8614	2.606
95	370	0.82	27.91807437	0.95	303.4	1.0617	10.8675	2.738
100	385	0.82	29.03348046	1	315.7	1.1176	10.8737	2.847
105	395	0.82	29.77076293	1.05	323.9	1.1735	10.8798	2.920
110	403	0.82	30.35654024	1.1	330.46	1.2294	10.8860	2.977
115	410	0.82	30.86635189	1.15	336.2	1.2853	10.8921	3.027
120	411	0.82	30.92411989	1.2	337.02	1.3412	10.8983	3.033
125	412.5	0.82	31.01940193	1.25	338.25	1.3970	10.9045	3.042
130	411	0.82	30.88908832	1.3	337.02	1.4529	10.9106	3.029
135	300	0.82	22.53399455	1.35	246	1.5088	10.9168	2.210



**Figura 6.45** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 30 días de elaboración probeta 1

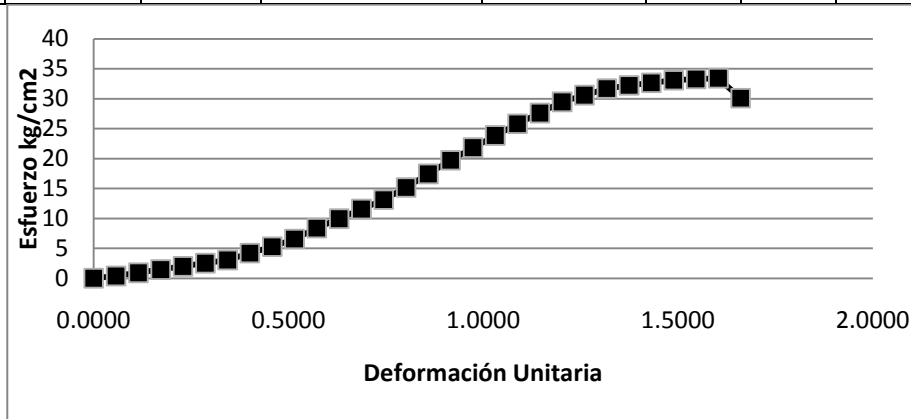
**Tabla 6.46** Compresión simple **Tepetate-cal10%-ceniza10%** + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a **30 días** de elaboración **Probeta2**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.7173	mm	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.73	87.3	Diámetros	3.702	3.695	3.685	3.694
ancho (cm)	3.694		Longitudes		8.74	8.72	8.73

w%= 2.168      Wmh = 59.5

Ws = 58.21

lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.7173	0.000
5	5	0.82	0.382340558	0.05	4.1	0.0573	10.7234	0.037
10	12	0.82	0.917091484	0.1	9.84	0.1145	10.7296	0.090
15	19	0.82	1.451228912	0.15	15.58	0.1718	10.7357	0.142
20	26	0.82	1.984752842	0.2	21.32	0.2291	10.7419	0.195
25	33	0.82	2.517663275	0.25	27.06	0.2864	10.7481	0.247
30	40	0.82	3.04996021	0.3	32.8	0.3436	10.7542	0.299
35	55	0.82	4.191285118	0.35	45.1	0.4009	10.7604	0.411
40	69	0.82	5.255134027	0.4	56.58	0.4582	10.7666	0.515
45	86	0.82	6.546108564	0.45	70.52	0.5155	10.7728	0.642
50	110	0.82	8.368109219	0.5	90.2	0.5727	10.7790	0.821
55	131	0.82	9.959916756	0.55	107.42	0.6300	10.7852	0.977
60	152	0.82	11.5498838	0.6	124.64	0.6873	10.7915	1.133
65	173	0.82	13.13801035	0.65	141.86	0.7446	10.7977	1.288
70	200	0.82	15.17968702	0.7	164	0.8018	10.8039	1.489
75	230	0.82	17.44656118	0.75	188.6	0.8591	10.8102	1.711
80	260	0.82	19.71080607	0.8	213.2	0.9164	10.8164	1.933
85	288	0.82	21.82088773	0.85	236.16	0.9737	10.8227	2.140
90	315	0.82	23.85279226	0.9	258.3	1.0309	10.8289	2.339
95	341	0.82	25.80665111	0.95	279.62	1.0882	10.8352	2.531
100	365	0.82	27.60696024	1	299.3	1.1455	10.8415	2.707
105	390	0.82	29.48075763	1.05	319.8	1.2027	10.8478	2.891
110	405	0.82	30.59688531	1.1	332.1	1.2600	10.8540	3.001
115	420	0.82	31.71169835	1.15	344.4	1.3173	10.8603	3.110
120	427	0.82	32.22151498	1.2	350.14	1.3746	10.8667	3.160
125	433	0.82	32.6553017	1.25	355.06	1.4318	10.8730	3.203
130	439	0.82	33.08856257	1.3	359.98	1.4891	10.8793	3.245
135	442	0.82	33.29531131	1.35	362.44	1.5464	10.8856	3.265
140	444	0.82	33.42651219	1.4	364.08	1.6037	10.8920	3.278
145	400	0.82	30.09644644	1.45	328	1.6609	10.8983	2.952



**Figura 6.46** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm /cm<sup>3</sup> a 30 días de elaboración probeta 2

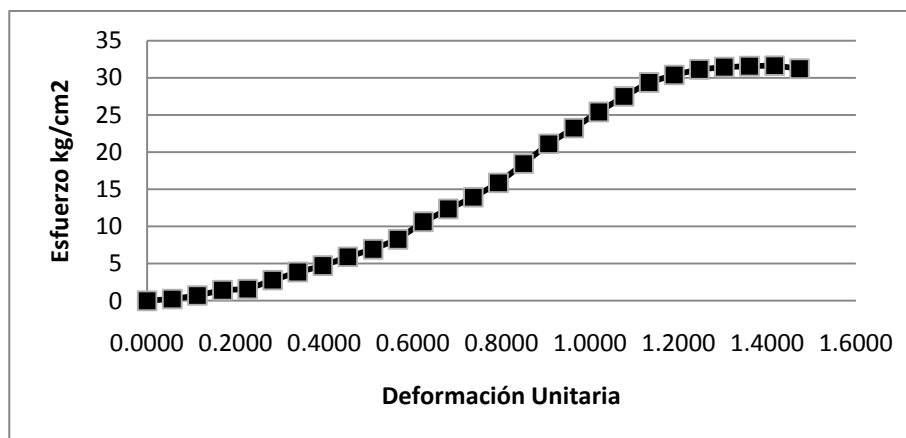
**Tabla 6.47** Compresión simple **Tepetate-cal10%-ceniza10%** + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a **30 días** de elaboración **Probeta 3**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.3529	mm	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.825	88.25	Diámetros	3.625	3.636	3.631	3.630666667
ancho (cm)	3.631		Longitudes		8.845	8.805	8.825

w%= 2.177 Wmh = 71.67

Ws = 70.11

lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.3529	0.000
5	3	0.82	0.237479062	0.05	2.46	0.0567	10.3588	0.023
10	9	0.82	0.712033311	0.1	7.38	0.1133	10.3647	0.070
15	18	0.82	1.42325887	0.15	14.76	0.1700	10.3706	0.140
20	20	0.82	1.580501242	0.2	16.4	0.2266	10.3765	0.155
25	35	0.82	2.764306545	0.25	28.7	0.2833	10.3824	0.271
30	49	0.82	3.867830283	0.3	40.18	0.3399	10.3883	0.379
35	60	0.82	4.733426207	0.35	49.2	0.3966	10.3942	0.464
40	75	0.82	5.913417126	0.4	61.5	0.4533	10.4001	0.580
45	88	0.82	6.934460418	0.45	72.16	0.5099	10.4060	0.680
50	105	0.82	8.269360204	0.5	86.1	0.5666	10.4119	0.811
55	135	0.82	10.62597641	0.55	110.7	0.6232	10.4179	1.042
60	157	0.82	12.35057162	0.6	128.74	0.6799	10.4238	1.211
65	177	0.82	13.91594995	0.65	145.14	0.7365	10.4298	1.365
70	202	0.82	15.87241483	0.7	165.64	0.7932	10.4357	1.557
75	235	0.82	18.45488744	0.75	192.7	0.8499	10.4417	1.810
80	269	0.82	21.11288486	0.8	220.58	0.9065	10.4476	2.071
85	296	0.82	23.21873897	0.85	242.72	0.9632	10.4536	2.277
90	324	0.82	25.40056664	0.9	265.68	1.0198	10.4596	2.491
95	351	0.82	27.50152936	0.95	287.82	1.0765	10.4656	2.697
100	375	0.82	29.36514765	1	307.5	1.1331	10.4716	2.880
105	388	0.82	30.36572789	1.05	318.16	1.1898	10.4776	2.978
110	398	0.82	31.13048945	1.1	326.36	1.2465	10.4836	3.053
115	402	0.82	31.4253189	1.15	329.64	1.3031	10.4896	3.082
120	404	0.82	31.56353423	1.2	331.28	1.3598	10.4957	3.095
125	405	0.82	31.62348737	1.25	332.1	1.4164	10.5017	3.101
130	400	0.82	31.21512391	1.3	328	1.4731	10.5077	3.061



**Figura 6.47** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 30 días de elaboración probeta 3



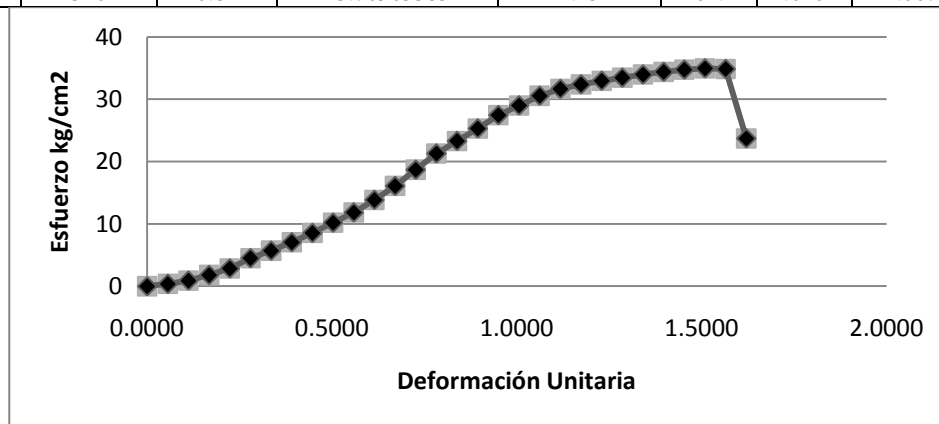
**Tabla 6.48** Compresión simple **Tepetate-cal10%-ceniza10%** + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a **60 días** de elaboración **Probeta1**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.8882	mm	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.9485	89.485	Diámetros	3.73	3.71	3.73	3.723333333
ancho (cm)	3.723		Longitudes		8.952	8.945	8.9485

w%= 2.180 Wmh = 81.64

Ws = 79.86

lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.8882	0.000
5	5	0.82	0.376345209	0.05	4.1	0.0559	10.8943	0.037
10	12	0.82	0.902723538	0.1	9.84	0.1118	10.9003	0.089
15	24	0.82	1.804437149	0.15	19.68	0.1676	10.9064	0.177
20	38	0.82	2.855426435	0.2	31.16	0.2235	10.9126	0.280
25	60	0.82	4.506043237	0.25	49.2	0.2794	10.9187	0.442
30	76	0.82	5.704456663	0.3	62.32	0.3353	10.9248	0.559
35	94	0.82	7.05155664	0.35	77.08	0.3911	10.9309	0.692
40	114	0.82	8.547090686	0.4	93.48	0.4470	10.9371	0.838
45	136	0.82	10.19080632	0.45	111.52	0.5029	10.9432	0.999
50	158	0.82	11.83267042	0.5	129.56	0.5588	10.9493	1.160
55	185	0.82	13.84692417	0.55	151.7	0.6146	10.9555	1.358
60	215	0.82	16.08332407	0.6	176.3	0.6705	10.9617	1.577
65	250	0.82	18.69101954	0.65	205	0.7264	10.9678	1.833
70	285	0.82	21.29576939	0.7	233.7	0.7823	10.9740	2.088
75	312	0.82	23.30013428	0.75	255.84	0.8381	10.9802	2.285
80	339	0.82	25.30222683	0.8	277.98	0.8940	10.9864	2.481
85	368	0.82	27.45123856	0.85	301.76	0.9499	10.9926	2.692
90	389	0.82	29.00138022	0.9	318.98	1.0058	10.9988	2.844
95	410	0.82	30.5497545	0.95	336.2	1.0616	11.0050	2.996
100	425	0.82	31.64954432	1	348.5	1.1175	11.0112	3.104
105	435	0.82	32.37593454	1.05	356.7	1.1734	11.0174	3.175
110	443	0.82	32.95271245	1.1	363.26	1.2293	11.0237	3.232
115	450	0.82	33.4544738	1.15	369	1.2851	11.0299	3.281
120	457	0.82	33.95564603	1.2	374.74	1.3410	11.0362	3.330
125	463	0.82	34.38197002	1.25	379.66	1.3969	11.0424	3.372
130	468	0.82	34.73357201	1.3	383.76	1.4528	11.0487	3.406
135	471	0.82	34.93640329	1.35	386.22	1.5086	11.0549	3.426
140	470	0.82	34.84245059	1.4	385.4	1.5645	11.0612	3.417
145	320	0.82	23.70905385	1.45	262.4	1.6204	11.0675	2.325



**Figura 6.48** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 60 días de elaboración probeta 1

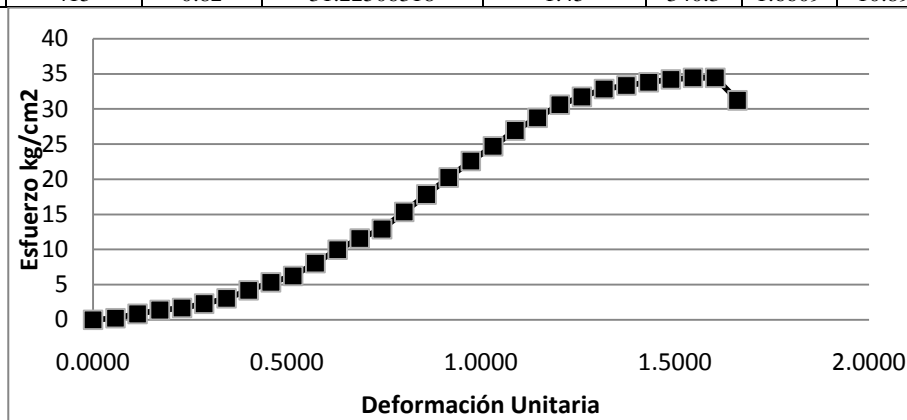
**Tabla 6.49** Compresión simple **Tepetate-cal10%-ceniza10%** + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a **60 días** de elaboración **Probeta 2**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.7173	mm	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.73	87.3	Diámetros	3.702	3.695	3.685	3.694
ancho (cm)	3.694		Longitudes		8.74	8.72	8.73

w%= 2.157    Wmh = 77.41

Ws = 75.74

lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.7173	0.000
5	3	0.82	0.229404335	0.05	2.46	0.0573	10.7234	0.022
10	11	0.82	0.840667193	0.1	9.02	0.1145	10.7296	0.082
15	18	0.82	1.374848443	0.15	14.76	0.1718	10.7357	0.135
20	22	0.82	1.679406251	0.2	18.04	0.2291	10.7419	0.165
25	30	0.82	2.288784795	0.25	24.6	0.2864	10.7481	0.224
30	40	0.82	3.04996021	0.3	32.8	0.3436	10.7542	0.299
35	55	0.82	4.191285118	0.35	45.1	0.4009	10.7604	0.411
40	70	0.82	5.331295389	0.4	57.4	0.4582	10.7666	0.523
45	82	0.82	6.241638398	0.45	67.24	0.5155	10.7728	0.612
50	106	0.82	8.063814338	0.5	86.92	0.5727	10.7790	0.791
55	131	0.82	9.959916756	0.55	107.42	0.6300	10.7852	0.977
60	152	0.82	11.5498838	0.6	124.64	0.6873	10.7915	1.133
65	170	0.82	12.91018358	0.65	139.4	0.7446	10.7977	1.266
70	202	0.82	15.33148389	0.7	165.64	0.8018	10.8039	1.504
75	235	0.82	17.82583425	0.75	192.7	0.8591	10.8102	1.748
80	267	0.82	20.24148161	0.8	218.94	0.9164	10.8164	1.985
85	298	0.82	22.57855745	0.85	244.36	0.9737	10.8227	2.214
90	326	0.82	24.68574691	0.9	267.32	1.0309	10.8289	2.421
95	356	0.82	26.94184104	0.95	291.92	1.0882	10.8352	2.642
100	380	0.82	28.74149285	1	311.6	1.1455	10.8415	2.819
105	405	0.82	30.61463292	1.05	332.1	1.2027	10.8478	3.002
110	420	0.82	31.73010328	1.1	344.4	1.2600	10.8540	3.112
115	435	0.82	32.84425901	1.15	356.7	1.3173	10.8603	3.221
120	442	0.82	33.35341831	1.2	362.44	1.3746	10.8667	3.271
125	448	0.82	33.78654772	1.25	367.36	1.4318	10.8730	3.313
130	454	0.82	34.21915127	1.3	372.28	1.4891	10.8793	3.356
135	457	0.82	34.42524269	1.35	374.74	1.5464	10.8856	3.376
140	457.5	0.82	34.44285884	1.4	375.15	1.6037	10.8920	3.378
145	415	0.82	31.22506318	1.45	340.3	1.6609	10.8983	3.062



**Figura 6.49** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm /cm<sup>3</sup> a 60 días de elaboración probeta 2

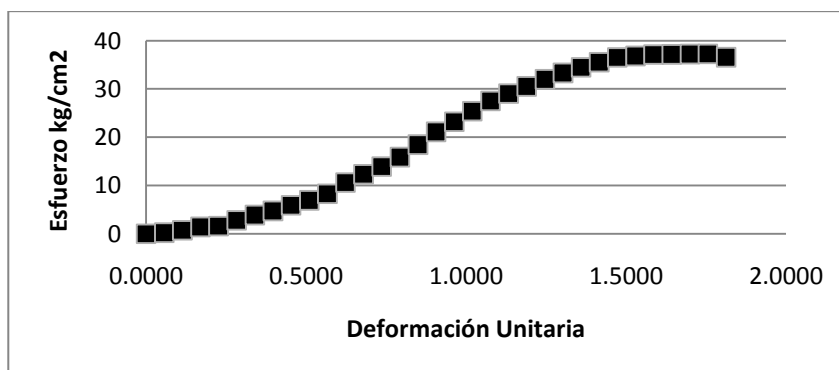
**Tabla 6.50** Compresión simple **Tepetate-cal10%-ceniza10%** + Ee= 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a **60 días** de elaboración **Probeta 3**

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.3529	mm	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.825	88.25	Diámetros	3.625	3.636	3.631	3.630666667
ancho (cm)	3.631		Longitudes	8.845	8.805	8.825	

w%= 2.161 Wmh = 66.18

Ws = 64.75

lectura Micrómetro (0.01mm)	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.3529	0.000
5	3	0.82	0.237479062	0.05	2.46	0.0567	10.3588	0.023
10	9	0.82	0.712033311	0.1	7.38	0.1133	10.3647	0.070
15	18	0.82	1.42325887	0.15	14.76	0.1700	10.3706	0.140
20	20	0.82	1.580501242	0.2	16.4	0.2266	10.3765	0.155
25	35	0.82	2.764306545	0.25	28.7	0.2833	10.3824	0.271
30	49	0.82	3.867830283	0.3	40.18	0.3399	10.3883	0.379
35	60	0.82	4.733426207	0.35	49.2	0.3966	10.3942	0.464
40	75	0.82	5.913417126	0.4	61.5	0.4533	10.4001	0.580
45	88	0.82	6.934460418	0.45	72.16	0.5099	10.4060	0.680
50	105	0.82	8.269360204	0.5	86.1	0.5666	10.4119	0.811
55	135	0.82	10.62597641	0.55	110.7	0.6232	10.4179	1.042
60	157	0.82	12.35057162	0.6	128.74	0.6799	10.4238	1.211
65	177	0.82	13.91594995	0.65	145.14	0.7365	10.4298	1.365
70	202	0.82	15.87241483	0.7	165.64	0.7932	10.4357	1.557
75	235	0.82	18.45488744	0.75	192.7	0.8499	10.4417	1.810
80	269	0.82	21.11288486	0.8	220.58	0.9065	10.4476	2.071
85	296	0.82	23.21873897	0.85	242.72	0.9632	10.4536	2.277
90	324	0.82	25.40056664	0.9	265.68	1.0198	10.4596	2.491
95	351	0.82	27.50152936	0.95	287.82	1.0765	10.4656	2.697
100	371	0.82	29.05191941	1	304.22	1.1331	10.4716	2.849
105	390	0.82	30.52225226	1.05	319.8	1.1898	10.4776	2.993
110	409	0.82	31.99087987	1.1	335.38	1.2465	10.4836	3.137
115	426	0.82	33.30145734	1.15	349.32	1.3031	10.4896	3.266
120	441	0.82	34.45425395	1.2	361.62	1.3598	10.4957	3.379
125	455	0.82	35.52762162	1.25	373.1	1.4164	10.5017	3.484
130	468	0.82	36.52169497	1.3	383.76	1.4731	10.5077	3.582
135	472	0.82	36.81266516	1.35	387.04	1.5297	10.5138	3.610
140	476	0.82	37.10327635	1.4	390.32	1.5864	10.5198	3.639
145	477	0.82	37.15981898	1.45	391.14	1.6431	10.5259	3.644
150	478	0.82	37.21627186	1.5	391.96	1.6997	10.5320	3.650
155	478.5	0.82	37.23372828	1.55	392.37	1.7564	10.5380	3.652
160	470	0.82	36.55122279	1.6	385.4	1.8130	10.5441	3.585



**Figura 6.50** Grafica esfuerzo-deformación para Tepetate con cal 10% ceniza volante 8% + Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup> a 60 días de elaboración probeta 3

### 6.2.5 Compresión simple a los 5 diferentes sillares.

Tabla 6.51 Compresión simple sillar anaranjado con blanco probeta 1

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.3491		Promedio				
longitud inicial(cm)	9.46	94.6	Diámetros	3.63	3.65	3.61	3.63
ancho (cm)	3.630		Longitudes		9.46	9.46	9.46
			w%=	2.168	Wmh =	63.18	
					Ws =	61.81	

lectura Micrómetro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.3491	0.000
5	3	0.82	0.2374	0.127	2.46	0.1342	10.3630	0.023
10	10	0.82	0.7902	0.254	8.2	0.2685	10.3770	0.077
15	21	0.82	1.6572	0.381	17.22	0.4027	10.3910	0.163
20	39	0.82	3.0735	0.508	31.98	0.5370	10.4050	0.301
25	62	0.82	4.8795	0.635	50.84	0.6712	10.4191	0.479
30	86	0.82	6.7592	0.762	70.52	0.8055	10.4332	0.663
35	108	0.82	8.4768	0.889	88.56	0.9397	10.4473	0.831
40	127	0.82	9.9546	1.016	104.14	1.0740	10.4615	0.976
45	140	0.82	10.9587	1.143	114.8	1.2082	10.4757	1.075
50	143	0.82	11.1783	1.27	117.26	1.3425	10.4900	1.096
55	94	0.82	7.3380	1.397	77.08	1.4767	10.5043	0.720
60	90	0.82	7.0161	1.524	73.8	1.6110	10.5186	0.688
65	72	0.82	5.6053	1.651	59.04	1.7452	10.5330	0.550
70	64	0.82	4.9756	1.778	52.48	1.8795	10.5474	0.488

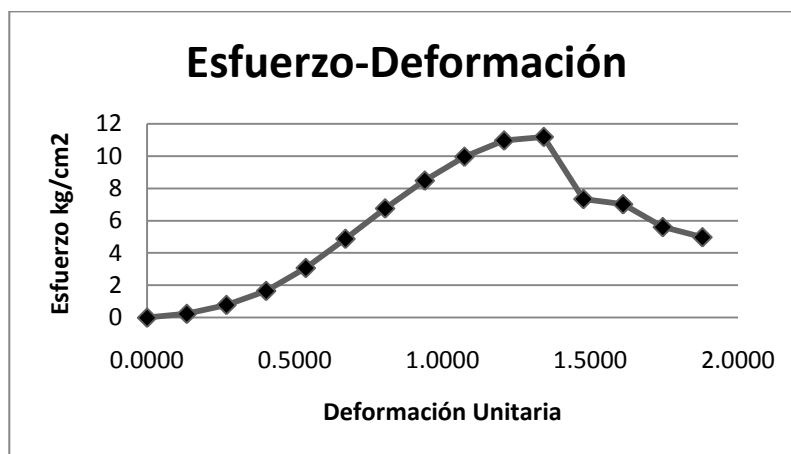


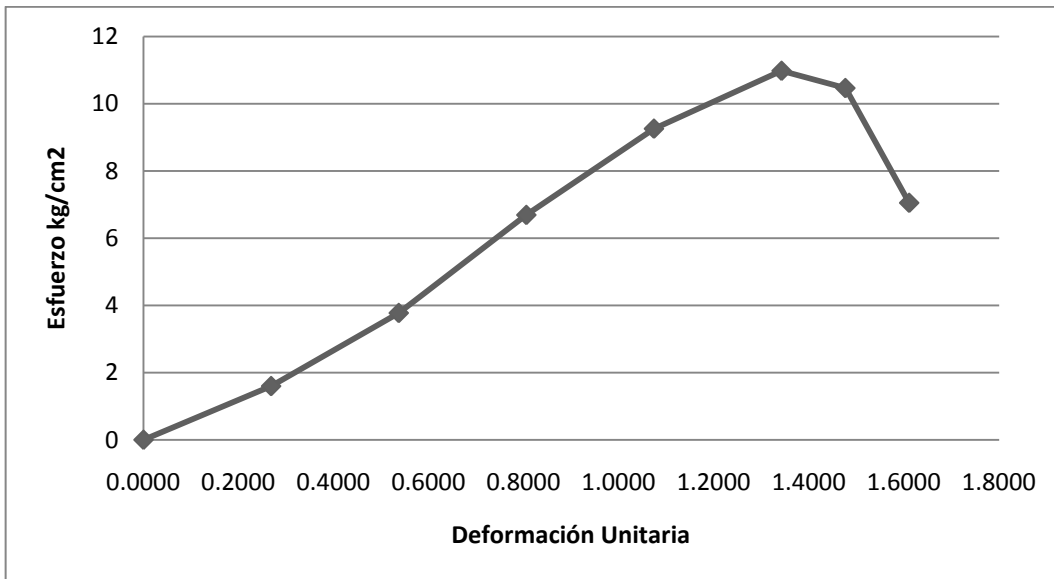
Figura 6.51 Grafica esfuerzo-deformación sillar anaranjado con blanco probeta 1



**Tabla 6.53** Compresión simple sillar anaranjado con blanco probeta 3

área corregida (cm <sup>2</sup> )	9.7314		Promedio				
longitud inicial(cm)	9.46	94.6	Diámetros	3.53	3.54	3.49	3.52
ancho (cm)	3.520		Longitudes		9.5	9.42	9.46
			w%=	2.254	Wmh =	74.1	
					Ws =	72.43	

lectura Micrómetro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	9.7314	0.000
10	19	0.82	1.5967	0.254	15.58	0.2685	9.7576	0.157
20	45	0.82	3.7715	0.508	36.9	0.5370	9.7840	0.370
30	80	0.82	6.6868	0.762	65.6	0.8055	9.8104	0.656
40	111	0.82	9.2528	1.016	91.02	1.0740	9.8371	0.907
50	132	0.82	10.9734	1.27	108.24	1.3425	9.8638	1.076
55	126	0.82	10.4604	1.397	103.32	1.4767	9.8773	1.026
60	85	0.82	7.0470	1.524	69.7	1.6110	9.8908	0.691



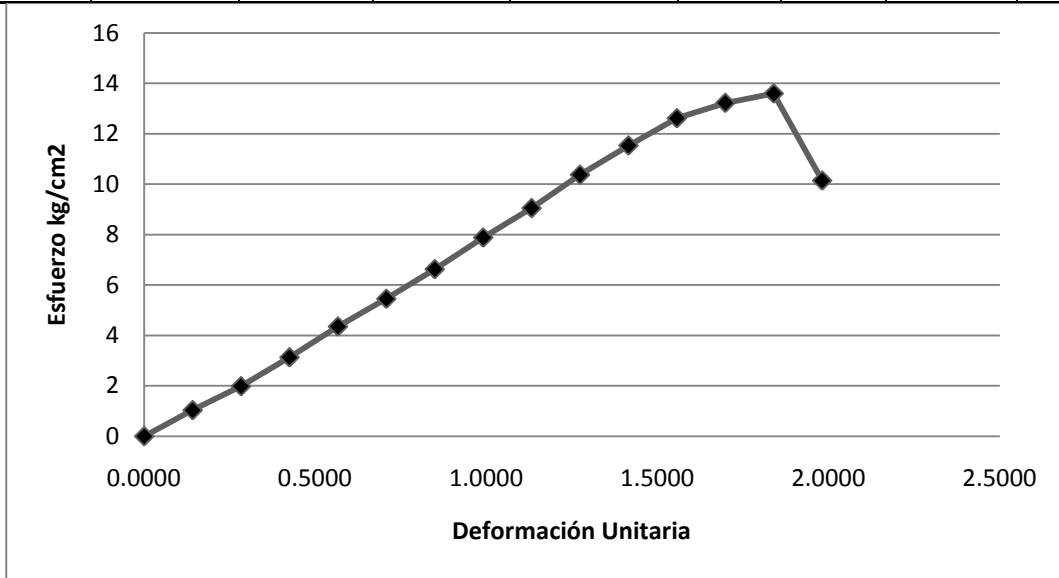
**Figura 6.53** Grafica esfuerzo-deformación sillar anaranjado con blanco probeta 3

**Tabla 6.54** Compresión simple sillar anaranjado probeta 1

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.3036		Promedio				
longitud inicial(cm)	8.976	89.76	Diámetros	3.622	3.623	3.621	3.622
ancho (cm)	3.622		Longitudes		8.946	9.006	8.976

w%= 2.172    Wmh = 97.15  
 Ws = 95.04

lectura Micrómetro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.3064	0.000
5	13	0.82	1.0328	0.127	10.66	0.1415	10.3210	0.101
10	25	0.82	1.9834	0.254	20.5	0.2830	10.3357	0.195
15	39.5	0.82	3.1294	0.381	32.39	0.4245	10.3504	0.307
20	55	0.82	4.3511	0.508	45.1	0.5660	10.3651	0.427
25	69	0.82	5.4509	0.635	56.58	0.7074	10.3798	0.535
30	84	0.82	6.6265	0.762	68.88	0.8489	10.3947	0.650
35	100	0.82	7.8774	0.889	82	0.9904	10.4095	0.773
40	115	0.82	9.0461	1.016	94.3	1.1319	10.4244	0.887
45	132	0.82	10.3685	1.143	108.24	1.2734	10.4394	1.017
50	147	0.82	11.5301	1.27	120.54	1.4149	10.4543	1.131
55	161	0.82	12.6101	1.397	132.02	1.5564	10.4694	1.237
60	169	0.82	13.2177	1.524	138.58	1.6979	10.4844	1.296
65	174	0.82	13.5892	1.651	142.68	1.8393	10.4995	1.333
70	130	0.82	10.1382	1.778	106.6	1.9808	10.5147	0.994

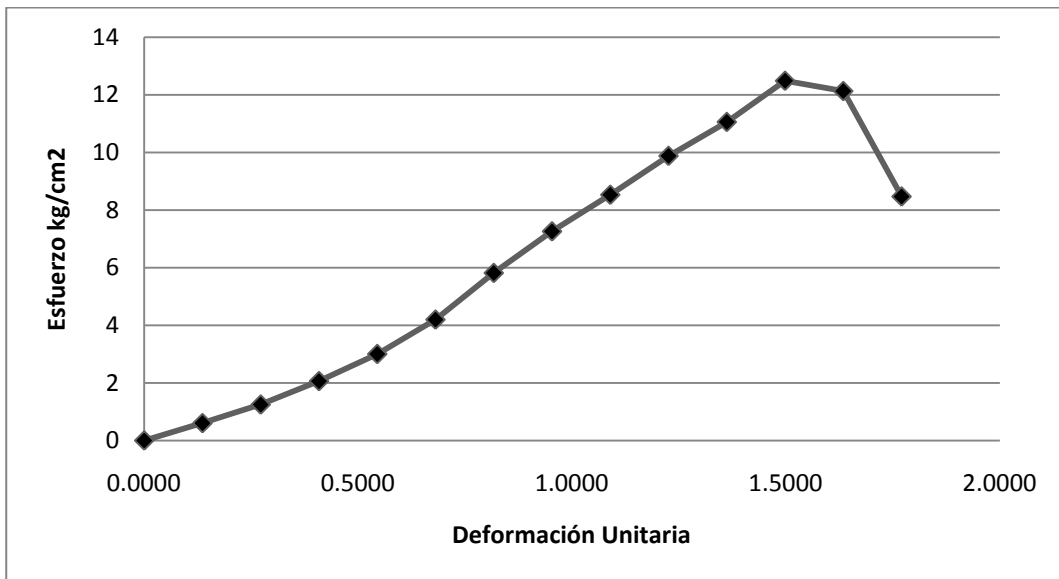


**Figura 6.54** Grafica esfuerzo-deformación sillar anaranjado probeta 1

**Tabla 6.55** Compresión simple sillar anaranjado probeta 2

área corregida (cm <sup>2</sup> )	9.5115		Promedio				
longitud inicial(cm)	9.325	93.25	Diámetros	3.47	3.49	3.48	3.48
ancho (cm)	3.480		Longitudes		9.3	9.35	9.325
			w%=	2.167	W <sub>mh</sub> =	42.91	
					W <sub>s</sub> =	41.98	

lectura Micrómetro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	9.5115	0.000
5	7	0.82	0.6027	0.127	5.74	0.1362	9.5245	0.059
10	14.5	0.82	1.2467	0.254	11.89	0.2724	9.5375	0.122
15	24	0.82	2.0606	0.381	19.68	0.4086	9.5505	0.202
20	35	0.82	3.0010	0.508	28.7	0.5448	9.5636	0.294
25	49	0.82	4.1956	0.635	40.18	0.6810	9.5767	0.411
30	68	0.82	5.8145	0.762	55.76	0.8172	9.5899	0.570
35	85	0.82	7.2581	0.889	69.7	0.9534	9.6031	0.712
40	100	0.82	8.5272	1.016	82	1.0895	9.6163	0.836
45	116	0.82	9.8779	1.143	95.12	1.2257	9.6295	0.969
50	130	0.82	11.0548	1.27	106.6	1.3619	9.6428	1.084
55	147	0.82	12.4832	1.397	120.54	1.4981	9.6562	1.224
60	143	0.82	12.1267	1.524	117.26	1.6343	9.6695	1.189
65	100	0.82	8.4685	1.651	82	1.7705	9.6829	0.831



**Figura 6.55** Grafica esfuerzo-deformación sillar anaranjado probeta 2



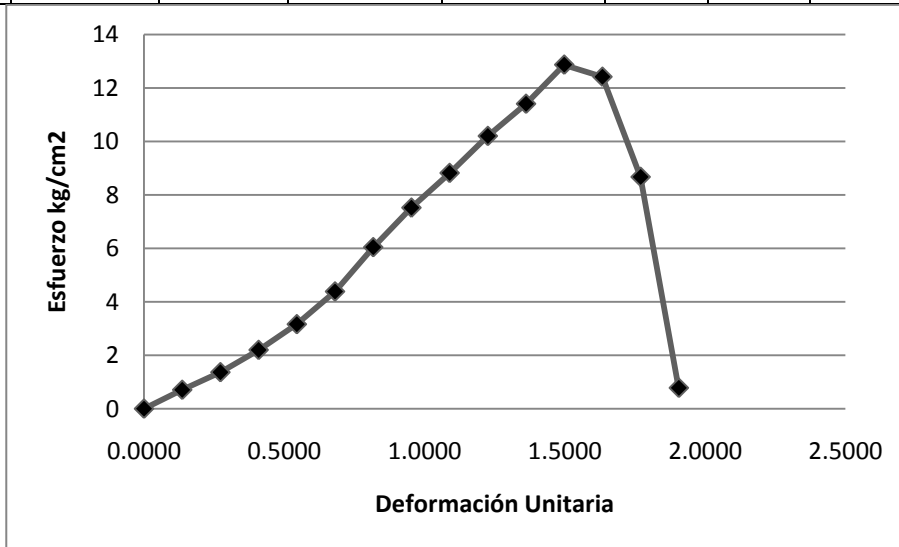
**Tabla 6.56** Compresión simple sillar anaranjado probeta 3

área corregida (cm <sup>2</sup> )	9.2941		Promedio				
longitud inicial(cm)	9.33	93.3	Diámetros	3.44	3.47	3.41	3.44
ancho (cm)	3.440		Longitudes		9.33	9.33	9.33

$$w\% = 2.160 \quad W_{mh} = 102.8$$

$$W_s = 100.58$$

lectura Micrómetro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.3064	0.000
5	8	0.82	0.7049	0.127	6.56	0.1361	9.3068	0.069
10	15.5	0.82	1.3638	0.254	12.71	0.2722	9.3195	0.134
15	25	0.82	2.1967	0.381	20.5	0.4084	9.3322	0.215
20	36	0.82	3.1589	0.508	29.52	0.5445	9.3450	0.310
25	50	0.82	4.3814	0.635	41	0.6806	9.3578	0.430
30	69	0.82	6.0380	0.762	56.58	0.8167	9.3706	0.592
35	86	0.82	7.5153	0.889	70.52	0.9528	9.3835	0.737
40	101	0.82	8.8140	1.016	82.82	1.0890	9.3964	0.864
45	117	0.82	10.1962	1.143	95.94	1.2251	9.4094	1.000
50	131	0.82	11.4005	1.27	107.42	1.3612	9.4224	1.118
55	148	0.82	12.8622	1.397	121.36	1.4973	9.4354	1.261
60	143	0.82	12.4105	1.524	117.26	1.6334	9.4484	1.217
65	100	0.82	8.6667	1.651	82	1.7696	9.4615	0.850
70	9	0.82	0.7789	1.778	7.38	1.9057	9.4747	0.076

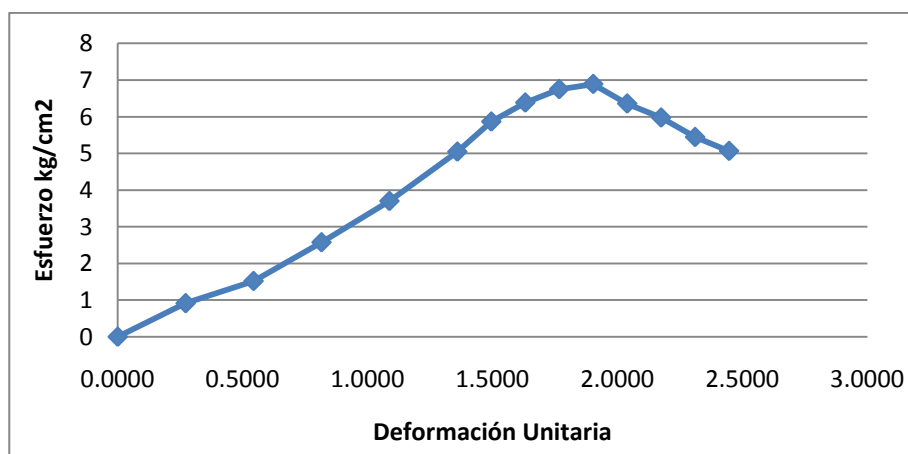


**Figura 6.56** Grafica esfuerzo-deformación sillar anaranjado probeta 3

**Tabla 6.57** Compresión simple sillar gris probeta 1

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.7405		Promedio				
longitud inicial(cm)	9.345	93.45	Diámetros	3.698	3.685	3.711	3.698
ancho (cm)	3.698		Longitudes		9.34	9.35	9.345
			w%=	2.102	Wmh =	61.38	
					Ws =	60.09	

lectura Micrómetro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.7405	0.000
10	12	0.82	0.9137	0.254	9.84	0.2718	10.7698	0.090
20	20	0.82	1.5186	0.508	16.4	0.5436	10.7992	0.149
30	34	0.82	2.5746	0.762	27.88	0.8154	10.8288	0.252
40	49	0.82	3.7003	1.016	40.18	1.0872	10.8586	0.363
50	67	0.82	5.0457	1.27	54.94	1.3590	10.8885	0.495
55	78	0.82	5.8660	1.397	63.96	1.4949	10.9035	0.575
60	85	0.82	6.3836	1.524	69.7	1.6308	10.9186	0.626
65	90	0.82	6.7498	1.651	73.8	1.7667	10.9337	0.662
70	92	0.82	6.8902	1.778	75.44	1.9026	10.9488	0.676
75	85	0.82	6.3572	1.905	69.7	2.0385	10.9640	0.623
80	80	0.82	5.9749	2.032	65.6	2.1744	10.9792	0.586
85	73	0.82	5.4445	2.159	59.86	2.3103	10.9945	0.534
90	68	0.82	5.0646	2.286	55.76	2.4462	11.0098	0.497

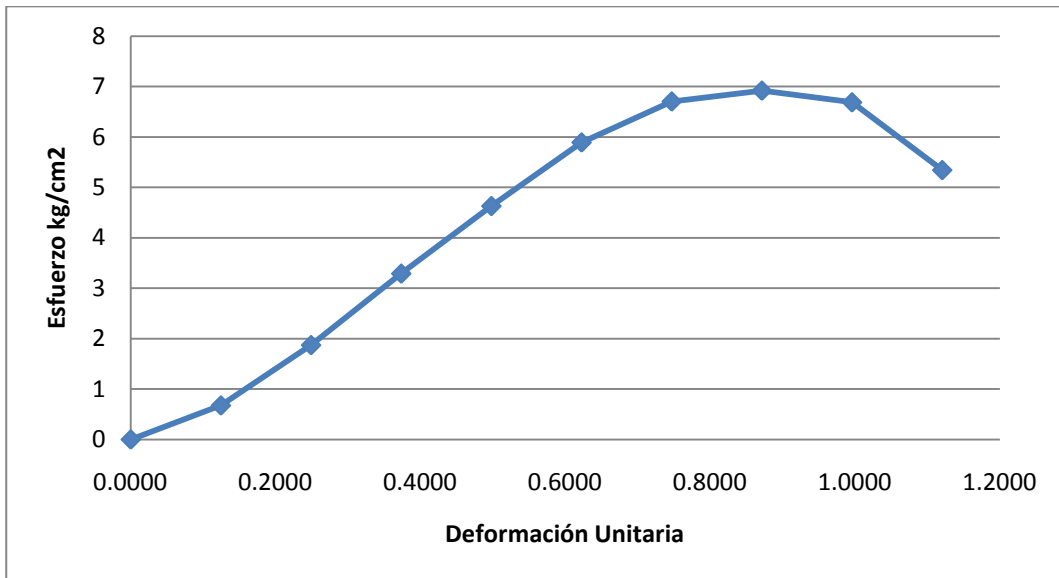


**Figura 6.57** Grafica esfuerzo-deformación sillar gris probeta 1

**Tabla 6.58** Compresión simple sillar gris probeta 2

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.9272		Promedio				
longitud inicial(cm)	10.2	102	Diámetros	3.74	3.73	3.72	3.73
ancho (cm)	3.730		Longitudes		10.2	10.2	10.2
			w%=	2.059	Wmh =	74.81	
					Ws =	73.27	

lectura Micrómetro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.9272	0.000
5	9	0.82	0.6745	0.127	7.38	0.1245	10.9408	0.066
10	25	0.82	1.8714	0.254	20.5	0.2490	10.9545	0.184
15	44	0.82	3.2895	0.381	36.08	0.3735	10.9682	0.323
20	62	0.82	4.6294	0.508	50.84	0.4980	10.9819	0.454
25	79	0.82	5.8914	0.635	64.78	0.6225	10.9956	0.578
30	90	0.82	6.7033	0.762	73.8	0.7471	11.0094	0.657
35	93	0.82	6.9181	0.889	76.26	0.8716	11.0233	0.678
40	90	0.82	6.6865	1.016	73.8	0.9961	11.0371	0.656
45	72	0.82	5.3425	1.143	59.04	1.1206	11.0510	0.524



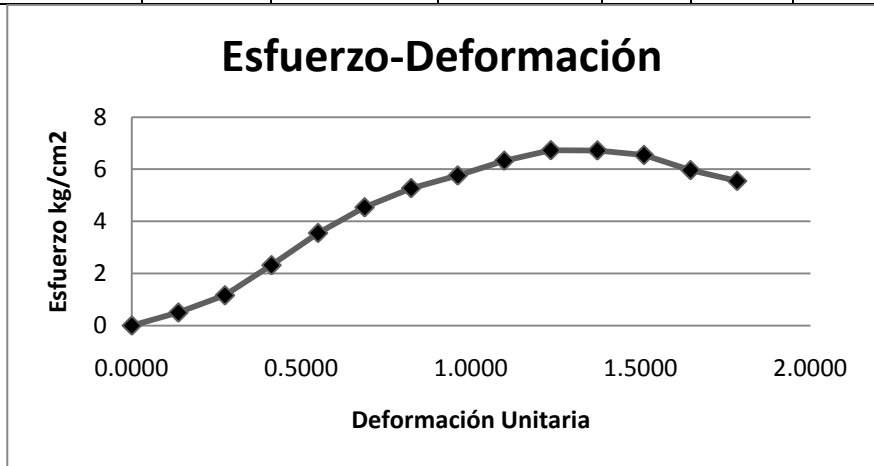
**Figura 6.58** Grafica esfuerzo-deformación sillar gris probeta 2

**Tabla 6.59** Compresión simple sillar gris probeta 3

área corregida (cm <sup>2</sup> )	9.8701	92.55	Promedio				
longitud inicial(cm)	9.255		Diámetros	3.545	3.55	3.54	3.545
ancho (cm)	3.545		Longitudes		9.25	9.26	9.255

w%= 2.076    Wmh = 55.87  
 Ws = 54.71

lectura Micrómetro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	9.8701	0.000
5	6	0.82	0.4978	0.127	4.92	0.1372	9.8837	0.049
10	14	0.82	1.1599	0.254	11.48	0.2744	9.8973	0.114
15	28	0.82	2.3166	0.381	22.96	0.4117	9.9109	0.227
20	43	0.82	3.5528	0.508	35.26	0.5489	9.9246	0.348
25	55	0.82	4.5380	0.635	45.1	0.6861	9.9383	0.445
30	64	0.82	5.2733	0.762	52.48	0.8233	9.9521	0.517
35	70	0.82	5.7597	0.889	57.4	0.9606	9.9659	0.565
40	77	0.82	6.3268	1.016	63.14	1.0978	9.9797	0.620
45	82	0.82	6.7283	1.143	67.24	1.2350	9.9936	0.660
50	82	0.82	6.7190	1.27	67.24	1.3722	10.0075	0.659
55	80	0.82	6.5460	1.397	65.6	1.5095	10.0214	0.642
60	73	0.82	5.9649	1.524	59.86	1.6467	10.0354	0.585
65	68	0.82	5.5486	1.651	55.76	1.7839	10.0494	0.544



**Figura 6.59** Grafica esfuerzo-deformación sillar gris probeta 3

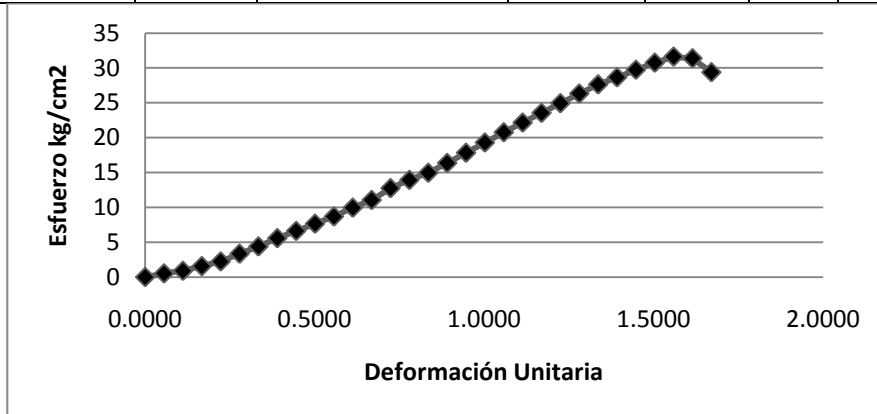
**Tabla 6.60** Compresión simple sillar rosa probeta 1

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.9859	89.75	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.975		Diámetros	3.73	3.74	3.75	3.74
ancho (cm)	3.740		Longitudes		8.98	8.97	8.975

w%= 2.482 Wmh = 66.87

Ws = 65.21

lectura Micrómetro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.9859	0.000
5	7	0.82	0.522198851	0.05	5.74	0.0557	10.9920	0.051
10	12	0.82	0.894699312	0.1	9.84	0.1114	10.9981	0.088
15	21	0.82	1.564851041	0.15	17.22	0.1670	11.0042	0.153
20	30	0.82	2.234254693	0.2	24.6	0.2227	11.0104	0.219
25	45	0.82	3.349511848	0.25	36.9	0.2784	11.0165	0.328
30	59	0.82	4.389130173	0.3	48.38	0.3341	11.0227	0.430
35	75	0.82	5.576285777	0.35	61.5	0.3898	11.0288	0.547
40	89	0.82	6.613493634	0.4	72.98	0.4454	11.0350	0.649
45	103	0.82	7.649537816	0.45	84.46	0.5011	11.0412	0.750
50	117	0.82	8.684418324	0.5	95.94	0.5568	11.0474	0.852
55	134	0.82	9.940687871	0.55	109.88	0.6125	11.0536	0.975
60	149	0.82	11.04725903	0.6	122.18	0.6682	11.0598	1.083
65	172	0.82	12.74539234	0.65	141.04	0.7238	11.0660	1.250
70	188	0.82	13.92319699	0.7	154.16	0.7795	11.0722	1.365
75	202	0.82	14.95163573	0.75	165.64	0.8352	11.0784	1.466
80	221	0.82	16.34879299	0.8	181.22	0.8909	11.0846	1.603
85	241	0.82	17.81830585	0.85	197.62	0.9465	11.0908	1.747
90	261	0.82	19.28615633	0.9	214.02	1.0022	11.0971	1.891
95	281	0.82	20.75234441	0.95	230.42	1.0579	11.1033	2.035
100	300	0.82	22.1430599	1	246	1.1136	11.1096	2.172
105	319	0.82	23.53219612	1.05	261.58	1.1693	11.1158	2.308
110	338	0.82	24.91975306	1.1	277.16	1.2249	11.1221	2.444
115	357	0.82	26.30573074	1.15	292.74	1.2806	11.1284	2.580
120	375	0.82	27.61648518	1.2	307.5	1.3363	11.1347	2.708
125	389	0.82	28.63133387	1.25	318.98	1.3920	11.1409	2.808
130	404	0.82	29.71857972	1.3	331.28	1.4477	11.1472	2.915
135	418	0.82	30.73105949	1.35	342.76	1.5033	11.1535	3.014
140	430	0.82	31.59542015	1.4	352.6	1.5590	11.1598	3.099
145	427	0.82	31.35724096	1.45	350.14	1.6147	11.1662	3.075
150	400	0.82	29.35784068	1.5	328	1.6704	11.1725	2.879



**Figura 6.60** Grafica esfuerzo-deformación sillar rosa probeta 1

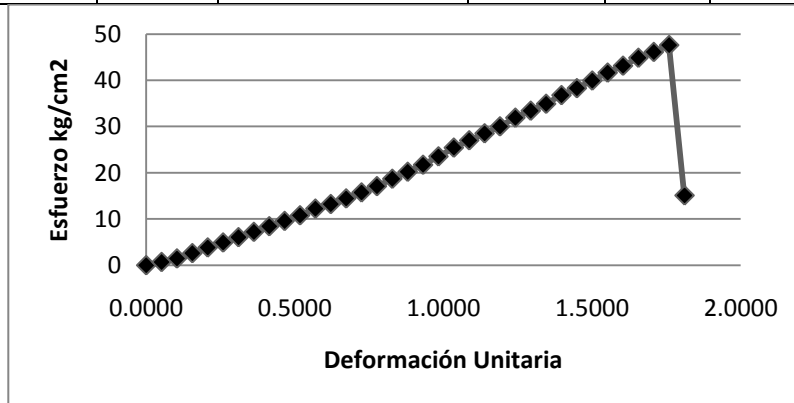
**Tabla 6.61** Compresión simple sillar rosa probeta 2

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.6593	96.65	Promedio				
longitud inicial(cm)	9.665		Diámetros	3.683	3.685	3.684	3.684
ancho (cm)	3.684		Longitudes		9.66	9.67	9.665

w%= 2.095 Wmh = 101.18

Ws = 99.06

lectura Micrómetro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.6593	0.000
5	9	0.82	0.691992663	0.05	7.38	0.0517	10.6649	0.068
10	19	0.82	1.460117254	0.1	15.58	0.1035	10.6704	0.143
15	34	0.82	2.6114883	0.15	27.88	0.1552	10.6759	0.256
20	50	0.82	3.838434113	0.2	41	0.2069	10.6814	0.376
25	64	0.82	4.910648648	0.25	52.48	0.2587	10.6870	0.482
30	79	0.82	6.058437951	0.3	64.78	0.3104	10.6925	0.594
35	94	0.82	7.20503334	0.35	77.08	0.3621	10.6981	0.707
40	110	0.82	8.427044308	0.4	90.2	0.4139	10.7036	0.826
45	125	0.82	9.571212071	0.45	102.5	0.4656	10.7092	0.939
50	141	0.82	10.79071582	0.5	115.62	0.5173	10.7148	1.058
55	160	0.82	12.23841637	0.55	131.2	0.5691	10.7203	1.200
60	173	0.82	13.22590279	0.6	141.86	0.6208	10.7259	1.297
65	189	0.82	14.44158601	0.65	154.98	0.6725	10.7315	1.416
70	206	0.82	15.73236644	0.7	168.92	0.7243	10.7371	1.543
75	224	0.82	17.09812468	0.75	183.68	0.7760	10.7427	1.677
80	245	0.82	18.69132357	0.8	200.9	0.8277	10.7483	1.833
85	265	0.82	20.20659965	0.85	217.3	0.8795	10.7539	1.982
90	285	0.82	21.72028386	0.9	233.7	0.9312	10.7595	2.130
95	309	0.82	23.53706308	0.95	253.38	0.9829	10.7651	2.308
100	334	0.82	25.42806396	1	273.88	1.0347	10.7708	2.494
105	355	0.82	27.01270647	1.05	291.1	1.0864	10.7764	2.649
110	375	0.82	28.51962516	1.1	307.5	1.1381	10.7820	2.797
115	395	0.82	30.02495196	1.15	323.9	1.1899	10.7877	2.945
120	420	0.82	31.90855058	1.2	344.4	1.2416	10.7933	3.129
125	440	0.82	33.41049463	1.25	360.8	1.2933	10.7990	3.277
130	460	0.82	34.91084679	1.3	377.2	1.3451	10.8047	3.424
135	485	0.82	36.78887381	1.35	397.7	1.3968	10.8103	3.608
140	505	0.82	38.28584321	1.4	414.1	1.4485	10.8160	3.755
145	527	0.82	39.93276824	1.45	432.14	1.5003	10.8217	3.916
150	550	0.82	41.65367615	1.5	451	1.5520	10.8274	4.085
155	570	0.82	43.14567091	1.55	467.4	1.6037	10.8331	0.935
160	593	0.82	44.86303688	1.6	486.26	1.6555	10.8388	0.973
165	610	0.82	46.12488478	1.65	500.2	1.7072	10.8445	1.000
170	630	0.82	47.61210389	1.7	516.6	1.7589	10.8502	1.033
175	200	0.82	15.10699419	1.75	164	1.8107	10.8559	0.328



**Figura 6.61** Grafica esfuerzo-deformación sillar rosa probeta 2

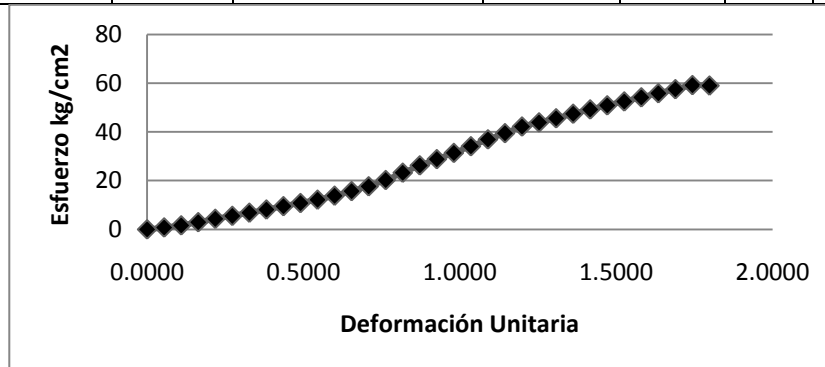
**Tabla 6.62** Compresión simple sillar rosa probeta 3

área corregida (cm <sup>2</sup> )	9.4460	91.75	Promedio				
longitud inicial(cm)	9.175		Diámetros	3.412	3.674	3.318	3.468
ancho (cm)	3.468		Longitudes	9.14	9.21	9.175	

w%= 2.381    Wmh = 47.88

Ws = 46.74

lectura Micrómetro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformación (mm)	carga (kg)	E	área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	9.4460	0.000
5	9	0.82	0.7809	0.05	7.38	0.0545	9.4512	0.077
10	19	0.82	1.6476	0.1	15.58	0.1090	9.4563	0.162
15	34	0.82	2.9467	0.15	27.88	0.1635	9.4615	0.289
20	50	0.82	4.3310	0.2	41	0.2180	9.4667	0.425
25	64	0.82	5.5406	0.25	52.48	0.2725	9.4718	0.543
30	79	0.82	6.8355	0.3	64.78	0.3270	9.4770	0.670
35	94	0.82	8.1289	0.35	77.08	0.3815	9.4822	0.797
40	110	0.82	9.5074	0.4	90.2	0.4360	9.4874	0.932
45	125	0.82	10.7979	0.45	102.5	0.4905	9.4926	1.059
50	141	0.82	12.1734	0.5	115.62	0.5450	9.4978	1.194
55	160	0.82	13.8062	0.55	131.2	0.5995	9.5030	1.354
60	182	0.82	15.6959	0.6	149.24	0.6540	9.5082	1.539
65	205	0.82	17.6698	0.65	168.1	0.7084	9.5134	1.733
70	235	0.82	20.2445	0.7	192.7	0.7629	9.5186	1.985
75	270	0.82	23.2468	0.75	221.4	0.8174	9.5239	2.280
80	305	0.82	26.2459	0.8	250.1	0.8719	9.5291	2.574
85	335	0.82	28.8116	0.85	274.7	0.9264	9.5344	2.826
90	365	0.82	31.3745	0.9	299.3	0.9809	9.5396	3.077
95	397	0.82	34.1063	0.95	325.54	1.0354	9.5449	3.345
100	430	0.82	36.9210	1	352.6	1.0899	9.5501	3.621
105	460	0.82	39.4752	1.05	377.2	1.1444	9.5554	3.871
110	492	0.82	42.1980	1.1	403.44	1.1989	9.5606	4.138
115	512	0.82	43.8891	1.15	419.84	1.2534	9.5659	4.304
120	532	0.82	45.5784	1.2	436.24	1.3079	9.5712	4.470
125	554	0.82	47.4370	1.25	454.28	1.3624	9.5765	4.652
130	575	0.82	49.2079	1.3	471.5	1.4169	9.5818	4.826
135	595	0.82	50.8914	1.35	487.9	1.4714	9.5871	4.991
140	614	0.82	52.4874	1.4	503.48	1.5259	9.5924	5.147
145	634	0.82	54.1671	1.45	519.88	1.5804	9.5977	5.312
150	654	0.82	55.8449	1.5	536.28	1.6349	9.6030	5.477
155	674	0.82	57.5208	1.55	552.68	1.6894	9.6083	5.642
160	694	0.82	59.1948	1.6	569.08	1.7439	9.6137	5.807
165	692	0.82	58.9915	1.65	567.44	1.7984	9.6190	5.972



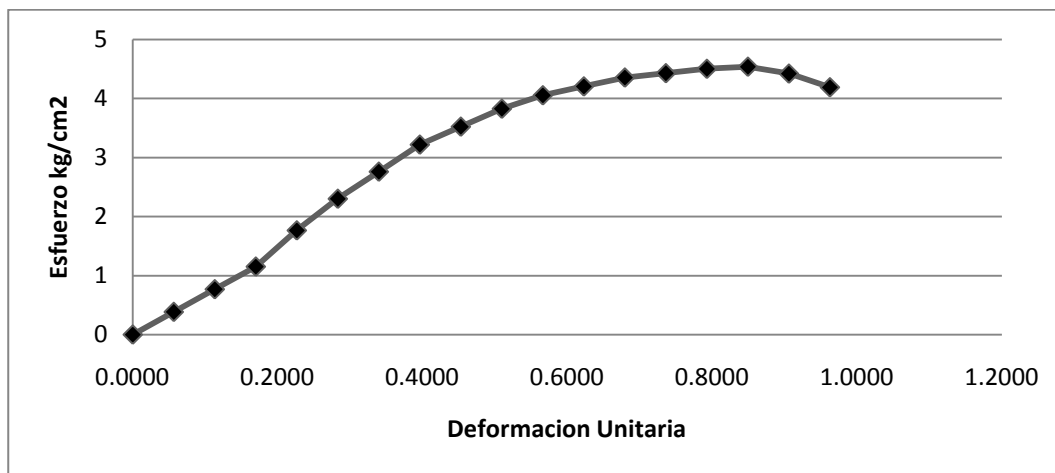
**Figura 6.62** Grafica esfuerzo-deformación sillar rosa probeta 3

**Tabla 6.63** Compresión simple sillar tabaco probeta 1

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.6593	88.3	Promedio				
longitud inicial(cm)	8.83		Diámetros	3.68	3.686	3.686	3.684
ancho (cm)	3.684		Longitudes		8.84	8.82	8.83

w%= 2.371    Wmh = 84.37  
 Ws = 82.37

lectura Micrometro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformacion (mm)	carga (kg)	E	area corregida (cm <sup>2</sup> )	Resistencia
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.6593	0
5	5	0.82	0.384421552	0.05	4.1	0.0566	10.6654	0.0082
10	10	0.82	0.768407498	0.1	8.2	0.1133	10.6714	0.0164
15	15	0.82	1.151957839	0.15	12.3	0.1699	10.6775	0.0246
20	23	0.82	1.765333462	0.2	18.86	0.2265	10.6835	0.03772
25	30	0.82	2.301302047	0.25	24.6	0.2831	10.6896	0.0492
30	36	0.82	2.759994278	0.3	29.52	0.3398	10.6957	0.05904
35	42	0.82	3.218163783	0.35	34.44	0.3964	10.7018	0.06888
40	46	0.82	3.522651788	0.4	37.72	0.4530	10.7078	0.07544
45	50	0.82	3.826791309	0.45	41	0.5096	10.7139	0.082
50	53	0.82	4.05409008	0.5	43.46	0.5663	10.7200	0.08692
55	55	0.82	4.204678783	0.55	45.1	0.6229	10.7261	0.0902
60	57	0.82	4.355093244	0.6	46.74	0.6795	10.7323	0.09348
65	58	0.82	4.428971879	0.65	47.56	0.7361	10.7384	0.09512
70	59	0.82	4.502763393	0.7	48.38	0.7928	10.7445	0.09676
75	59.5	0.82	4.538330554	0.75	48.79	0.8494	10.7506	0.09758
80	58	0.82	4.421392349	0.8	47.56	0.9060	10.7568	0.09512
85	55	0.82	4.190303813	0.85	45.1	0.9626	10.7629	0.0902



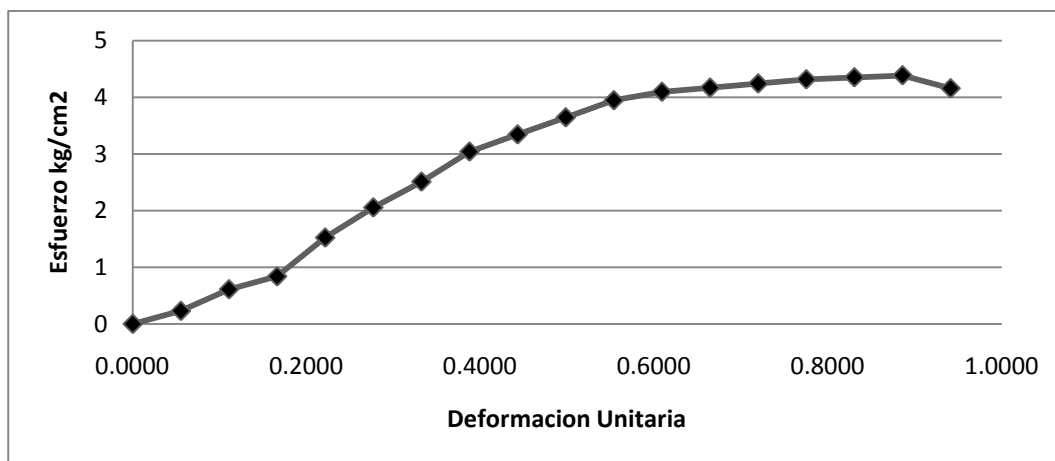
**Figura 6.63** Grafica esfuerzo-deformación sillar tabaco probeta 1



**Tabla 6.64** Compresión simple sillar tabaco probeta 2

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.7521						Promedio
longitud inicial(cm)	9.03	90.3	Diámetros	3.7	3.71	3.69	3.7
ancho (cm)	3.700		Longitudes		9.01	9.05	9.03
			w%=	2.168	Wmh =	68.74	
					Ws =	67.25	

lectura Micrometro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformacion (mm)	carga (kg)	E	area corregida (cm <sup>2</sup> )	Resistencia
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.7521	0
5	3	0.82	0.2287	0.05	2.46	0.0554	10.7581	0.00492
10	8	0.82	0.6094	0.1	6.56	0.1107	10.7640	0.01312
15	11	0.82	0.8375	0.15	9.02	0.1661	10.7700	0.01804
20	20	0.82	1.5219	0.2	16.4	0.2215	10.7760	0.0328
25	27	0.82	2.0534	0.25	22.14	0.2769	10.7820	0.04428
30	33	0.82	2.5084	0.3	27.06	0.3322	10.7880	0.05412
35	40	0.82	3.0387	0.35	32.8	0.3876	10.7940	0.0656
40	44	0.82	3.3408	0.4	36.08	0.4430	10.8000	0.07216
45	48	0.82	3.6424	0.45	39.36	0.4983	10.8060	0.07872
50	52	0.82	3.9438	0.5	42.64	0.5537	10.8120	0.08528
55	54	0.82	4.0932	0.55	44.28	0.6091	10.8180	0.08856
60	55	0.82	4.1666	0.6	45.1	0.6645	10.8240	0.0902
65	56	0.82	4.2400	0.65	45.92	0.7198	10.8301	0.09184
70	57	0.82	4.3133	0.7	46.74	0.7752	10.8361	0.09348
75	57.5	0.82	4.3488	0.75	47.15	0.8306	10.8422	0.0943
80	58	0.82	4.3841	0.8	47.56	0.8859	10.8482	0.09512
85	55	0.82	4.1550	0.85	45.1	0.9413	10.8543	0.0902

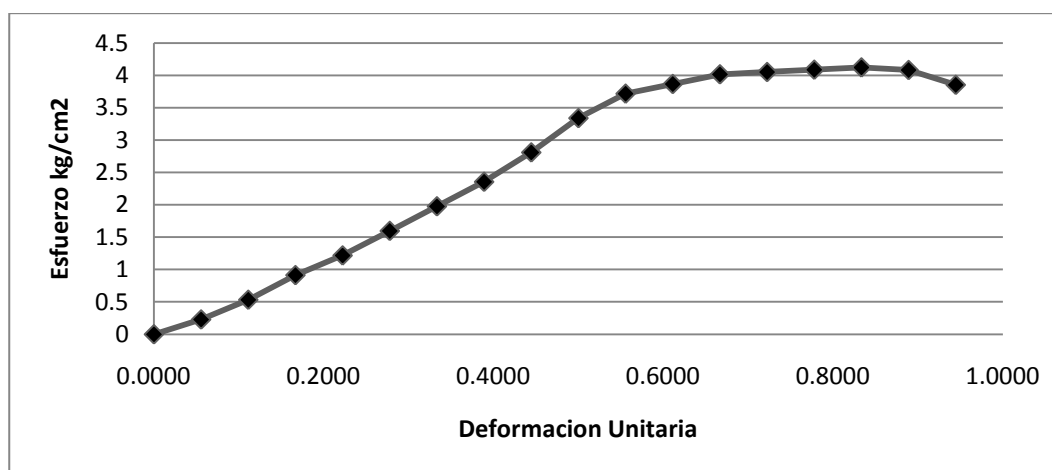


**Figura 6.64** Grafica esfuerzo-deformación sillar tabaco probeta 2

**Tabla 6.65** Compresión simple sillar tabaco probeta 3

área corregida (cm <sup>2</sup> )	10.7521						Promedio	
longitud inicial(cm)	9	90		Diámetros	3.67	3.68	3.75	3.700
ancho (cm)	3.700			Longitudes		9	9	9
				w%=	2.011	Wmh =	74.58	
						Ws =	73.08	

lectura Micrometro (0.001")	Lectura resistencia (0.002mm)	constante de anillo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	deformacion (mm)	carga (kg)	E	area corregida (cm <sup>2</sup> )	Resistencia
0	0	0.82	0	0	0	0.0000	10.7521	0
5	3	0.82	0.2287	0.05	2.46	0.0556	10.7581	0.00492
10	7	0.82	0.5333	0.1	5.74	0.1111	10.7641	0.01148
15	12	0.82	0.9136	0.15	9.84	0.1667	10.7701	0.01968
20	16	0.82	1.2175	0.2	13.12	0.2222	10.7761	0.02624
25	21	0.82	1.5971	0.25	17.22	0.2778	10.7821	0.03444
30	26	0.82	1.9763	0.3	21.32	0.3333	10.7881	0.04264
35	31	0.82	2.3550	0.35	25.42	0.3889	10.7941	0.05084
40	37	0.82	2.8092	0.4	30.34	0.4444	10.8001	0.06068
45	44	0.82	3.3388	0.45	36.08	0.5000	10.8062	0.07216
50	49	0.82	3.7162	0.5	40.18	0.5556	10.8122	0.08036
55	51	0.82	3.8657	0.55	41.82	0.6111	10.8182	0.08364
60	53	0.82	4.0150	0.6	43.46	0.6667	10.8243	0.08692
65	53.5	0.82	4.0507	0.65	43.87	0.7222	10.8303	0.08774
70	54	0.82	4.0862	0.7	44.28	0.7778	10.8364	0.08856
75	54.5	0.82	4.1218	0.75	44.69	0.8333	10.8425	0.08938
80	54	0.82	4.0816	0.8	44.28	0.8889	10.8486	0.08856
85	51	0.82	3.8527	0.85	41.82	0.9444	10.8546	0.08364



**Figura 6.65** Grafica esfuerzo-deformación sillar tabaco probeta 3

### 6.3 Prueba a Compresión para tabicones de tepetate-cal-ceniza volante + Ee = 30 kg/cm<sup>3</sup> a 30 días de elaboración y para los 5 sillares

Tabla 6.66 Prueba a compresión de tabicones Tepetate-cal-ceniza volante a 30 días de elaboración

PRUEBA A COMPRESION DE TEPETATE-CAL-CENIZA										
Elemento	Carga (Kg)	Largo (cm)			Largo Prom. (cm)	Ancho (cm)			Ancho Prom (cm)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
2-T	11300	27.59	27.58	27.59	27.587	12.87	12.79	12.85	12.837	31.910
4-T	12000	27.58	27.56	27.56	27.567	12.36	12.32	12.34	12.340	35.276
6-T	12150	27.63	27.65	27.64	27.640	12.91	12.84	12.91	12.887	34.111
8-T	12350	27.68	27.68	27.68	27.680	13	13.1	13.04	13.047	34.198
10-T	11400	27.62	27.64	27.62	27.627	12.5	12.51	12.54	12.517	32.968

Media = 33.693  
 Desviación estándar S= 1.289  
 Coef. Var. Cp = 0.0382  
 Compresión = 30.752

Tabla 6.67 Prueba a compresión de sillares rosas

PRUEBA A COMPRESION DE SILLARES ROSAS										
Elemento	Carga (Kg)	Largo (cm)			Largo Prom. (cm)	Ancho (cm)			Ancho Prom (cm)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
6-R	24000	28.4	28.34	28.25	28.330	9.88	9.87	9.89	9.880	85.745
7-R	22000	28.35	28.31	28.35	28.337	9.64	9.65	9.61	9.633	80.593
8-R	23500	28.31	27.7	28.1	28.037	9.93	9.95	9.93	9.937	84.353
9-R	20000	28.31	29.36	28.35	28.673	10.1	10.02	10.11	10.077	69.221
10-R	22500	27.7	28.1	27.75	27.850	9.86	9.82	9.83	9.837	82.131

Media = 80.409  
 Desviación estándar S= 6.561  
 Coef. Var. Cp = 0.0816  
 Compresión = 66.784

Tabla 6.68 Prueba a compresión de sillares naranjas

PRUEBA A COMPRESION DE SILLARES NARANJAS										
Elemento	Carga (Kg)	Largo (cm)			Largo Prom. (cm)	Ancho (cm)			Ancho Prom (cm)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
6-N	6300	28.1	28.15	28.18	28.143	11.79	11.75	11.65	11.730	19.084
7-N	6400	27.8	27.86	27.82	27.827	12.59	12.35	12.81	12.583	18.278
8-N	6300	28.2	28.22	28.24	28.220	12.35	12.38	12.33	12.353	18.072
9-N	6000	27.98	27.95	27.91	27.947	12.12	12.18	12.11	12.137	17.690
10-N	6150	27.82	27.85	27.81	27.827	12.26	12.2	12.27	12.243	18.052

Media = 18.235  
 Desviación estándar S= 0.520  
 Coef. Var. Cp = 0.0285  
 Compresión = 17.022

**Tabla 6.69 Prueba a compresión de sillares tabaco**

PRUEBA A COMPRESION DE SILLARES TABACO										
Elemento	Carga (Kg)	Largo (cm)			Largo Prom. (cm)	Ancho (cm)			Ancho Prom (cm)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
6-T	3800	28.62	28.78	28.41	28.603	13.26	13.86	13.84	13.653	9.730
7-T	3600	28.26	28.63	28.43	28.440	13.56	13.05	13.19	13.267	9.541
8-T	3900	28.59	28.12	28.61	28.440	13.2	13.45	13.12	13.257	10.344
9-T	4000	29.35	29.16	28.79	29.100	13.86	13.96	13.48	13.767	9.985
10-T	4200	29.41	29.13	29.47	29.337	13.12	12.78	12.89	12.930	11.072

Media = 10.135

Desviación estándar S= 0.604

Coef. Var. Cp = 0.0596

Compresión = 8.820

**Tabla 6.70 Prueba a compresión de sillares naranjas con blanco**

PRUEBA A COMPRESION DE SILLARES NARANJAS CON BLANCO										
Elemento	Carga (Kg)	Largo (cm)			Largo Prom. (cm)	Ancho (cm)			Ancho Prom (cm)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
6-NB	4800	28.6	28.61	28.54	28.583	12.18	12.19	12.1	12.157	13.814
7-NB	5000	28.34	28.61	28.52	28.490	12.32	12.23	12.27	12.273	14.299
8-NB	5100	28.42	28.39	28.41	28.407	12.16	12.12	12.21	12.163	14.760
9-NB	4900	28.43	28.43	28.42	28.427	12.31	12.36	12.39	12.353	13.954
10-NB	4500	28.26	28.2	28.29	28.250	12.25	12.11	12.18	12.180	13.078

Media = 13.981

Desviación estándar S= 0.623

Coef. Var. Cp = 0.0446

Compresión = 12.580

**Tabla 6.71 Prueba a compresión de sillares grises**

PRUEBA A COMPRESION DE SILLARES GRISES										
Elemento	Carga (Kg)	Largo (cm)			Largo Prom. (cm)	Ancho (cm)			Ancho Prom (cm)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
6-G	3900	29.42	29.25	29.22	29.297	11.18	11.35	11.22	11.250	11.833
7-G	4200	29.26	29.29	29.31	29.287	12.05	12.16	12.08	12.097	11.855
8-G	4100	29.46	29.58	29.54	29.527	12.12	12.08	12.13	12.110	11.466
9-G	4000	27.56	28.29	27.46	27.770	11.84	11.95	11.75	11.847	12.159
10-G	4200	27.8	27.84	27.34	27.660	11.81	11.84	11.88	11.843	12.821

Media = 12.027

Desviación estándar S= 0.507

Coef. Var. Cp = 0.0422

Compresión = 10.880

## 6.4 Prueba a flexión para tabicones de tepetate-cal-ceniza volante + Ee = 30 kg/cm<sup>3</sup> y para los 5 sillares

Tabla 6.72 Prueba a flexión de tabicones Tepetate-cal-ceniza volante a 30 días de elaboración

PRUEBA A Flexión DE TEPETATE-CAL-CENIZA															
Elemento	Carga (Kg)	Largo (cm)			Largo Prom. (cm)	Ancho (cm)			Ancho Prom (cm)	Espesor (cm)			Espesor Prom (cm)	Distancia entre apoyos (cm)	Resistencia a la flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )
1-T	425	27.56	27.56	27.57	27.563	12.66	12.67	12.68	12.670	9	9.05	9.02	9.023	22.483	13.894
3-T	350	27.7	27.69	27.7	27.697	12.6	12.6	12.61	12.603	9.07	9.05	9.03	9.050	22.617	11.503
5-T	375	27.57	27.58	27.58	27.577	12.41	12.41	12.39	12.403	9.14	9.12	9.13	9.130	22.497	12.239
7-T	300	27.6	27.62	27.62	27.613	12.93	12.92	12.93	12.927	9.2	9.2	9.21	9.203	22.533	9.261
9-T	350	27.68	27.69	27.69	27.687	12.65	12.62	12.64	12.637	9.21	9.2	9.2	9.203	22.607	11.089

Media = 11.597

Desviación estándar S= 1.689

Coef. Var. Cp = 0.1457

Tabla 6.73 Prueba a flexión de sillares rosas

PRUEBA A Flexión DE SILLARES ROSAS															
Elemento	Carga (Kg)	Largo (cm)			Largo Prom. (cm)	Ancho (cm)			Ancho Prom (cm)	Espesor (cm)			Espesor Prom (cm)	Distancia entre apoyos (cm)	Resistencia a la flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )
1-R	650	28.4	28.35	28.25	28.333	10.21	10.28	10.12	10.203	8.9	8.92	8.91	8.910	23.253	27.989
2-R	600	28.35	28.31	28.41	28.357	10.1	10.15	10.13	10.127	9.15	9.12	9.18	9.150	23.277	24.709
3-R	650	28.3	28.35	28.32	28.323	10.22	10.3	10.27	10.263	8.97	8.92	8.95	8.947	23.243	27.586
4-R	700	28.31	28.29	28.35	28.317	10.08	10.02	10.11	10.070	9.02	9.06	9.1	9.060	23.237	29.517
5-R	575	27.7	28.1	27.75	27.850	9.95	9.88	9.94	9.923	9.12	9.16	9.12	9.133	22.77	23.725

Media = 26.705

Desviación estándar S= 2.408

Coef. Var. Cp = 0.0902

Tabla 6.74 Prueba a flexión de sillares naranjas

PRUEBA A Flexión DE SILLARES NARANJAS															
Elemento	Carga (Kg)	Largo (cm)			Largo Prom. (cm)	Ancho (cm)			Ancho Prom (cm)	Espesor (cm)			Espesor Prom (cm)	Distancia entre apoyos (cm)	Resistencia a la flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )
1-N	400	28.1	28.12	28.11	28.110	11.79	11.82	11.65	11.753	9.87	9.75	10	9.880	23.030	12.044
2-N	350	28.15	28.26	27.56	27.990	12.86	12.35	12.81	12.673	9.12	9.37	9.74	9.410	22.910	10.718
3-N	350	27.8	28.21	28.35	28.120	12.59	12.42	12.21	12.407	9.43	9.36	8.95	9.247	23.040	11.403
4-N	375	27.89	27.95	28.2	28.013	12.35	12.49	12.58	12.473	9.21	9.12	9.18	9.170	22.933	12.299
5-N	400	27.9	28.1	27.75	27.917	12.1	12.03	11.95	12.027	8.98	9.1	9.12	9.067	22.837	13.859

Media = 12.065

Desviación estándar S= 1.176

Coef. Var. Cp = 0.0974

**Tabla 6.75 Prueba a flexión de sillares tabaco**

PRUEBA A Flexión DE SILLARES TABACO															
Elemento	Carga (Kg)	Largo (cm)			Largo Prom. (cm)	Ancho (cm)			Ancho Prom (cm)	Espesor (cm)			Espesor Prom (cm)	Distancia entre apoyos (cm)	Resistencia a la flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )
1-T	200	29.1	29.85	28.45	29.133	13.42	13.86	13.74	13.673	9.63	9.52	9.94	9.697	24.053	5.613
2-T	150	28.26	29.03	28.65	28.647	13.06	13.05	13.18	13.097	10.11	9.88	9.56	9.850	23.567	4.173
3-T	175	28.51	27.13	27.84	27.827	13.25	13.35	13.11	13.237	10	10.15	10.1	10.093	22.747	4.428
4-T	150	29.58	29.12	28.35	29.017	13.85	13.95	13.54	13.780	9.85	9.96	9.47	9.760	23.937	4.103
5-T	200	29.35	28.59	27.75	28.563	12.85	12.56	12.89	12.767	9.12	9.06	9.12	9.100	23.483	6.664

Media = 4.996

Desviación estándar S= 1.113

Coef. Var. Cp = 0.2229

**Tabla 6.76 Prueba a flexión de sillares naranja con blanco**

PRUEBA A Flexión DE SILLARES NARANJAS CON BLANCO															
Elemento	Carga (Kg)	Largo (cm)			Largo Prom. (cm)	Ancho (cm)			Ancho Prom (cm)	Espesor (cm)			Espesor Prom (cm)	Distancia entre apoyos (cm)	Resistencia a la flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )
1-NB	350	28.59	28.35	28.42	28.453	12.21	12.27	12.24	12.240	9.9	9.96	9.92	9.927	23.373	10.174
2-NB	375	28.3	28.31	28.41	28.340	12.26	12.23	12.31	12.267	10.04	9.92	9.96	9.973	23.260	10.723
3-NB	350	28.3	28.35	28.32	28.323	12.15	12.12	12.11	12.127	10.5	10.53	10.6	10.530	23.243	9.075
4-NB	350	28.31	28.29	28.35	28.317	12.32	12.36	12.35	12.343	9.23	9.18	9.25	9.220	23.237	11.626
5-NB	350	28.21	28.36	28.12	28.230	12.13	12.11	12.18	12.140	9.74	9.64	9.69	9.690	23.150	10.662

Media = 10.452

Desviación estándar S= 0.931

Coef. Var. Cp = 0.0891

**Tabla 6.77 Prueba a flexión de sillares grises**

PRUEBA A Flexión DE SILLARES GRISES															
Elemento	Carga (Kg)	Largo (cm)			Largo Prom. (cm)	Ancho (cm)			Ancho Prom (cm)	Espesor (cm)			Espesor Prom (cm)	Distancia entre apoyos (cm)	Resistencia a la flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )
1-G	250	29.35	29.25	29.28	29.293	11.21	11.35	11.32	11.293	9.8	9.81	9.81	9.807	24.213	8.360
2-G	225	29.36	29.29	29.38	29.343	12.15	12.18	12.22	12.183	9.15	9.12	9.18	9.150	24.263	8.028
3-G	200	29.39	29.58	29.57	29.513	11.59	11.51	11.53	11.543	8.97	8.92	8.95	8.947	24.433	7.933
4-G	250	28.35	28.29	28.35	28.330	11.86	11.75	11.78	11.797	9.95	9.92	9.93	9.933	23.250	7.490
5-G	250	27.7	27.84	27.76	27.767	11.21	11.18	11.12	11.170	10.12	10.14	10.1	10.120	22.687	7.437

Media = 7.850

Desviación estándar S= 0.387

Coef. Var. Cp = 0.0493

**6.5 Prueba de absorción máxima a 24 horas para tabicones de tepetate-cal-ceniza volante + Ee = 30 kg cm/cm<sup>3</sup> y para los 5 sillares**

**Tabla 6.78 Prueba de absorción de tabicones Tepetate-cal-ceniza volante a 30 días de elaboración**

<b>ABSORCION MAXIMA DE AGUA A 24 HORAS TEPETATE-CAL-CENIZA</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Ws (gramos)</b>	<b>W<sub>24</sub> (gramos)</b>	<b>Absorción (%)</b>
1-t	4729	5511.3	16.543
2-t	4974.2	5759.3	15.783
3-t	4792	5578	16.402
4-t	4712	5452	15.705
5-t	4732.6	5488.5	15.972
		Media =	16.081
		Desviación estándar S=	0.374
		Coef. Var. Cp=	0.0232

**Tabla 6.79 Prueba de absorción de sillares rosas**

<b>PRUEBA DE ABSORCION MAXIMA DE AGUA A 24 HORAS SILLARES ROSAS</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Ws (gramos)</b>	<b>W<sub>24</sub> (gramos)</b>	<b>Absorción (%)</b>
6-R	3625.6	4504.04	24.229
7-R	3584.28	4448.44	24.110
8-R	3526	4396.22	24.680
9-R	3602	4500.22	24.937
10-R	3556	4443.22	24.950
		Media =	24.581
		Desviación estándar S=	0.393
		Coef. Var. Cp =	0.0160

**Tabla 6.80 Prueba de absorción de sillares naranjas**

<b>ABSORCION MAXIMA DE AGUA A 24 HORAS SILLARES NARANJAS</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Ws (gramos)</b>	<b>W<sub>24</sub> (gramos)</b>	<b>Absorción (%)</b>
6-R	3540	4879.22	37.831
7-R	3724	5120.82	37.509
8-R	3356	4596.82	36.973
9-R	3661.98	5019.52	37.071
10-R	3528.08	4820.4	36.630
		Media =	37.203
		Desviación estándar S=	0.471
		Coef. Var. Cp	0.0127

Tabla 6.81 Prueba de absorción de sillares tabaco

<b>PRUEBA DE ABSORCION MAXIMA DE AGUA A 24 HORAS SILLARES TABACO</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Ws (gramos)</b>	<b>W<sub>24</sub> (gramos)</b>	<b>Absorción (%)</b>
6-R	3326	4643.82	39.622
7-R	2857	4054.22	41.905
8-R	2741.7	3944.64	43.876
9-R	2906.3	4075.2	40.220
10-R	2974	4158.36	39.824

Media = 41.089  
 Desviación estándar S= 1.799  
 Coef. Var. Cp= 0.0438

Tabla 6.82 Prueba de absorción de sillares naranjas con blanco

<b>ABSORCION MAXIMA DE AGUA A 24 HORAS SILLARES NARANJAS CON BLANCO</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Ws (gramos)</b>	<b>W<sub>24</sub> (gramos)</b>	<b>Absorción (%)</b>
6-R	4016	5905	47.037
7-R	3378	4846	43.458
8-R	3376	4792.22	41.950
9-R	3319	4832.22	45.593
10-R	3421	4942.1	44.464

Media = 44.500  
 Desviación estándar S= 1.951  
 Coef. Var. Cp= 0.044

Tabla 6.83 Prueba de absorción de sillares grises

<b>PRUEBA DE ABSORCION MAXIMA DE AGUA A 24 HORAS SILLARES GRISES</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Ws (gramos)</b>	<b>W<sub>24</sub> (gramos)</b>	<b>Absorción (%)</b>
6-R	3412	4551.12	33.386
7-R	3456	4587.36	32.736
8-R	3384	4547.36	34.378
9-R	3428	4582.22	33.670
10-R	3568	4741.22	32.882

Media = 33.410  
 Desviación estándar S= 0.659  
 Coef. Var. Cp= 0.0197



## 6.6 Difracción de rayos X

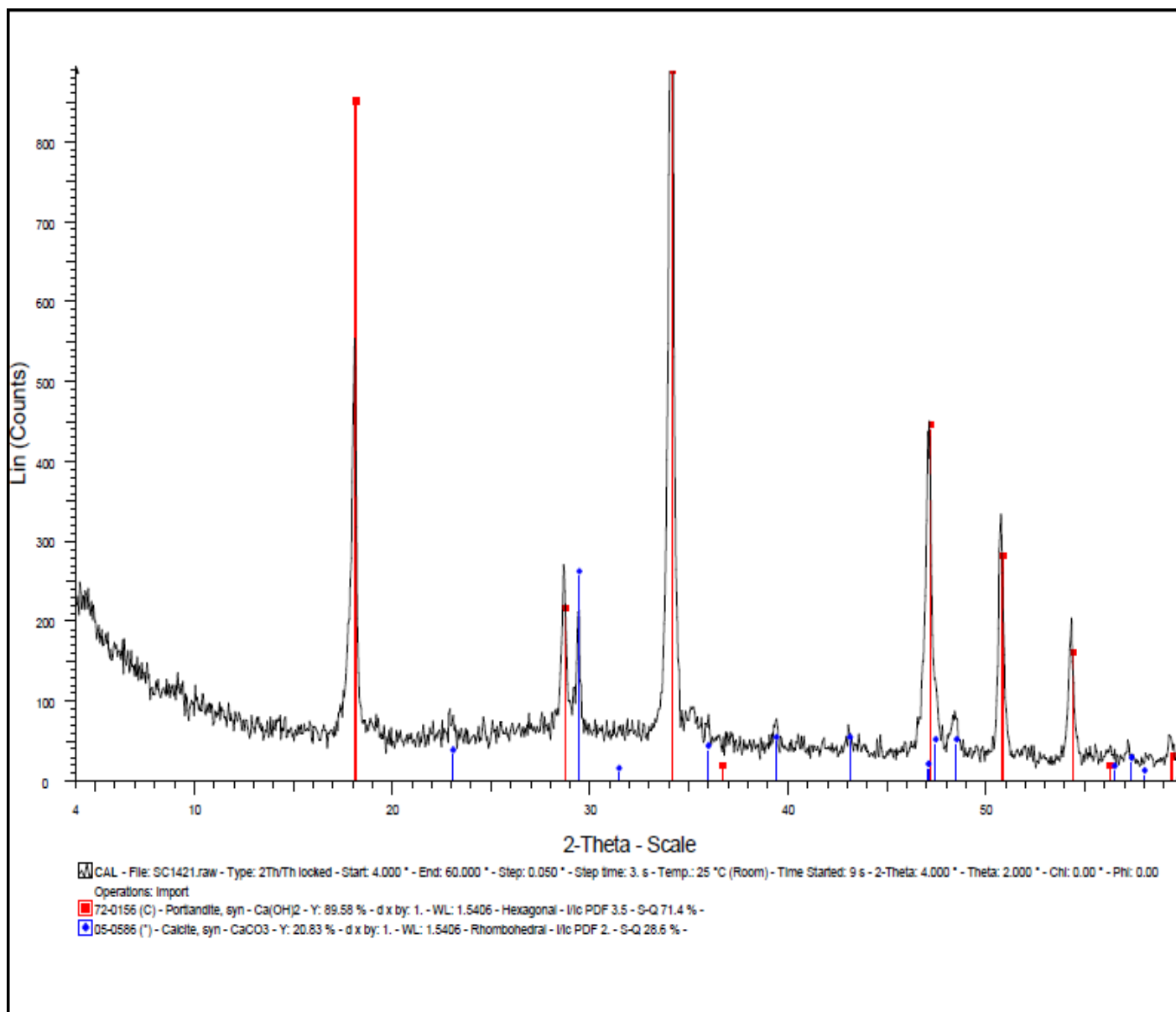
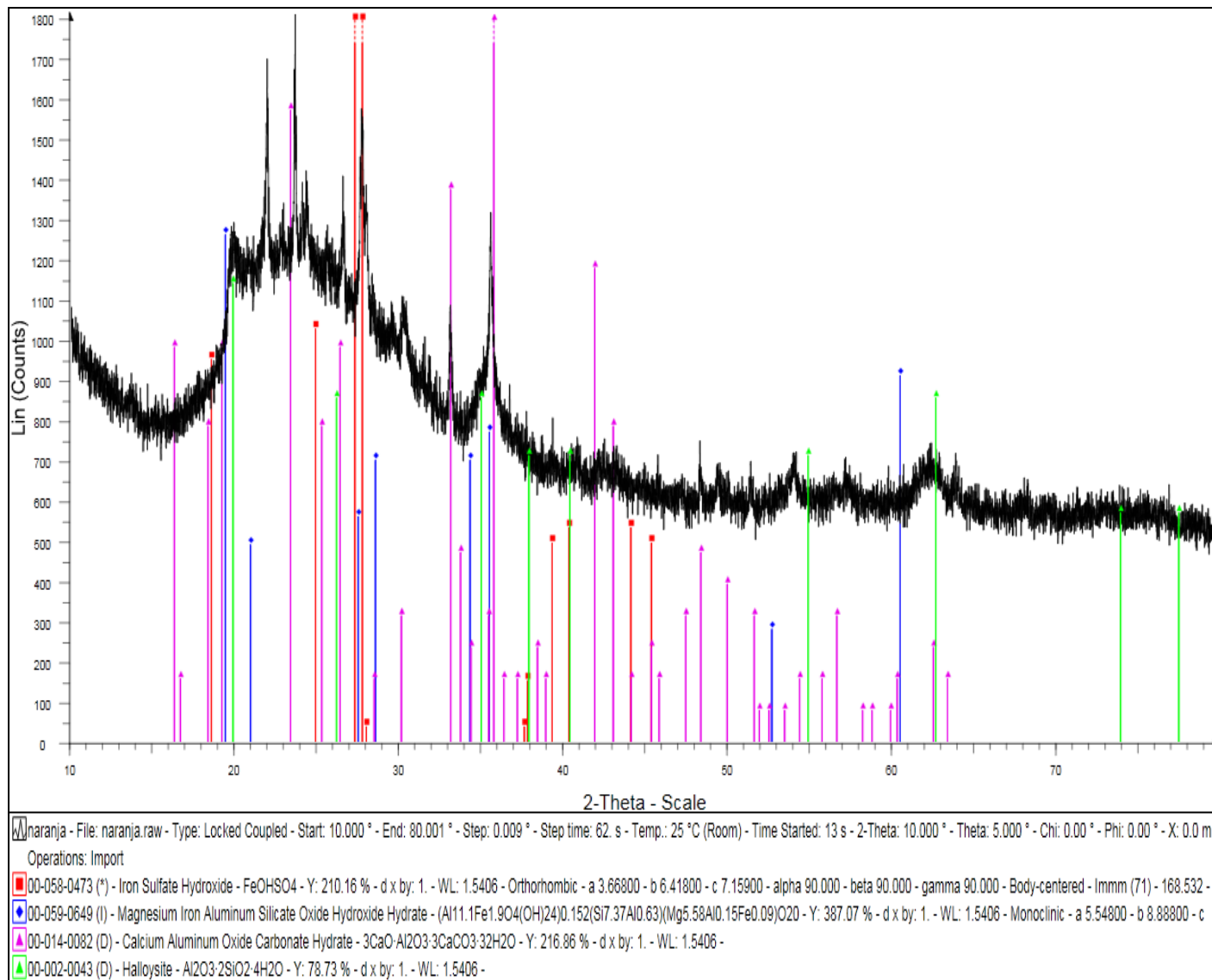
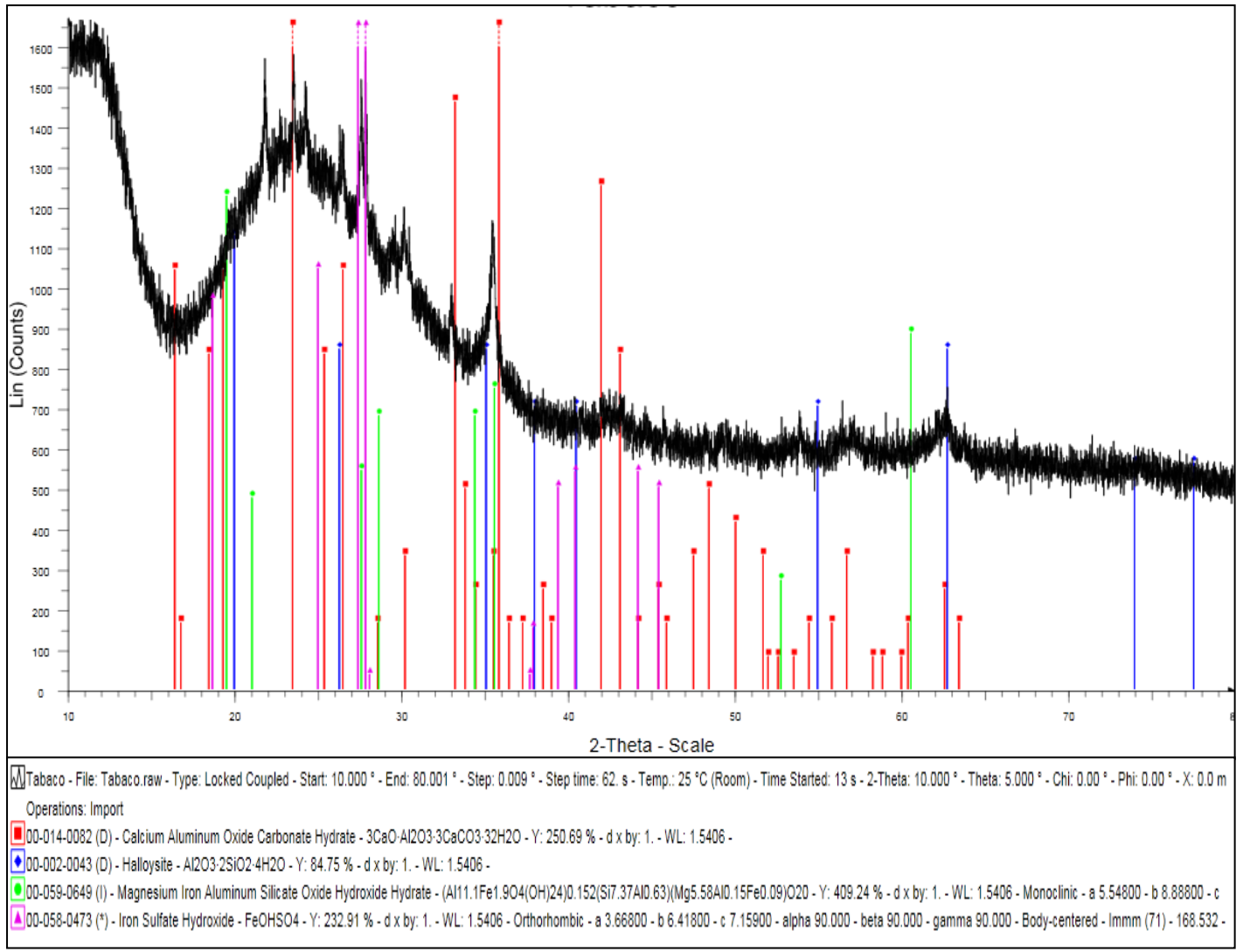


Figura 6.66 Difracción de rayos X en muestra de cal



**Figura 6.67** Difracción de rayos X en muestra de sillar color naranja



**Figura 6.68** Difracción de rayos X en muestra de sillar color tabaco

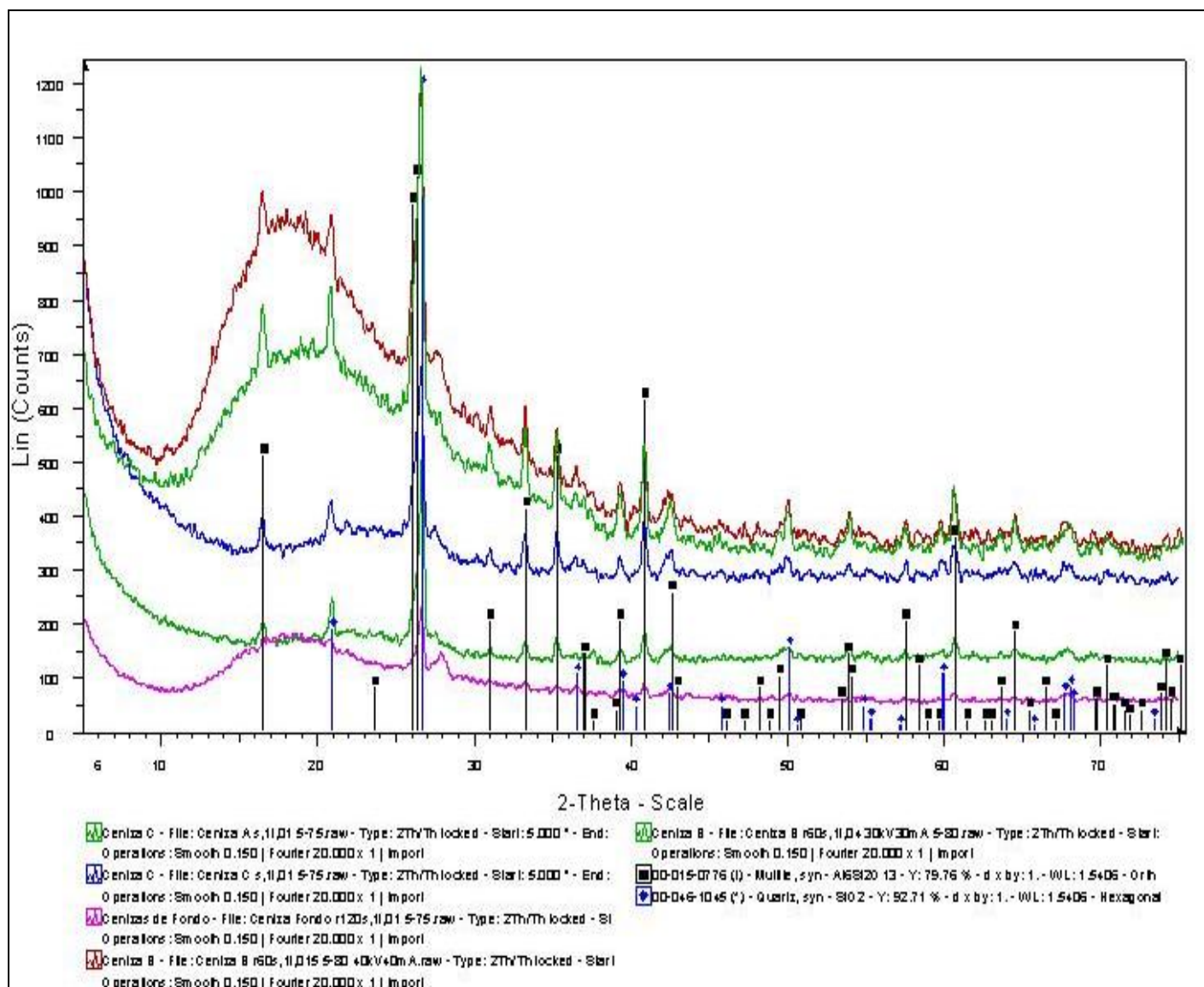


Figura 6.69 Difracción de rayos X en muestra de ceniza volante