



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO.**



Facultad de ingeniería civil.

**"CARACTERIZACIÓN DEL SUELO-CEMENTO FLUIDO EN
CONDICIONES SATURADAS, PARA LA REGIÓN DE MORELIA".**

TESIS PROFESIONAL.

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

Ezequiel Cruz Chimal.

Asesor:

M.I. Felipe de Jesús Jerónimo Rodríguez.

Morelia, Michoacán, Marzo 2016.

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar, gracias Dios mío por darme la oportunidad de vivir esta etapa de mi vida y por permitirme culminar satisfactoriamente la licenciatura en ingeniería civil, por darme salud y por protegerme en todo momento. ¡Por todo eso y más, gracias Dios mío!

Agradezco infinitamente a mis padres José Cruz Segura y Antonia Chimal Segura por todo su apoyo, sus consejos y la motivación que me han brindado, siempre han sido el motor que me mueve para salir adelante. ¡Gracias por todo papá y mamá!

Gracias a mis hermanos y hermanas (Bibiana, Lucía, Gabriela, Juan José y Cristóbal), por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas, por ser tan buenos hermanos, por su motivación para conmigo. ¡Gracias hermanos y hermanas!

Gracias M.I. Felipe de Jesús Jerónimo Rodríguez, por darme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación de sumo interés, por la disponibilidad y la orientación prestada durante el desarrollo de esta tesis. ¡Muchas gracias M.I. Felipe de Jesús Jerónimo Rodríguez!

Gracias a mis profesores, por todas sus enseñanzas y conocimientos brindados en cada uno de los niveles educativos en especial a los profesores que me dieron cátedra durante mi estadía en la facultad de ingeniería civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por prepararme para enfrentar la vida y dar solución a problemas ingenieriles. ¡Mil gracias a mis profesores!

De igual manera agradezco a todo el personal del laboratorio de materiales de la sección de mecánica de suelos, por el apoyo brindado durante la realización de las pruebas correspondientes para la elaboración de esta tesis, por las instalaciones prestadas para llevar a cabo este trabajo. ¡Gracias personal del laboratorio de mecánica de suelos!

Me lleno de alegría al saber que con la colaboración de todos ustedes he alcanzado esta meta tan satisfactoria para mí, ¡el ser INGENIERO CIVIL!. Gracias a todos por acompañarme en las diferentes etapas educativas, gracias por sus enseñanzas, apoyo, orientación y comprensión.

Índice.

1.- INTRODUCCIÓN.....	12
1.1- OBJETIVOS.....	13
1.1.1.- Objetivo general.....	13
1.1.2.- Objetivo concreto.	13
1.2- ANTECEDENTES.....	14
1.2.1.- Antecedentes generales.	14
1.2.2.- Antecedentes específicos.....	18
1.3- JUSTIFICACION.	20
1.4.- HIPÓTESIS.....	21
2.- MARCO TEÓRICO.....	22
2.1.- UBICACIÓN DEL BANCO DE MATERIAL (TEPETATE) TORREÓN NUEVO, MORELIA MICHOCÁN.....	22
2.2.- SUELOS.....	23
2.2.1.- Suelos finos.	24
2.2.2.- Suelos gruesos.....	24
2.3.- CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS.	25
2.3.1.- Suelos aptos para mezclas de suelo-cemento fluido.....	25
2.4.- CARACTERÍSTICAS DEL SUELO-CEMENTO FLUIDO.....	27
2.4.1.- Aplicaciones en rellenos:	28
2.4.2.- Aplicaciones especiales:.....	28
2.4.3.- Las propiedades y el diseño de la mezcla.	28
2.4.4.- Propiedades en estado endurecido.	29
2.4.5.- Características en estado endurecido o fraguado.	29
2.4.6.- Propiedades en estado fresco.....	29
2.4.7.- Composición en estado fluido.....	30
2.5.- LÍMITES DE PLASTICIDAD.	32
2.6.- METODOLOGIA EMPLEADA PARA DISEÑO DE LA MEZCLA DE SUELO-CEMENTO FLUIDO. ..	35
2.7.- LA PRUEBA DE REVENIMIENTO.....	37
2.8.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.....	38
2.8.1.- Aditivos.....	38
2.8.1.1.- Aditivo Maxe-h.....	40

2.8.2.- Cemento.....	41
2.8.2.1.- Clasificación.....	42
2.8.2.2.- Tipos de cemento.....	43
2.8.3.- Suelo.....	48
2.8.4.- Agua.	49
2.9.- MUROS DE CONTENCIÓN.....	50
2.9.1.- Aplicaciones en obra sobre muros de contención.....	51
2.9.2.- Altura libre del muro.....	52
2.9.3.- Pendientes de la base.	52
2.9.4.- Inclinação de las caras del muro.....	53
2.9.5.- Ancho de la corona.	55
2.9.6.- Desplante de zapatas sobre el muro de suelo-cemento.	55
2.9.7.- Profundidad de despalme.....	57
2.9.8.- Ancho de la base.	58
2.9.9.- Procedimiento constructivo.....	58
2.9.10.- Cimbra.....	60
2.10.- FABRICACIÓN DEL SUELO-CEMENTO FLUIDO PARA APLICARSE EN MUROS DE CONTENCIÓN.....	62
2.10.1.- Anclaje de bardas o mallas ciclónicas.	64
2.10.2.- Control de calidad durante el colado.....	68
2.10.3.- Juntas constructivas.....	68
2.10.4.- Varillas ancla.	69
2.10.5.- Filtro o sistema de drenaje del muro.....	70
2.11.- COMPORTAMIENTO ESTÁTICO DE MUROS DE CONTENCIÓN.....	71
2.12.- MUROS DE CARGA A BASE DE SUELO-CEMENTO FLUIDO.	75
2.12.1.- Resistencia de diseño a compresión de la mampostería, sobre el área bruta (f_m^*), a partir de la resistencia de diseño de las piezas y el mortero.	76
2.12.2.- Valores indicativos.	77
2.13.- VENTAJAS COMPARATIVAS.....	79
2.14.- METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	80
3.- PROCEDIMIENTO Y ENSAYE DE LABORATORIO.	81
3.1.- MUESTREO DEL MATERIAL.	81

3.2.- DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE EL USO DE MALLAS.	82
3.2.1.- Objetivo.....	82
3.2.2.- Equipo.	83
3.2.3.- Procedimiento.....	83
3.3.- LÍMITES DE CONSISTENCIA Y CONTRACCIÓN LINEAL.....	90
3.3.1.- Objetivo.....	90
3.3.2.- Determinación del límite líquido.	90
3.3.2.1.- Equipo.	90
3.3.2.2.- Procedimiento.....	92
3.3.3.- Determinación del límite plástico.	95
3.3.3.1.- Equipo.	95
3.3.3.2.- Procedimiento.....	96
3.3.4.- Determinación del índice plástico.....	97
3.3.5.- Determinación de la contracción lineal.	98
3.3.5.1.- Equipo.	98
3.3.5.2.- Procedimiento.....	98
3.3.6.- Determinación de la contracción volumétrica.....	100
3.3.6.1.- Equipo.	100
3.3.6.2.- Procedimiento.....	100
3.4.- DENSIDAD RELATIVA DE SÓLIDOS.....	105
3.4.1.- Objetivo.....	105
3.4.2.- Equipo.	106
3.4.3.- Procedimiento.....	106
3.5.- GRANULOMETRÍA FINA POR EL MÉTODO DEL HIDRÓMETRO.....	112
3.5.1.- Objetivo.....	112
3.5.2.- Equipo de ensaye.	112
3.5.3.- Procedimiento.....	112
3.6.- PRUEBA DE COMPACTACIÓN PROCTOR.	123
3.6.1.- Objetivo.....	123
3.6.2.- Equipo.	123
3.6.3.- Procedimiento.....	125

3.7.- VALOR RELATIVO DE SOPORTE ESTÁNDAR.....	131
3.7.1.- Objetivo.....	131
3.7.2.- Generalidades de la prueba de compactación Porter estándar.	132
3.7.3.- Equipo para prueba de compactación Porter estándar.....	133
3.7.4.- Procedimiento para prueba de compactación Porter.	133
3.7.5.- Equipo para determinar el VRS.....	137
3.7.6.- Procedimiento.....	138
3.8.- DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (P.V.S.S).....	145
3.8.1.- Objetivo.....	145
3.8.2.- Equipo.	145
3.8.3.- Procedimiento.....	145
3.9.- RESUMEN DE RESULTADOS DEL MATERIAL EN ESTUDIO.	150
3.10.- CÁLCULOS PARA LA ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES.....	152
3.10.1.- Cálculo del porcentaje de resistencia.	152
3.10.2.- Cálculo de los pesos de cemento, aditivo, suelo y volumen de agua para elaborar ocho especímenes, en los diferentes proporcionamientos de cemento, en condiciones saturadas y no saturadas.....	152
3.10.2.1.- Especímenes con 1% de aditivo Maxe-h.....	152
3.10.2.2.- Especímenes con 5% de aditivo Maxe-h.....	155
3.11.- ELABORACIÓN DE LOS ESPECÍMENES.	156
3.11.1.- Pesos de los materiales.....	157
3.11.2.- Preparación de la mezcla de suelo-cemento fluido.....	160
3.11.3.- Temperatura de la mezcla de suelo-cemento fluido.	162
3.11.4.- Revenimiento.....	162
3.11.5.- Colado de especímenes.	165
3.11.6.- Descimbrado, curado y fraguado de especímenes en condiciones saturadas.	168
3.11.7.- Descimbrado, curado y fraguado de especímenes en condiciones no saturadas.	169
3.12.- PRUEBA DE COMPRESIÓN SIMPLE EN ESPECÍMENES.....	170
3.12.1.- Preparación de los especímenes saturados y no saturados.	171
3.12.2.- Prueba de compresión simple.	173
3.13.- REPORTE FOTOGRÁFICO.	178
4.- ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RESULTADOS.	182

4.1.- ESPECÍMENES EN CONDICIONES SATURADAS.	182
4.1.1.- Tablas, gráficas y resultados de los proporcionamientos para especímenes en condiciones saturadas con 1% de aditivo Maxe-h.	182
4.1.1.1.- Proporcionamiento del 10% de cemento, para condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.	185
4.1.1.2.- Proporcionamiento del 15% de cemento, para condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.	188
4.1.1.3.- Proporcionamiento del 20% de cemento, para condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.	191
4.1.1.4.- Proporcionamiento del 30% de cemento, para condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.	194
4.1.1.5.- Proporcionamiento del 40% de cemento, para condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.	197
4.1.1.6.- Proporcionamiento del 70% de cemento, para condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.	200
4.1.2.- Tablas, gráficas y resultados de los proporcionamientos para especímenes en condiciones saturadas con 5% de aditivo Maxe-h.	206
4.1.2.1.- Proporcionamiento del 10% de cemento, para condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.	208
4.1.2.2.- Proporcionamiento del 15% de cemento, para condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.	211
4.1.2.3.- Proporcionamiento del 20% de cemento, para condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.	214
4.1.2.4.- Proporcionamiento del 30% de cemento, para condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.	217
4.1.2.5.- Proporcionamiento del 40% de cemento, para condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.	220
4.1.3.- Observaciones de los especímenes en condiciones saturadas con 1% y 5% de aditivo Maxe-h.	226
4.1.4.- Análisis del costo de 1m ³ de suelo-cemento fluido con $f'c=25\text{kg/cm}^2$ y 1m ³ de concreto con $f'c=150\text{kg/cm}^2$, para condiciones saturadas.	227
4.2.- ESPECÍMENES EN CONDICIONES NO SATURADAS (CURADOS CON BOLSAS MUY HÚMEDAS).	228
4.2.1.- Tablas, gráficas y resultados de los proporcionamientos para especímenes en condiciones no saturadas con 1% de aditivo Maxe-h.	228

4.2.1.1.- Proporcionamiento del 10% de cemento, para condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.	230
4.2.1.2.- Proporcionamiento del 15% de cemento, para condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.	233
4.2.1.3.- Proporcionamiento del 20% de cemento, para condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.	236
4.2.1.4.- Proporcionamiento del 30% de cemento, para condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.	239
4.2.1.5.- Proporcionamiento del 40% de cemento, para condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.	242
4.2.2.- Tablas, gráficas y resultados de los proporcionamientos para especímenes en condiciones no saturadas con 5% de aditivo Maxe-h.	248
4.2.2.1.- Proporcionamiento del 10% de cemento, para condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.	250
4.2.2.2.- Proporcionamiento del 15% de cemento, para condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.	253
4.2.2.3.- Proporcionamiento del 20% de cemento, para condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.	256
4.2.2.4.- Proporcionamiento del 30% de cemento, para condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.	259
4.2.2.5.- Proporcionamiento del 40% de cemento, para condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.	262
4.2.3.- Observaciones de los especímenes en condiciones no saturadas con 1% y 5% de aditivo Maxe-h.	268
4.2.4.- Análisis del costo de 1m ² de muro de suelo-cemento fluido con $f'c=25\text{kg/cm}^2$ y 1m ² de muro elaborado con tabique de barro rojo recocido y mortero tipo I, para condiciones no saturadas.	269
4.2.5.- Análisis del costo de 1m ³ de suelo-cemento fluido con $f'c=25\text{kg/cm}^2$ y 1m ³ de concreto con $f'c=150\text{kg/cm}^2$, para condiciones no saturadas.	270
4.3.- TABLA COMPARATIVA PROPORCIONADA POR MAXE-h TERRACRETO.....	272
4.4.- RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS ESPECÍMENES SATURADOS Y NO SATURADOS, CON 1% Y 5% DE ADITIVO MAXE-H.....	272
5.- CONCLUSIONES.....	277
6.- BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	282

RESUMEN.

En este trabajo de investigación se aborda el tema que lleva por nombre “Caracterización del suelo-cemento fluido en condiciones saturadas, para la región de Morelia”. La aportación de esta investigación es fomentar el conocimiento de este nuevo material y las ventajas que presenta cuando se utiliza en las diferentes estructuras mencionadas en este trabajo, es un material de innovación de fácil aplicación y de menor costo en comparación con otros materiales empleados para un mismo fin, tal y como se podrá ver dentro del contenido de esta tesis.

La presente investigación muestra los resultados obtenidos del suelo (tepetate) proveniente del banco de materiales Torreón Nuevo, el cual fue analizado en el laboratorio de mecánica de suelos, perteneciente a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Con los resultados obtenidos, es decir, las propiedades índice y de calidad del suelo, se proponen diferentes porcentajes de cemento, para la elaboración de la mezcla de suelo-cemento fluido.

Posteriormente se elaboraron especímenes, donde se encontraron los contenidos óptimos en peso de suelo, cemento y aditivo Maxe-h, así como el volumen de agua necesario para lograr un revenimiento entre 8 y 14 cm. Dicho proporcionamiento es el óptimo requerido y debe de cumplir con el objetivo de esta tesis, el cual es lograr una resistencia mínima a la compresión simple de 25Kgf/cm^2 (2.45MPa).

Caracterización del suelo cemento fluido.

ABSTRACT.

In this research I develop the topic “Characterization of the fluid soil-cement in swamped conditions, for Morelia’s región”. What I pretend through this research is to provide knowledge of this new material and the advantages that represent when it is used on different structures named in the present research, it is an innovative material with an easy application and a lower cost compared with others materials used for the same purpose, as we will see in this thesis.

The current research shows the obtained results from de soil (tepetate) coming from the supply of materials Torreón Nuevo, which was analyzed at the laboratory of soil mechanics, belonging to Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. With the results shown, ergo, the index properties and qualities properties of the soil, different percentages of cemente are porposed, for the blend of fluid soil-cement.

Subsequently specimens were made, where optimum contents were found in weight of soil, cement and Maxe-h additive, also the volumen of water needed to get a slump between 8 and 14 centimeters. This proportioning is the optimum required and must accomplish with the objective of this thesis, which is to get a minimum strength compressive simple of 25kgf/cm^2 (2.45MPa).

1.- INTRODUCCIÓN.

En base a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas al material (tepetate) proveniente del banco de material denominado Torreón Nuevo, dentro del laboratorio de materiales, en la sección de mecánica de suelos de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, se logró conocer las propiedades índice y de calidad del suelo (tepetate). Con los resultados del suelo (tepetate) se pretende encontrar el contenido óptimo de cemento para 1 metro cúbico de tepetate, para alcanzar la resistencia a compresión simple del proyecto de 25kg/cm^2 , además se debe de considerar el agua necesaria para que la mezcla adquiera un revenimiento entre 8 y 14 centímetros, así como también el porcentaje de aditivo Maxe-h. Se realizarán varias mezclas de suelo-cemento fluido con diferentes porcentajes de cemento (10%, 15%, 20%, 30% y 40%) y aditivo Maxe-h (1% y 5%), de las cuales se obtendrán probetas o especímenes que se probarán a diferentes edades de fraguado (3, 7, 14, 28 días) y diferentes condiciones de curado. Se encontrarán los contenidos óptimos de los materiales para el diseño de la mezcla de suelo-cemento fluido que cumpla con la resistencia de diseño a compresión simple, en condiciones saturadas, enfocado a muros de contención. Sin embargo se elaboraran especímenes que resistan la misma fuerza de compresión de simple, es decir, 25kg/cm^2 en condiciones no saturadas, enfocados a muros de contención y muros de carga.

Los resultados obtenidos se mostraran en los siguientes capítulos, así también se conocerá si se logró el objetivo de esta tesis o no.

El suelo-cemento fluido es el resultado de una mezcla de suelo pulverizado y disgregado, principalmente un agregado fino que mediante una relación agua/cemento determinada más un aditivo Maxe-h, esto da a la mezcla las características de un mortero de gran fluidez. Su estructura celular permite que sea empleado sin ningún problema de segregación, con esto se puede obtener densidades altas para que produzca un endurecimiento más efectivo.

De esta forma se obtiene un nuevo material resistente a los esfuerzos de compresión, termo aislante y estable en el tiempo. La meta es encontrar el porcentaje adecuado para la mezcla de suelo-cemento fluido, que sea el que se comporte de la mejor manera alcanzando la resistencia del proyecto, es decir, que tenga los resultados deseados. Encontrar la mezcla de un suelo fino con una relación agua/cemento más el aditivo Maxeh, para el material de suelo (tepetate) del banco Torreón Nuevo, debido a que es el banco existente que abastece a la región de Morelia.

1.1- OBJETIVOS.

1.1.1.- Objetivo general.

El objetivo general de ésta tesis consiste en encontrar las cantidades óptimas de cemento, agua y aditivo Maxeh, que en combinación con el material de suelo (tepetate) formen una mezcla de suelo-cemento fluido, que presente buenas características, para cumplir con la resistencia del proyecto en condiciones saturadas para la región de Morelia.

1.1.2.- Objetivo concreto.

Por objetivo concreto se debe de realizar la investigación necesaria para conocer las cantidades óptimas de cemento, agua y aditivo Maxeh, que en combinación con el material de suelo (tepetate) formen una mezcla de suelo-cemento fluido, que presente las mejores características, para cumplir con la resistencia del proyecto. Dentro de la parte práctica se harán todas las pruebas necesarias al material para conocer las propiedades índices y de calidad para determinar si es apto o no para la elaboración de la mezcla de suelo cemento fluido. Se elaborarán especímenes de varias mezclas, cada mezcla con diferentes proporcionamientos de cemento y aditivo Maxeh, de las cuales se elegirá la que logre satisfacer los requisitos deseados, por lo tanto, en esta mezcla se definirán los contenidos

óptimos de cemento, tepetate, aditivo y agua. Además en la parte teórica se mostraran los antecedentes correspondientes a este nuevo material, así como las obras de ingeniería civil donde puede ser empleado.

1.2- ANTECEDENTES.

1.2.1.- Antecedentes generales.

El hombre ha usado tanto la cal como diversos aglomerantes en la estabilización de suelos cohesivos. Desde que el ser humano superó la época de las cavernas, ha aplicado sus mayores esfuerzos a delimitar su espacio vital, satisfaciendo primero sus necesidades de vivienda y después levantando construcciones con requerimientos específicos: Templos, palacios, museos, son el resultado del esfuerzo que constituye las bases para el progreso de la humanidad.

El pueblo Egipcio, ya utilizaba un mortero (mezcla de arena con materia cementosa) para unir bloques y losas de piedra al elegir sus asombrosas construcciones. Los constructores Griegos y Romanos, descubrieron que ciertos depósitos volcánicos, mezclados con caliza y arena producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua, dulce o salada. Un material volcánico muy apropiado para estas aplicaciones, lo encontraron los Romanos en un lugar llamado Pozzuoli, el que actualmente lo conocemos como puzolana.

Las más de veinte técnicas de uso de la tierra como material de construcción se han empleado en todos los continentes desde tiempos inmemoriales. Obras defensivas y viviendas fueron los fines principales a que se destinó este material en los albores de su uso. Ejemplo de esto lo tenemos en los siglos VI y VII A.N.E. en Italia y algunas zonas de Gran Muralla China.

Formas más elaboradas en base a grandes bloques de tierra secada al sol aparecen en el siglo IV en Grecia conservándose hasta hoy cientos de metros lineales de muro hecho de esta forma. Pero si queremos retomar la evidencia más remota del uso de la tierra hay que ir a la zona del sureste de Irán donde se encuentran las ruinas de Tepe Yahya cuyos orígenes se sitúan en el año 3400 A.N.E y que hoy es un montículo de 18 m de altura 180 m de diámetro.

En América hacia el primer milenio A.N.E aparecen las primeras viviendas íntegramente de arcilla, aunque las más antiguas que hoy se conservan son de piedras asentadas con arcillas y con revestimiento de este material. En este continente las construcciones con tierra tuvieron su máximo esplendor 200 años antes de la llegada de los españoles con ejemplos notables, como Cachan, Paramonga en Perú, que se aprecian aún hoy en día.

La llegada de los españoles produjo una fuerte influencia en las construcciones indígenas de América, así se transformaron las técnicas del adobe y el tapial, que los españoles conocían. Apareció la quinchá en base a madera, barro y caña la cual fue impuesta por disposiciones legales, en las segundas plantas de Lima, después de los terremotos de los siglos XVII y XVIII. Este uso de suelo tiene su justificación y la primera de ellas está en su extraordinaria abundancia: el 74% de la corteza terrestre es tierra: lo que determina su fácil y amplia disponibilidad y como consecuencia su bajo costo.

Por otra parte cualquiera de las técnicas de construcción que emplea la tierra, y entre ellas los bloques y tapiales (dos de las más desarrolladas), son sencillos y no requieren equipos refinados, lo que facilita la autoconstrucción y su empleo. Estas técnicas además contribuyen al ahorro de otros materiales como los agregados y el cemento que puede destinarse a obras donde no hay lugar para la tierra. Si además la comparamos, en cuanto a consumo de energía con otros materiales de la construcción, resulta una gran economía con su empleo.

Pero la tierra no es sólo un material histórico. Hoy es también un material de construcción para más de 1500 millones de personas que viven en construcciones de tierra desde los Estados Unidos hasta la Patagónica; desde el Sahara, hasta el Cono sur africano; en Asia y en el Oriente y hasta en la industrializada Europa.

La tierra sigue siendo un material de construcción. Según Naciones Unidas la oferta oficial en los países en vías de desarrollo será superior a las 500,000 viviendas/año (200,000 en Latinoamérica, 200,000 en África; 100,000 en Asia.

Esta contemporaneidad del suelo no se limita al tercer mundo como lo prueban los ejemplos notables de conjuntos de viviendas L' isle D Abeau en Lyon Francia o en el barrio de la Luz en Nuevo México, Estado Unidos, cuyas calidades estéticas los señalan. La importancia que en Latino América se le da a la tierra y su estudio se materializa con la creación del centro Latinoamericano de estudios y difusión de la construcción con tierra CLEDTIERRA, creada a través de la Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO.

La tierra es sin dudas el material de construcción más antiguo de los empleados por el hombre en su evolución histórica. Paradójicamente, ha llegado hasta el presente constituyendo prácticamente la única alternativa para que una parte significativa de la humanidad pueda disponer de una vivienda en condiciones mínimas de habitabilidad. Este aspecto de la crisis de índole social impuesta por las limitaciones económicas de una amplia porción de la población mundial ha merecido la atención de reconocidas instituciones técnicas y científicas en diferentes partes del planeta.

Estas instituciones han emprendido el estudio riguroso y sistemático de la tierra, en las diferentes técnicas constructivas que la emplean, para superar sus raíces empíricas, dominar científicamente todos los aspectos del tema y conducir su aplicación práctica por las vías más racionales, económicas y seguras.

Las tradicionales técnicas del *adobe* (ladrillos de suelo arcilloso secados al sol) y el *tapial* (muros de suelos arcillosos con fibras vegetales conformados en el propio lugar) son ampliamente empleadas en los países del tercer mundo por extensos sectores de su población para construir viviendas e instalaciones sociales.

La sustitución de las fibras vegetales por aglutinantes como cenizas industriales, cal o cemento han permitido desarrollar las técnicas de construcciones con tierras. En particular el suelo-cemento se ha convertido en un importante material de construcción, tanto para viviendas como en obras viales, donde ha tenido un significativo uso.

La aplicación práctica del suelo-cemento conlleva, además de una caracterización de las materias primas componentes, al desarrollo integral de una tecnología de construcción. En la república de México, independientemente de algunos casos locales o aislados, no se puede hablar de un seguimiento y mucho menos tradición en la aplicación de esta técnica. El auge de las construcciones, como base para el desarrollo económico y social del país, se ha realizado con técnicas constructivas convencionales pero modernas empleando casi en su totalidad los materiales y productos de arcilla cocida, morteros y hormigones de cemento portland, blocks, hormigón armado y estructura metálicas. Como consecuencia de los avances de la ciencia y la técnica, la vivienda ha llegado a ser cada vez más amplia y confortable. Por doquier, bellos y variados proyectos urbanísticos han modernizados nuestras principales ciudades, sin embargo, su elevado costo ha impedido a sectores mayoritarios acceder a estos, creando una polaridad significativa entre el hábitat de unos y otros. El concepto de vivienda económica tiene un carácter muy relativo, pues está en relación directa con el poder adquisitivo de los futuros moradores, así como de las condiciones de entrega y los plazos a cumplir en sentido general. Sin embargo, existen comunes denominadores que sin dudas constituyen los factores determinantes en este propósito, y que son los siguientes:

Precio de la tierra.

Diseño.

Técnicas de ejecución.

Precio de la mano de obra.

Materiales empleados.

Este desarrollo tecnológico para la construcción, en particular de viviendas y obras sociales, unido a la tendencia a proporcionar viviendas adecuadas y de un alto nivel constructivo, incluso más allá de consideraciones económicas objetivas, ha llevado a subestimar las posibilidades del empleo de materiales y técnicas como el suelo-cemento fluido.

Sin embargo, la creciente demanda de proyectos para la construcción de viviendas y sus servicios dirigida a los sectores poblacionales antes mencionados impone la necesidad de racionalizar al máximo el empleo de los recursos disponibles, para ello, y como parte de la solución, planteamos la necesidad. Desarrollar integralmente el suelo-cemento fluido, definiendo técnicas adecuadas a las condiciones de nuestro país para aportarlo como una solución constructiva más al programa de viviendas, vías terrestres y otras construcciones afines, en aquellos lugares donde resulte ventajosa su aplicación.

1.2.2.- Antecedentes específicos.

El suelo cemento fluido consiste en la mezcla íntima de suelo con cemento compactado en su contenido óptimo de humedad. La función del cemento es aglutinar el material y convertirlo en una masa endurecida de carácter estable. El agua hidrata el cemento y ayuda a obtener la máxima densidad lubricando los granos y partículas de suelo. Una vez que el suelo-cemento fluido ha sido mezclado y compactado, se inicia la acción del cemento que, provoca el

endurecimiento de la masa. Regularmente, el porcentaje de cemento puede variar entre el 7 al 18% dependiendo del tipo de suelo. Al producto ya curado o fraguado se le exigen unas determinadas condiciones de insusceptibilidad al agua (impermeabilidad, insolubilidad), resistencia, durabilidad y apariencia. El cemento le aporta a la tierra un aumento de su resistencia y una reducción de la contracción. Es común observar que en la ejecución de obras de muros de contención se produzcan atrasos de diversos factores, es en estos casos en los que se vuelve importante acudir a métodos alternativos que faciliten y aceleren el curado del suelo cemento fluido para que éste alcance su resistencia en un tiempo menor de manera que se logre recuperar la mayor cantidad de tiempo perdido o inclusive adelantarse a los tiempos programados. Para la aplicación de este método de curado acelerado, se requiere efectuar un análisis de la efectividad de la aplicación.

Desde hace más de 60 años, en diversas partes del mundo, aunque no de forma masiva y generalizada, se viene empleando en la construcción de base y sub-base de carreteras, caminos, aeropuertos, calles y en la ejecución de edificaciones de viviendas, naves agropecuarias e industriales.

Durante los últimos años estas mezclas se han empleado en la construcción de canales y otras obras relacionadas con la rama hidráulica.

En la actualidad existen modernos equipos estabilizadores, recicladores de gran potencia y rendimiento, distribuidores y dosificadores de cemento que facilitan el trabajo en campo y garantizan la calidad de mezclado y colocación. Aún existen retos por superar referente al conocimiento de este material, si bien el trabajo de investigación continúa en diversos países.

En México, el Centro de Tecnología del Cemento y Concreto de Cemex, desarrolló en 1997 el suelo cemento fluido, material sustituto de suelo que ha destacado por su versatilidad de aplicaciones y las facilidades constructivas que ofrece a los usuarios.

Este material ha sido catalogado como un “súper suelo” debido a las propiedades mecánicas que tiene. Durante el desarrollo de esta mezcla, en la República Mexicana se han realizado una serie de pruebas en diferentes lugares para observar y analizar su comportamiento, utilizando en su producción diferentes materiales y buscando emplear siempre el que exista en la región. Así se han obtenido resultados que permiten el desarrollo de las formulaciones adecuadas para cada material en donde se ha ensayado.

1.3- JUSTIFICACION.

Con este trabajo de investigación se dará a conocer los porcentajes óptimos de suelo (tepetate), cemento, agua y aditivo para el diseño de la mezcla de suelo-cemento fluido, esta mezcla será la que mejores propiedades presente cumpliendo con la resistencia del proyecto. Su uso es muy variado se puede utilizar en las diferentes obras de Ingeniería Civil (Muros de contención, muros de carga y divisorios, capas del pavimento como son la subrasante, etc.).

Con el presente trabajo de investigación la región de Morelia conocerá las ventajas de la mezcla de suelo-cemento fluido utilizando el material cementante (tepetate) proveniente del banco de material Torreón Nuevo, las diferentes obras civiles donde puede ser empleado, así como el costo de la mezcla. Se pretende que este innovador material revolucione y tenga mayor auge dentro del mundo de la construcción, debido a que presenta gran manejabilidad, es un material ecológico y de muy bajo costo que está al alcance de los morelianos.

El suelo-cemento fluido es compatible con estructuras de concreto, se puede repellar directamente, cuenta con adherencia para recibir aplanados de yeso, mortero y pintura.

1.4.- HIPÓTESIS.

En congruencia con los trabajos realizados anteriormente se concluye que la resistencia del suelo-cemento fluido, varía en función de la plasticidad del suelo, principalmente cuando se tiene una variación de humedad, por las condiciones en las que está sujeta al medio ambiente que lo rodea, es decir, que su comportamiento estará en función de las condiciones de servicio en estado seco o en condiciones saturadas. Tal como se puede ver en los resultados de los siguientes capítulos.

Debe mencionarse que los pesos de suelo y cemento así como el contenido de agua, dependen de la humedad del suelo (tepetate) en el momento en que se va a realizar la mezcla, es decir, los porcentajes estarán en función del peso volumétrico seco suelto (PVSS) del suelo, sin embargo, el aditivo Maxe-h se usará en proporciones de 1% y 5% para 1 metro cúbico de suelo (tepetate), en diferentes condiciones de curado y fraguado, es decir, condiciones saturadas y no saturadas. Los resultados se observaran en los siguientes capítulos.

2.- MARCO TEÓRICO.

**2.1.- UBICACIÓN DEL BANCO DE MATERIAL (TEPETATE) TORREÓN
NUEVO, MORELIA MICHOACÁN.**

Se localiza dentro del ejido de Torreón Nuevo, Morelia, a 10 minutos de la misma comunidad. Se puede llegar avanzando sobre la carretera Morelia – Copándaro de Galeana, entrando hacia la derecha en la calle Joaquín Guerra, finalmente avanzando 1 km por terracería hasta llegar al banco de material.



FIGURA 1: desviación hacia el banco de material tepetate, Torreón Nuevo.

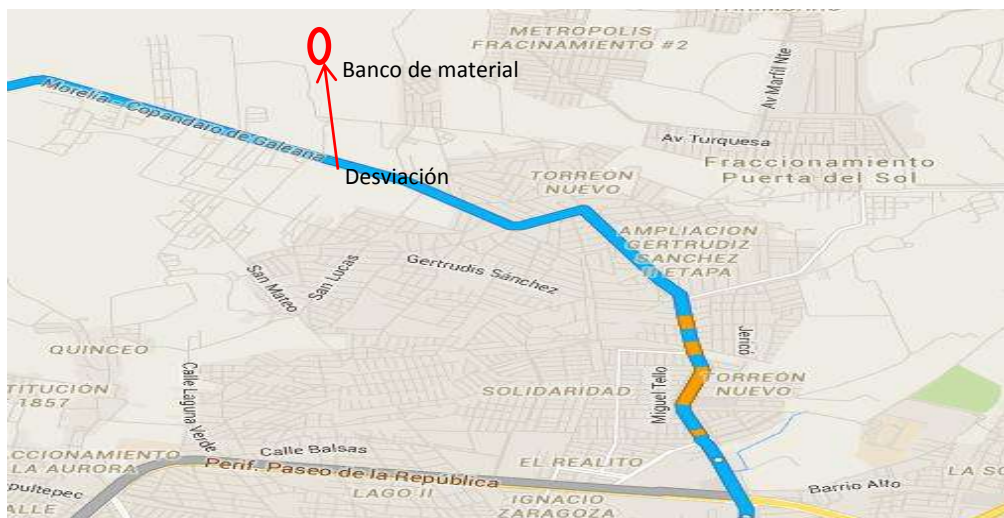


FIGURA 2: Carretera Morelia – Copandaro de Galenana, desviación y banco de materiales Torreón Nuevo.

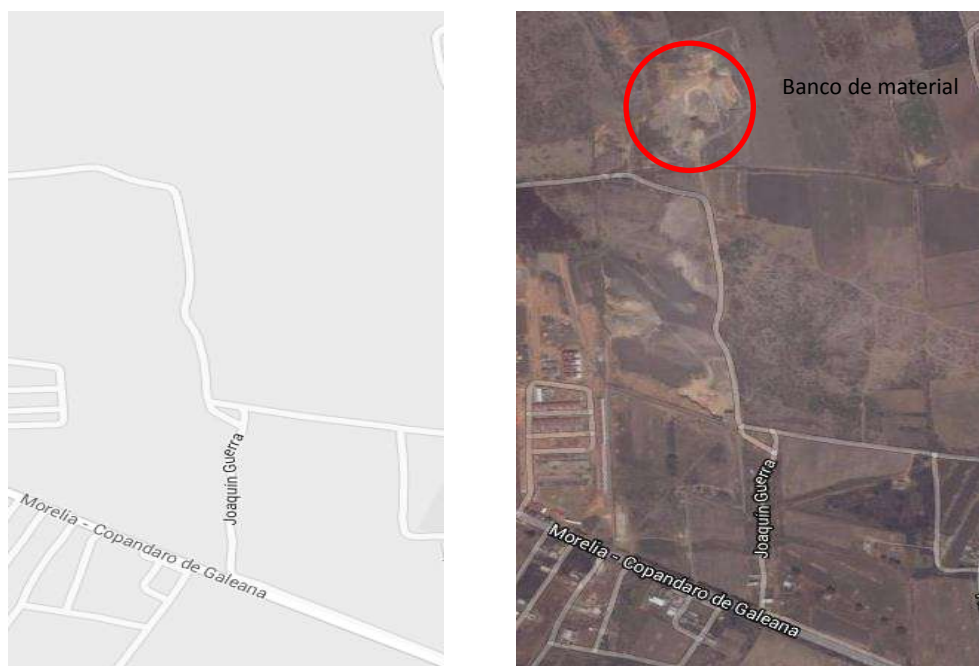


FIGURA 3: La imagen muestra el transcurso de terracería desde la desviación hasta el banco de materiales

2.2.- SUELOS.

El suelo se puede definir como un material trifásico compuesto por una fase sólida, una líquida y otra gaseosa.

La fase sólida la constituyen minerales variables formando una estructura que depende de los tipos, el tamaño de sus diferentes partículas y la rigidez de su organización. La estructura del suelo en la naturaleza tiene un elevado volumen de vacíos en forma de poros que pueden encontrarse total o parcialmente llenos de agua o agua y gas.

Desde el punto de vista de su empleo como material de construcción, el suelo se caracteriza en dos grandes grupos; los suelos finos, compuestos por arcillas y limos y los suelos gruesos formados por arenas y gravas. Estos dos grupos se fraccionan en subgrupos, tomando en cuenta la granulometría o distribución de los diferentes tamaños de partículas que contienen y la plasticidad que ofrecen con

diferentes contenidos de humedad. Cada subgrupo responde al comportamiento frente a las acciones internas y externas, como por ejemplo: la permeabilidad, las densidades posibles de alcanzar, las deformaciones que pueden sufrir bajo carga y la estabilidad o resistencia entre otros parámetros. Basado en los sistemas de clasificación se pueden abarcar una gran mayoría de los suelos creados por la naturaleza en un reducido número de subgrupos y con relativa facilidad obtener una considerable información sobre cada suelo en específico.

2.2.1.- Suelos finos.

En los suelos de granos finos como los suelos arcillosos y limosos cuando se mezclan con cemento y agua se producen durante el período de hidratación, unas fuertes uniones entre dichas partículas minerales para formar una microestructura en forma de un panal de abejas.

2.2.2.- Suelos gruesos.

Los suelos gruesos están compuestos por arenas y gravas que en sí forman partículas resistentes, poco solubles en el agua y por lo tanto al añadirle pasta de cemento no se logra una integración estructural íntima que transforma dicho suelo como en el caso de los suelos finos. En los suelos gruesos la pasta de cemento forma puentes de unión entre las partículas dejando oquedades irregulares entre ellas. En caso que hubiera una fracción fina dentro de la masa de suelo grueso, existirá una combinación dentro de la microestructura entre el paneloide y el aleatorio. Cuando predomina la fracción gruesa de un suelo, este tendrá siempre un menor consumo de cemento que los suelos finos puros.

Como se explicará posteriormente las mezclas de suelo-cemento fluido como material de construcción de elementos estructurales para edificaciones de cualquier tipo, deben cumplir varios requisitos, entre ellos ser económicas y tener

la suficiente durabilidad y laborabilidad. Esto se cumple en la gran mayoría de los casos cuando existe un predominio de las fracciones gruesas y la suficiente fracción fina que aporta la cohesión necesaria para poder trabajar con esta masa.

2.3.- CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS.

Existen dos vías para proceder a la clasificación de los suelos, la primera y más precisa, es por medio de ensayos físicos de laboratorio. La segunda, mucho menos precisa, es por medios de ensayos elementales de campo que no requieren una tecnología especializada.

La primera variante debe ser la de mayor utilización debido a que con una buena clasificación prácticamente se garantiza la calidad requerida de la mezcla con un mínimo consumo de cemento. Sin embargo, pueden existir construcciones aisladas que por razones del poco volumen de construcción a realizar consideren más práctico (aunque menos preciso) utilizar la clasificación de campo y por ende emplear la segunda variante.

El sistema de clasificación de los suelos para mezclas de suelo-cemento fluido y los ensayos a utilizar según las dos variantes explicadas, será tratado en el punto “Suelos aptos para mezclas de suelo-cemento fluido”.

2.3.1.- Suelos aptos para mezclas de suelo-cemento fluido.

Prácticamente todos los suelos pueden ser empleados para producir suelo-cemento fluido con la lógica excepción de la capa vegetal, sin embargo, cuando se requiere ejecutar una mezcla con calidad y consumo mínimo de cemento, el número de suelos aptos se reduce.

Se consideran suelos aptos para mezclas de suelo-cemento fluido aquellos cuyos consumos de cemento en peso se encuentren entre 5 y 12% con respecto al peso

del suelo. Además, que la favorabilidad sea tal que permita la producción de los elementos a fabricar.

Con los suelos aptos el suelo-cemento fluido debe ser estable en la contracción, tener una absorción de agua adecuada y alcanzar las resistencias necesarias en el menor tiempo.

Generalmente los suelos aptos son aquellos que tienen tales proporciones de suelos gruesos y finos que producen una granulometría abierta, sin predominio excesivo de un determinado tamaño. De igual forma su plasticidad debe ser tal que aporte una determinada cohesión a la mezcla, lo que mejora la favorabilidad y aumenta el aislamiento térmico sin que se produzcan agrietamientos por contracción.

El rango granulométrico del suelo en porcentaje (%) que pasa, expresado en la Tabla 1 garantiza las buenas propiedades del suelo-cemento y es el siguiente:

Tamiz	% que pasa
3 plg.	100
No.4	50 - 100
No.40	15 - 100
No.200	10 - 50

TABLA 1: Distribución granulométrica de suelos aptos para diseño de mezclas de suelo cemento fluido.

2.4.- CARACTERÍSTICAS DEL SUELO-CEMENTO FLUIDO.

Los avances de la ingeniería civil han permitido la innovación con respecto a los procesos y sistemas constructivos, por ejemplo; los concretos de alto comportamiento, los durables o incluso los sustitutos del suelo, como el relleno fluido, que forman parte del innovador conjunto de herramientas y materiales disponibles para la construcción contemporánea.

El relleno fluido es un material nuevo, al que todavía no se le da un nombre único, también se reconoce como suelo líquido, suelo-cemento líquido, o material de baja resistencia controlada. En México ha prevalecido la denominación de relleno fluido, pues con esta abarca tanto su función más frecuente, que es la de rellenar, como su consistencia, que para la mayoría de sus aplicaciones suele ser bastante fluida. En cuanto a la definición, tampoco hay un consenso, pero para fines prácticos se le puede describir de la siguiente manera. “sustituto de suelo, que se coloca de forma líquida y que una vez endurecido presenta un mejor comportamiento y mejores propiedades que las de un relleno tradicional hecho con materiales granulares.” El comité ACI 229 Controlled Low Strength Material, referente a este tipo de materiales, lo define de la siguiente forma: “materiales cementantes autocompactables de baja resistencia controlada, usado principalmente como relleno en vez de un relleno compacto.” Hace casi 10 años se realizaron los primeros trabajos con relleno fluido en nuestro país, donde se le ha empleado, principalmente, para el relleno de zanjas.

Relleno de zanjas de cualquier tipo de tuberías y en la región norte como base de pavimento. El relleno fluido al no requerir la colocación de capas, ni vibrarse, compactarse y curarse, simplifica el proceso constructivo, pues una vez descargado solo se espera el fraguado final que sucede de cinco a ocho horas después de haberse colocado para seguir trabajando.

2.4.1.- Aplicaciones en rellenos:

- Todo tipo de zanjas.
- Sub-base y base de pavimento.
- Plantillas.
- Terraplenes.
- Relleno de cavernas.
- Nivelación de terrenos.
- Relleno para dar pendientes en azoteas.
- Firmes de viviendas en los que se coloque un recubrimiento.

2.4.2.- Aplicaciones especiales:

- Relleno estructural.
- Estabilización de talud.
- Relleno de cavernas.
- Bacheo de calles.
- Reparación de losas de pista y plataforma, aeropuerto.
- Relleno para dar pendiente en viviendas.
- Elaboración de muros de contención, muros de carga y divisorios.

2.4.3.- Las propiedades y el diseño de la mezcla.

Las propiedades del relleno fluido dependen del diseño de la mezcla que se emplee. En México lo que se conoce como relleno fluido es una mezcla de cemento, agregado fino, algunas veces agregado grueso, agua y células de aire, generalmente incluidas entre 5 y 10% del volumen. En tanto en Estados Unidos, donde hay una mayor variedad de rellenos fluidos o CLSM como los conocen, el tipo de rellenos que se producen en México, son llamados CLSM de baja densidad.

2.4.4.- Propiedades en estado endurecido.

Las mejores ventajas de este material se obtienen en estado endurecido y sus propiedades mecánicas son superiores a las normalmente obtenidas en suelos. Al relleno fluido se le ha catalogado como un “súper suelo”.

2.4.5.- Características en estado endurecido o fraguado.

- No presenta contracción por secado, por lo que no se requiere de juntas.
- No requiere curado.
- Pueden ser excavados si se requiere.
- Comportamiento en estado endurecido como una base mejorada.
- Mejora la capacidad de carga de soporte del suelo, siendo normalmente mayor que la de un suelo compactado o relleno granular, es menos permeable, por lo tanto los efectos de erosión son menores.
- No presenta asentamientos futuros.
- No se erosiona con la humedad.
- Permite una rápida apertura al tráfico.

2.4.6.- Propiedades en estado fresco.

Las propiedades relevantes en estado fresco tienen que ver con la facilidad de colocación y con la masa unitaria del material. En la república se ha usado la prueba de revenimiento para evaluar la consistencia del material. Los revenimientos típicos son de 18 a 24 cm, aunque se llegan a especificar revenimientos menores cuando la aplicación lo requiere.

El peso volumétrico típico varía entre 1,600 y 2,000 Kg/m³ y ocasionalmente se especifican valores más ligeros. Esta propiedad es de interés para el diseño y control de calidad de la mezcla, y es relevante por las características de

conductividad térmica y excavabilidad que presentará el relleno una vez endurecido.

2.4.7.- Composición en estado fluido.

El suelo cemento fluido es un material de origen cementoso, homogéneo que en estado fresco fluye como si fuera un líquido, sin segregar ni exudar, transformándose una vez endurecido en una estructura estable que soporta cargas como si fuera un sólido; presentando propiedades de un suelo mejorado, cuyas características mecánicas y volumétricas son estables con el tiempo.

Su composición es principalmente por un agregado fino, que mediante una relación agua-cemento determinada, da a la mezcla la característica de fluidez y en algunos casos se le integra aditivo para perfeccionar su manejabilidad y conservar o establecer la fluidez que se requiera. Su estructura celular permite que pueda ser empleado sin ningún problema de segregación. La selección de los materiales está regida principalmente por la disponibilidad, costo, tipo de aplicación y características deseables como fluidez, resistencia, densidad y facilidad para la excavación.

Las principales características que presenta el suelo cemento en estado fresco o fluido son las siguientes:

- La fluidez que presenta permite una fácil colocación sin requerimientos de vibrado y compactación.
- Exhibe gran trabajabilidad.
- Es prácticamente auto-nivelante, lo que reduce los costos de mano de obra y alquiler de maquinaria.
- Presenta auto-compactación.
- Es bombeable.
- No presenta limitaciones en cuanto al espesor de relleno.

- Mantiene gran capacidad de desplazamiento longitudinal.
- No produce vacíos durante su puesta en obra.
- Accede a todos los vacíos de una excavación en forma homogénea, ya que no produce vacíos, por lo cual no pierde volumen.
- Comportamiento en estado fresco similar al de un concreto.
- Se transporta en camión mezclador.

Quienes han trabajado con relleno fluido conocen bien de sus ventajas y de la solución que representa cuando es empleado. Sin embargo, un aspecto que no puede quedar fuera es el aspecto económico, un m³ de relleno fluido cuesta varias veces más que un m³ de relleno tradicional. Pero, no significa que sea más caro, y para tomar una decisión adecuada debe hacerse un análisis costo beneficio considerando las ventajas del relleno fluido y con base en ello tomar la mejor decisión.

Varios proyectos construidos y estudios han comprobado la viabilidad económica del relleno fluido y son aspectos relevantes los tiempos de ejecución, la reducción en las dimensiones de las zanjas, la disminución de las dimensiones de las bases, las condiciones de lluvia que afectan a los rellenos tradicionales y no al relleno fluido.

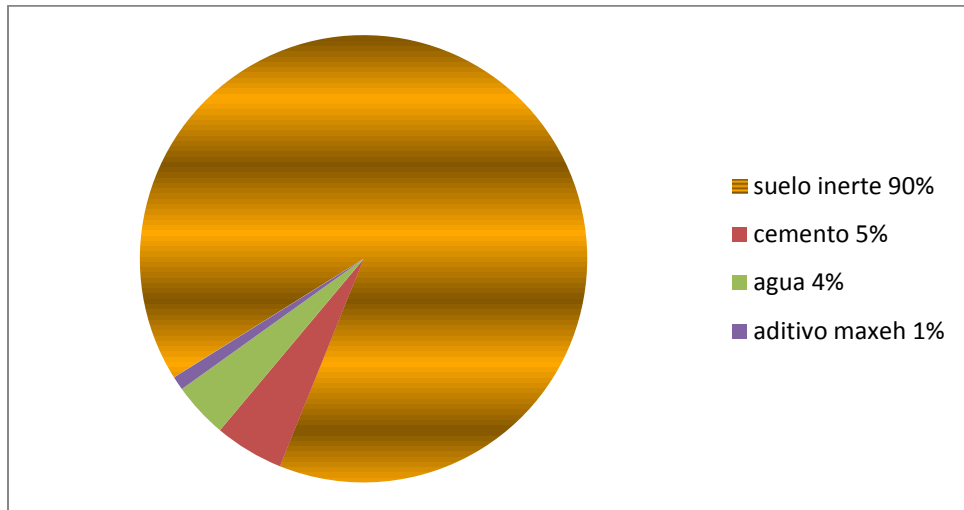


FIGURA 4: Porcentajes de materiales utilizados para la elaboración de un suelo cemento fluido.

2.5.- LÍMITES DE PLASTICIDAD.

Los límites de plasticidad lo fijan el límite líquido y el límite plástico del suelo. Ambos límites están representados por un por ciento de humedad y tiene el siguiente significado físico:

Límite líquido: Por ciento de contenido de agua en que el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. En otras palabras el límite líquido refleja el punto (% de contenido de agua) en que el suelo comienza a fluir como un líquido.

Límite plástico: Por ciento de contenido de agua en que el suelo pasa de un estado rígido (elástico) a un estado plástico.

Con la resta aritmética de ambos límites se obtiene el **índice plástico** o rango de contenido de agua en que el suelo se comporta plásticamente.

Estos límites dependen no solo del contenido de arcilla sino de su tipo y rango admisible para mezclas de suelo-cemento fluido. Se fija como sigue:

Límite líquido < 45%

Límite plástico < 18%

En sentido muy general, para la mezcla de suelo-cemento fluido, definiremos los suelos en dos tipos: *suelos eficientes* y *suelos deficientes*.

Suelos eficientes: Estos son los que naturalmente reaccionan perfectamente ante una proporción relativamente pequeña de cemento y entre estos podemos citar:

- Suelos arenosos y suelos con grava.
- Suelos arenosos con deficiencia de partículas finas.
- Suelos limosos y arcillosos con baja plasticidad.

Suelos arenosos y suelos con grava: Estos suelos con aproximadamente entre un 10% y un 35% de limo y arcilla combinados, tienen las características más favorables y generalmente requieren la mínima cantidad de cemento para un endurecimiento adecuado.

Suelos arenosos con deficiencia de partículas finas: los suelos arenosos con deficiencia de partículas finas, tales como arenas de playas permiten obtener un buen suelo cemento a pesar de que la cantidad de cemento necesario será mayor que para los arenosos normales.

Suelos limosos y arcillosos con baja plasticidad: permiten preparar un suelo-cemento satisfactorio, pero mientras más arcilloso, mayor será el porcentaje de cemento que necesitará nuestra mezcla

Suelos deficientes: estos son los que naturalmente no reaccionan bien ante una proporción relativamente pequeña de cemento, es decir, necesitan mucho cemento para poder endurecer y entre estos podemos citar:

- Suelos limosos y arcillosos con alta plasticidad.
- Suelos orgánicos.

Suelos limosos y arcillosos con alta plasticidad: estos necesitan buena cantidad de cemento debido a su alta plasticidad y poca resistencia.

Suelos orgánicos: son suelos con mucha materia orgánica lo que dificulta mucho el proceso además de que necesitan mucho cemento para poder endurecer no son muy recomendables, es decir, sería mejor no hacerlo con este tipo de suelo.

Suelo ideal: un suelo que sería ideal para la mezcla de nuestro suelo-cemento fluido debe cumplir con varios requisitos con los cuales diríamos que nuestra mezcla fuera casi perfecta y el volumen de cemento fuera mínimo debido a que las deficiencias del suelo fueran mínimas también.

El suelo ideal para una mezcla suelo-cemento debe cumplir con las siguientes características para que dicha mezcla sea de buen funcionamiento y posea cantidades mínimas de cemento:

- Máximo agregado de arena 80% (óptimo del 55% al 75%)
- Máximo agregado de limo 30% (óptimo 0% al 28%)
- Máximo agregado de arcilla 50% (óptimo 15% al 18%)
- Máximo agregado de materia orgánica 3%
- Debe pasar por un tamiz de 4,8 mm (#4)

2.6.- METODOLOGIA EMPLEADA PARA DISEÑO DE LA MEZCLA DE SUELO-CEMENTO FLUIDO.

El suelo por emplear cumplirá con todas las especificaciones de la siguiente tabla, antes de proponerlo para los muros (de contención, de carga y divisorios) de suelo cemento fluido.

CARACTERISTICAS	VALORES
GRANULOMÉTRICAS	
Tamaño Máximo (pulg.)	2
% Partículas mayores al tamaño máximo	0
% De grava	Máximo 10
% De finos	Máximo 30
PLASTICIDAD	
Límite líquido (%)	Máximo 45
Índice plástico (%)	Máximo 10
Contracción lineal (%)	Máximo 2.5
Equivalente de arena (%)	Mínimo 30
DE CAPACIDAD PORTANTE	
VRS estándar (%)	Mínimo 20

TABLA 2: Especificaciones del material, donde se define las propiedades índices como son los valores granulométricos. Datos proporcionada por el constructor.

El Tamaño máximo de las partículas sólidas es de 2 pulgadas. Las partículas mayores a este tamaño deberán ser eliminadas; cuando este porcentaje sea mayor al 10% del volumen total del material, se empleará forzosamente una criba para eliminar dichas partículas. El laboratorio determinará la proporción por usar en cada proyecto. En el laboratorio se preparan muestras con diferentes proporcionamientos, con los suelos del banco seleccionado.

Se sugiere preparar mezclas con 5%, 10% y 15% de cemento respecto a su P.V.S.S. Por metro cúbico de material suelto, secando éste material previamente al sol; este es el rango de valores que usualmente resultan adecuados en los suelos de la república, se cumple con las especificaciones, aunque pudiera haber casos que excedan dichos límites y por lo tanto no deben ser considerados como los proporcionamientos probables o de recurso, sino que se deben de incrementar los porcentajes de cemento, como el caso de esta tesis. Cada mezcla de suelo y cemento se homogenizará lo mejor posible en seco y posteriormente se le aplicará agua para alcanzar la humedad con la que se logrará el revenimiento de 8 a 14 cm.

Uno de los aspectos más importantes de estas mezclas, es utilizar la cantidad de agua mínima necesaria para alcanzar el revenimiento indicado: no debe aplicarse más agua de la necesaria con el afán de buscar una mezcla más fluida y más manejable, ya que en tal caso la resistencia final de la mezcla se ve seriamente disminuida.

Aunque no se puede determinar con precisión la cantidad de agua por aplicar, ya que depende de la naturaleza del material térreo y de la humedad que tenga al momento de la mezcla, es común emplear valores en el rango de 190 a 340 Litros por metro cúbico de material térreo, para revenimientos de 8 a 14 cm. En cualquier caso, el agua que se aplicará tanto en el laboratorio como en el campo, deberá tener 1 ó 5 kgs de endurecedor Maxe-h (se determinará cuál de los 2 porcentajes trabaja mejor), por cada metro cúbico de suelo suelto; el endurecedor se mezclará previamente con el agua por un período de cuando menos 10 minutos, transcurrido los cuales se aplicará el agua a la mezcla de suelo y cemento.

Estos especímenes se colocarán en tres capas en el interior de cada cilindro, acomodando la mezcla mediante un proceso de varillado, aunque se recomienda aplicar también golpes con un martillo de hule en el exterior de cada cilindro.

Las muestras ya terminadas deben curarse en un recipiente o pila con agua si se trata de muestras en condiciones saturadas, o bien manteniéndolas dentro de bolsas de plástico húmedas y cerradas si se trata de muestras no saturadas. Los cilindros se descimbrarán a las 24 horas de su fabricación y se mantendrán con un curado en el recipiente o pila con agua o bien en las bolsas de plástico muy húmedas dependiendo de las condiciones que se trate, es decir, saturadas o no saturadas hasta la edad de prueba.

Se ensayarán en pruebas de compresión simple, dos probetas de cada proporcionamiento: 2 a 3 días, otras 2 a 7 días, otras 2 a 14 días y las dos últimas a 28 días. El proporcionamiento más adecuado será aquél con el que se logre una resistencia a la compresión mínima de 25 Kg/cm² a los 28 días.

Para determinar la evolución de resistencia, los cilindros de prueba también deberán cumplir con los valores indicados en la siguiente tabla, aunque el único valor de aceptación o de rechazo es el de la resistencia a 28 días.

EDAD (DÍAS)	RESISTENCIA MÍNIMA PROMEDIO (kgf/cm ²)	VALOR MÍNIMO EN UNA PROBETA (kgf/cm ²)
3	50% Rp	40% RP
7	75% Rp	65% Rp
14	90% RP	80% Rp
28	100% Rp	90% Rp

TABLA 3: Rp= resistencia de proyecto. Días de ruptura y valores porcentuales. Datos proporcionados por el constructor.

2.7.- LA PRUEBA DE REVENIMIENTO.

La prueba de revenimiento se hace para asegurar que una mezcla sea trabajable. La muestra medida debe de estar dentro de un rango establecido, o tolerancia, del revenimiento pretendido.

El contenido máximo de agua debe limitarse de manera que el revenimiento nominal del concreto o suelo-cemento fluido no exceda de 14 cm. Si se requiere aumentar el revenimiento, este incremento se debe obtener mediante el uso de un aditivo. En caso de que el revenimiento sea inferior al límite especificado, puede aceptarse la mezcla de suelo-cemento fluido si no existen dificultades para su colocación.

Valor nominal del revenimiento (cm)	Tolerancia (cm) NMX	Clasificación de trabajabilidad	Bombeabilidad	Uso común
	C-155			
5	±1.5	Muy baja	No	-
10	±2.5	Baja	No	Concreto masivo, pavimento
14	±3.5	Media	Opcional	Concreto reforzado, vibración interna o externa
18	±3.5	alta	sí	Concreto muy reforzado, vibración muy difícil.

TABLA 4: Porcentaje de tolerancia para las pruebas de revenimiento.

2.8.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.

2.8.1- Aditivos.

El aditivo es un material que se usa como ingrediente en concretos, morteros y actualmente en materiales controlados de baja resistencia para modificar sus

propiedades en tal forma que las hagan más adecuadas para las condiciones de trabajo que se requieran; se añaden antes o durante el mezclado. Los aditivos se deben emplear, como se mencionó anteriormente, cuando se desee producir un cambio específico en las propiedades de las mezclas en estado fresco o endurecido. Existen en el mercado un gran número de productos recomendados como aditivos. Algunos aditivos producen efectos más o menos proporcionales a las cantidades que se emplean, pero otros no. Además, un aditivo puede manifestar efectos secundarios que no siempre son deseables. De aquí, surge la conveniencia de recomendar el ensaye de cualquier aditivo antes de su aplicación en obra.

A continuación se presenta una relación de distintos tipos de aditivos que se pueden emplear en la elaboración de mezclas:

a) Acelerantes:

Aceleran el tiempo de fraguado y/o de la velocidad de adquisición de resistencia en las primeras edades.

b) Retardantes:

Retardan el tiempo de fraguado.

c) Fluidizantes:

Reducen el agua de mezclado (aumentan la resistencia o la fluidez o reducen el contenido de cemento).

d) Incluidores de aire:

Aumentan la durabilidad en condiciones de congelación y deshielo, aumentan la manejabilidad y reducen el agua de sangrado.

e) Estabilizadores de volumen:

Producen una expansión ajustada para contrarrestar la contracción y obtener un volumen estabilizado en espacios abiertos.

f) Expansores:

Producen una expansión incrementada para favorecer el empaque a presión en espacios confinados o para reducir el peso volumétrico.

Los aditivos pueden ser usados cuando las condiciones ambientales en la que se efectuará el colado y el tipo de equipo que se disponga para consolidarlo, dificulten los trabajos y los resultados de los mismos.

Frecuentemente, un aditivo permite la aplicación de métodos de construcción o de diseño menos costosos, para compensar cualquier incremento en el costo debido al uso de un aditivo.

Los aditivos deben de usarse de acuerdo como lo establecen las especificaciones de la ASTM o las NMX. Deben seguirse las instrucciones proporcionadas por el fabricante. Un aditivo debe de usarse en la obra después de haber evaluado apropiadamente sus efectos en el laboratorio; hay que probarlo con los materiales a utilizar y las condiciones del sitio de trabajo.

Los aditivos aplicados al concreto son de la misma naturaleza que los usados para el mortero, y alguno de ellos, como el aditivo inclusor de aire ha sido utilizado en el suelo cemento fluido en cantidad que la mezcla adquiera una alta fluidez, estabilidad de volumen y aligeramiento.

2.8.1.1.- Aditivo Maxe-h.

Es uno de los aditivos que se ha estado aplicando en obras que emplean la mezcla de suelo cemento fluido, es el aditivo Maxe-h, en proporción tal que la mezcla obtenga su característica más notoria, la alta fluidez, y algunas otras como el aligeramiento y estabilidad de volumen.

El aditivo Maxe-h que, en combinación con agua y una porción del cemento estabiliza y petrifica el tepetate.

El aditivo provoca, en una mezcla de tepetate y cemento, una reacción química que petrifica los componentes de la mezcla, dando como resultado un material estable de gran resistencia.

Anteriormente no se había logrado estabilizar el tepetate con las características de resistencia y propiedades físicas y mecánicas que se obtienen al aplicar el aditivo.

Se obtiene una resistencia similar al concreto, con menor cantidad de cemento, obteniendo una mezcla muy económica.

El aditivo Maxe-h es único patentado y probado, que al mezclar tepetate, agua y cemento forma un material muy resistente, similar a la cantera, es un producto no tóxico, envasado en bolsa de plástico (costal) sellada de 25 Kg.



FIGURA 5: Aditivo Maxe-h empleado en la mezcla de suelo-cemento fluido.

2.8.2.- Cemento.

El cemento es un material inorgánico finamente pulverizado, que al agregarle agua, ya sea sólo o mezclado con arena, grava u otros materiales similares, tiene

la propiedad de fraguar y endurecer, una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad.

A falta de un instrumento de medición para saber la calidad del cemento, se recomienda el método la simple observación. El cemento deberá tener una consistencia seca y pulverizada, es decir sin grumos o segmentos sólidos, esto ocurre cuando el envase del cemento ha sido abierto y debido a la humedad ambiental, reacciona y por consecuencia pierde poco o poco la fuerza para consolidar mezclas.

Cuando el cemento es mezclado con agua y arena forma mortero, y cuando es mezclado con arena y grava forma una piedra llamada concreto.

2.8.2.1.- Clasificación.

En México la clasificación de los tipos de cemento está proporcionada por la norma NMX-C-414-ONNCCE-1999, la cual establece lo siguiente:

TIPO	DENOMINACIÓN
CPO	Cemento Portland Ordinario
CPP	Cemento Portland Ordinario
CPP	Cemento Portland Puzolánico
TPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de alto horno
CPC	Cemento Portland Compuesto
CPS	Cemento Portland con humo de Sílice
CEG	Cemento con Escoria Granulada de alto horno

TABLA 5: Clasificación del cemento.

De acuerdo a sus características especiales, estos pueden ser:

NOMENCLATURA	CARACTERISTICAS ESPECIALES DE LOS CEMENTOS
RS	Resistente a los sulfatos
BRA	Baja reactividad alcalina agregado
BCH	Bajo calor de hidratación
B	Blanco

TABLA 6: Características del cemento.

De acuerdo a su resistencia, estos pueden ser: La resistencia normal de un cemento es la resistencia mínima mecánica a la compresión a los 28 días y se indica como 20, 30 o 40 en Newtons por milímetro cuadrado (N/mm²).

2.8.2.2.- Tipos de cemento.

En la república mexicana existe una gran variedad de marcas entre ellas se encuentran: Cemento Cruz Azul, Cemento Apasco, Cemento Tolteca, Cemento Moctezuma, Cemento Monterrey, etc.

- **Cemento Portland Compuesto CPC30R.**

Excelente desempeño, mayor desarrollo de resistencia a los 3 días que permite desmoldar o descimbrar en menor tiempo que otros cementos, fraguado óptimo y durabilidad en la construcción de losas de concreto, columnas, castillos, dalas, zapatas, alcantarillados, obras sanitarias y prefabricados de todo tipo. Este cemento es compatible con todos los materiales de construcción convencionales como arenas, gravas, mármol, cantera etc., así como los pigmentos y aditivos,

siempre que se usen con los cuidados y dosificaciones que recomienden sus fabricantes.



FIGURA 6: Cemento Portland Compuesto.

- **Cemento Portland Compuesto ImpercemCPC30R IMPERCEM.**

Cemento con las mismas características y prestaciones de un CPC 30R, teniendo la cualidad de repeler el agua. Su uso es recomendable para toda obra y especialmente para aquellas en las que los elementos de concreto estarán expuestos a ambientes húmedos ya que brinda protección desde los cimientos, muros, y techos, produciendo excelentes resultados en la protección contra la humedad. El uso del Cemento Impermeable (baja absorción de agua) evita la aparición de salitre y moho, desprendimiento de aplanados o pintura de muros y techos a causa de la humedad, deterioro de las instalaciones eléctricas y de varillas. Disponible solo en el Estado de México.



FIGURA 7: Cemento Portland Compuesto Impercem CPC30R.

- **Cemento Portland Compuesto Extra CPC30R EXTRA.**

Cemento con las mismas características y prestaciones de un CPC 30R, teniendo mayor reducción en la aparición de grietas generadas por contracción plástica que se promueven en condiciones ambientales extremas de alta temperatura y velocidad del viento. Brinda a las mezclas de concreto mayor cohesión, adherencia y trabajabilidad, aún con agregados problemáticos. Reduce el sangrado y la segregación de las mezclas de concreto.

También sustituye el uso de membranas de curado, al promover por sí mismo el proceso de curado, lo que representa ahorros significativos en las obras al evitar trabajos por acciones preventivas y/o reparaciones posteriores. Disponible solo en el estado de Querétaro.



FIGURA 8: Cemento Portland Compuesto CPC30R EXTRA.

- **Cemento Portland Compuesto Blanco CPC30RB.**

Excelente para obras ornamentales o arquitectónicas como: fachadas, monumentos, lápidas, barandales, escaleras etc. Gran rendimiento en la producción de mosaicos, terrazos, lavaderos, tirolés, cerámicos etc. En fachadas y recubrimientos de muros permite ahorrar en gastos de repintado. Este producto puede pigmentarse con facilidad; para obtener el color deseado se puede mezclar con los materiales de construcción convencionales, siempre y cuando estén libres de impurezas. Por su alta resistencia a la compresión tiene los mismos usos estructurales que los cementos grises.



FIGURA 9: Cemento Portland Compuesto Blanco CPC30RB.

- **Cemento Portland Resistente a los Sulfatos CPP30RS.**

Este cemento proporciona mayor resistencia química para concretos en contacto con aguas o suelos agresivos (aguas marinas, suelos con alto contenido de sulfatos o sales). Recomendable para cualquier tipo de obra y en especial para la construcción de presas, canales, drenajes municipales y obras subterráneas.



FIGURA 10: Cemento Portland Resistente a los Sulfatos CPP30RS.

- **Cemento Mortero.**

Diseñado para producir mezclas de plasticidad y trabajabilidad óptima y con la resistencia adecuada para utilizarse en trabajos de albañilería como: juntéo o pegado de bloques, tabiques, ladrillos, piedra y mampostería; aplanado, entortado, enjarres, repellado y resanes; firmes, plantillas y banquetas. No debe utilizarse en la construcción de elementos estructurales.

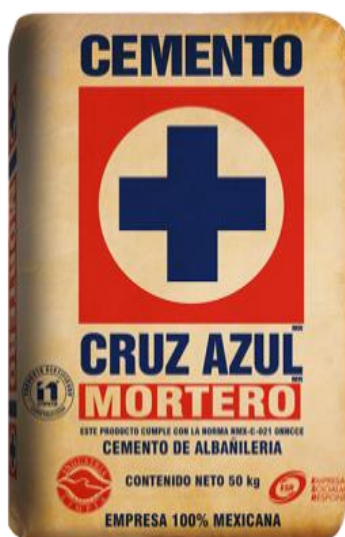


FIGURA 11: Cemento Mortero.

2.8.3.- Suelo.

La inspección del suelo también deberá observarse que no contenga grumos o partículas orgánicas como raíces, tierra vegetal, etc., esto indica que está contaminado, que fue extraído de capas superficiales inferiores a los 2 metros o que lo mezclaron con capas superficiales del sitio.



FIGURA 12: Inspección del suelo (tepetate), para elaboración de suelo-cemento fluido.

2.8.4.- Agua.

El agua deberá ser limpia y libre de materia orgánica, este elemento es de muy sencilla observación, pero habrá de checar la calidad, en caso de duda es recomendable añadir productos sanitizadores como yodo y cloro comercial para limpieza de ropa, esto elimina bacterias y microorganismos en suspensión.

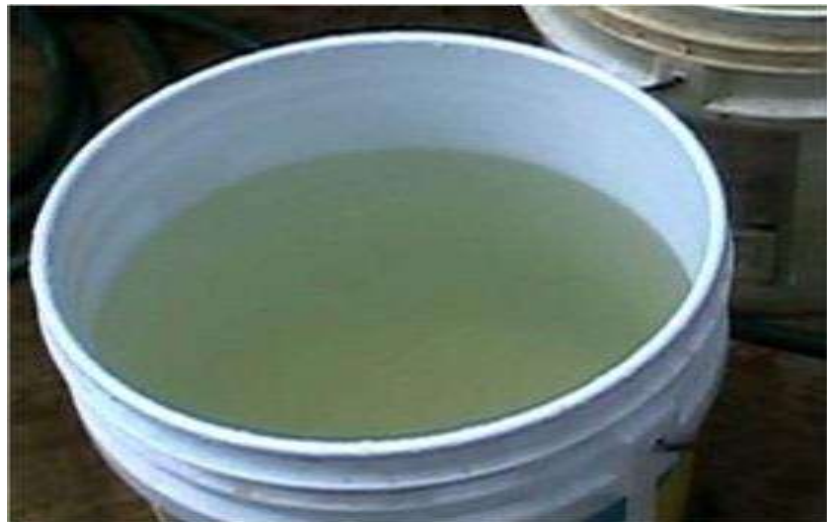


FIGURA 13: Agua limpia y libre de materia orgánica.

2.9.- MUROS DE CONTENCIÓN.

Los muros de contención se utilizan para detener masas de tierra u otros materiales sueltos cuando las condiciones no permiten que estas masas asuman sus pendientes naturales. Estas condiciones se presentan cuando el ancho de una excavación, corte o terraplén está restringido por condiciones de propiedad, utilización de la estructura o economía. Los muros de contención se conformarán con una mezcla de suelo cemento fluido debidamente proporcionada y mezclada de acuerdo con los procedimientos generales indicados.

En el periodo de preparación de la obra, una vez que el anteproyecto define la necesidad de construcción de muros de contención, se realiza el estudio de los diversos bancos de materiales disponibles sobre la obra o en la proximidad de ésta en el caso que resulte económicamente conveniente. Con la muestra de suelo de los diferentes bancos, se realizan en el laboratorio series de pruebas para la identificación de los mismos a manera de escoger el o los bancos de materiales más favorables, dando la prioridad a los que presente el mayor peso volumétrico y el menor contenido de finos. Finalmente, se prepara en el laboratorio de control de calidad o de mecánica de suelos varias series de probetas con mezcla de suelo cemento fluido, haciendo variar tanto la proporción de cemento como el revenimiento. Se realizan ensayos a compresión junto con las mediciones de peso volumétrico a diferentes edades y se dibujan las curvas de estos resultados en función de la proporción del cemento y del revenimiento. De manera paralela al estudio anterior, se realiza la determinación en laboratorio de los pesos volumétricos secos máximos con pruebas Proctor o Porter sobre las muestras de suelos disponibles correspondientes a los diferentes bancos de material destinados a utilizarse en los rellenos controlados para terraplenes, sub-base o bases de vialidad. Determinando los datos anteriores se realiza el diseño de muros de contención con suelo-cemento fluido.

2.9.1.- Aplicaciones en obra sobre muros de contención.

El suelo-cemento fluido es aquel que se prepara como un concreto fresco y se cuela dentro de los lugares deseados, por lo que no es necesario compactarlo con maquinaria pesada. El proporcionamiento de cemento debe ser determinado por un laboratorio encargado de proporcionar los datos necesarios para la realización del proyecto deseado.

Las dimensiones de cada muro de contención de suelo cemento deberán ser estipuladas claramente.

Estas dimensiones son:

- Altura total.
- El ancho de la base.
- La inclinación de caras exteriores.
- El escalonamiento (en caso de que sea factible y recomendable).
- El ancho de la corona.
- La profundidad de empotramiento
- El nivel de despalme.
- La inclinación o peralte de la base.
- La altura total está en función de los niveles del proyecto y no es objeto de cálculo.
- El ancho de la base será determinada con un análisis de estabilidad del sistema.

Este análisis debe incluir la revisión de los siguientes aspectos:

- Volteo.
- Deslizamiento
- Presiones verticales transmitidas al terreno.

- Resistencia al corte de secciones a diferentes alturas.

El ancho de la corona no tiene que ser siempre igual al de la base (lo cual solo sucede en muros de sección recta constante) ya que la sección transversal del muro puede ser escalonada. El muro de suelo-cemento es esencialmente una estructura de gravedad, es decir que su estabilidad se debe al peso propio.

Por tal motivo cuando se emplean materiales ligeros para su construcción, el ancho de la base es mayor al que se requiere cuando se utilizan materiales de peso normal o pesados.

Otra consideración de diseño es la siguiente: ninguna zapata de cimentación debe quedar desplantada simultáneamente sobre los rellenos compactados convencionales que son retenidos por el muro de suelo-cemento y sobre el propio muro, ya que la compresibilidad de ambos materiales es radicalmente diferente; por tal motivo, el ancho del muro o de ciertos escalones también estarán detenidos por la geometría y ubicación de las zapatas de las estructuras cercanas a dicho muro.

2.9.2.- Altura libre del muro.

Sera variable para adaptarse a los niveles del proyecto. Esta variación se hará de forma escalonada, por tramos.

2.9.3.- Pendientes de la base.

La pendiente longitudinal de la base será inferior al 2% y preferentemente horizontal; si la pendiente del terreno en esta misma dirección es superior a este valor, la base del muro deberá escalonarse en sentido longitudinal.

La pendiente transversal será del 2%, descendiendo del frente del muro hacia su respaldo, es decir tendrá una contrapendiente. Nuevamente es este caso, si la

pendiente del terreno es superior a este valor, la base del muro deberá escalonarse en sentido transversal.

2.9.4.- Inclinación de las caras del muro.

Dado que se utilizara cimbra en ambas caras, la inclinación de la frontal del muro podrá ser vertical para cualquier altura del muro.

Con el fin de reducir el volumen de suelo-cemento, se podrá escalonar la cara interna del muro para reducirla desde la base hasta la corona.

ALTURA TOTAL (m)	INCLINACIÓN
10	Vertical
10.01 A 15	0.10 A 1
15.01 A 20	0.20 A 1
20.01 A 23	0.30 A 1

TABLA 7: Altura e inclinación del muro de contención. Datos proporcionados por el constructor.

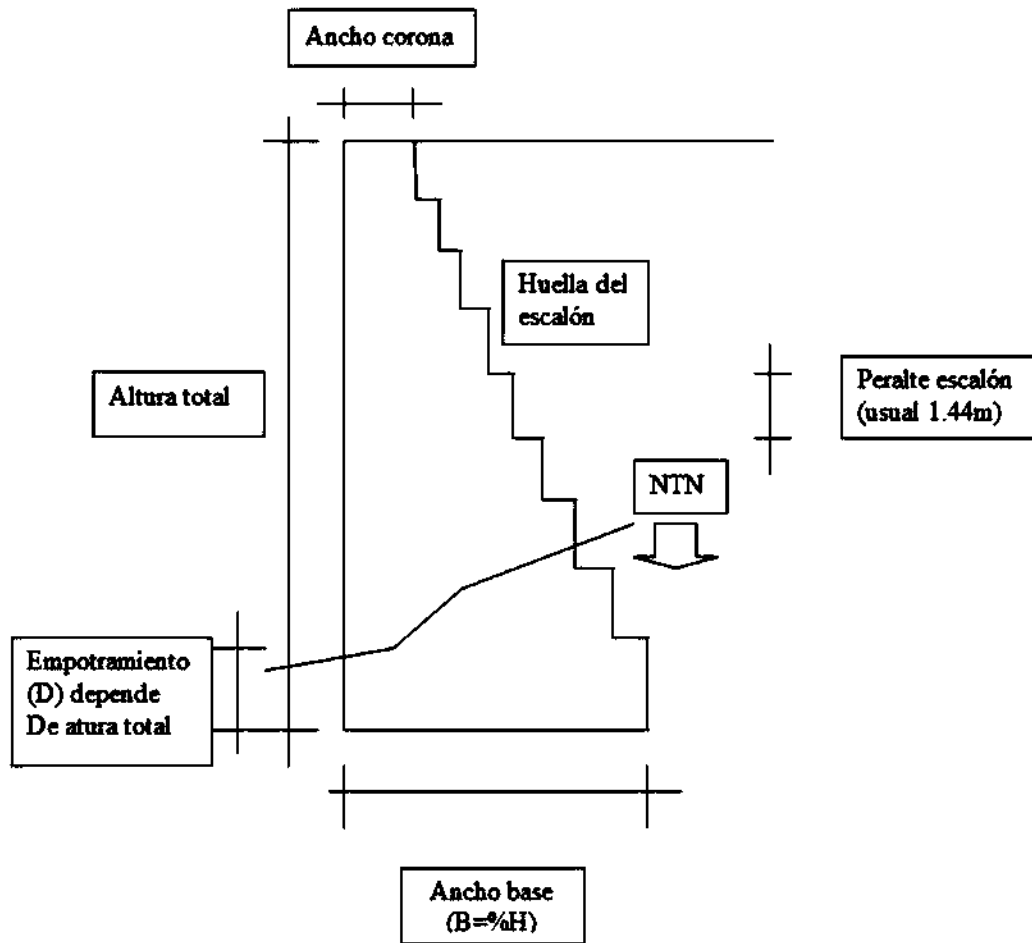


FIGURA 14: Características del muro de contención.

En tal caso, el peralte de cada escalón se recomienda que sea de 30cm como mínimo y de 1.44m como máximo, siendo esta última la altura típica de las hojas de triplay que se utilizan como cimbra; el uso de menores peraltes permite reducir los volúmenes de suelo-cemento con el consiguiente ahorro, por lo que siempre se buscará reducir al máximo sin exceder el mínimo indicado. También es recomendable no efectuar cambios abruptos en el peralte de los escalones, buscando que dichos cambios siempre sean graduales.

2.9.5.- Ancho de la corona.

En los muros de sección recta constante el ancho de la corona será igual al ancho de la base. En los muros de sección escalonada, el ancho mínimo recomendable para la corona será el que se detalla en la tabla 8, aunque podrá modificarse para adaptarse a las condiciones específicas de cada proyecto.

ALTURA TOTAL (m)	ANCHO CORONA MÍNIMO (m)
6	0.75
6.01 A 15	1
15.01 A 25	1.5

TABLA 8: Altura total y ancho de corona mínimo.

2.9.6.- Desplante de zapatas sobre el muro de suelo-cemento.

Cuando se proyecten zapatas sobre los escalones de los muros de suelo-cemento, los cimientos nunca deben quedar apoyados simultáneamente sobre el suelo-cemento y sobre el relleno compactado convencional: cada zapata debe quedar completamente desplantada sobre la mezcla de suelo-cemento, para lo cual se deberá modificar la sección transversal del muro en la zona donde se encuentran los cimientos.

El cambio de sección deberá ser gradual en planta y deberá implementarse juntas de construcción verticales en los lugares donde se inicie el cambio de la sección transversal.

El escalonamiento de la sección transversal del muro deberá cambiar para adaptarse a la proyección de cada cimiento y lograr que debajo de esta última siempre exista una masa de suelo-cemento.

PLANTA

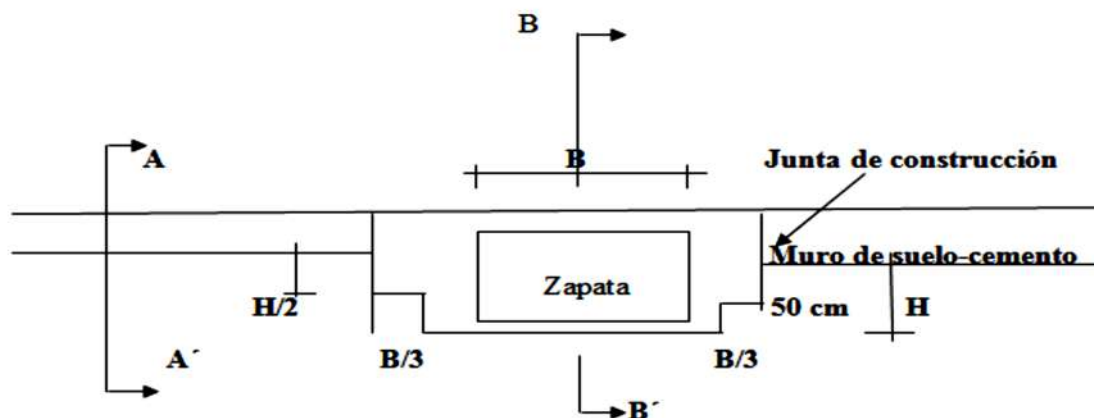


FIGURA 15: Corte de armado de zapata.

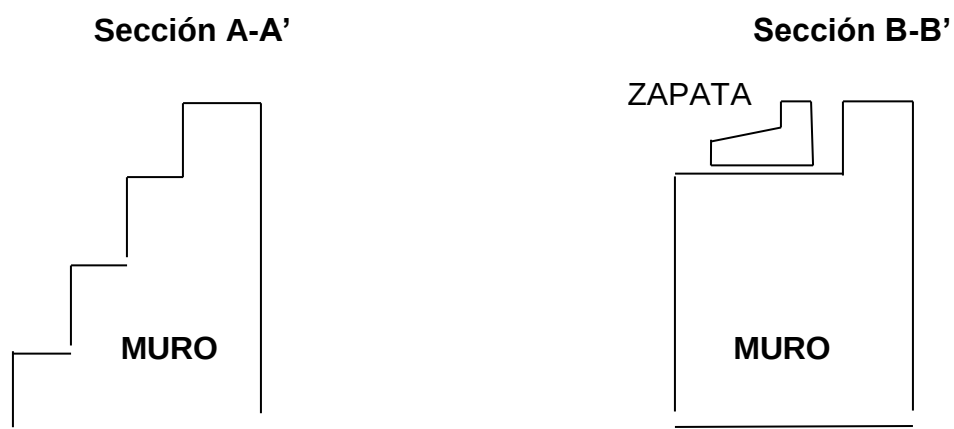


FIGURA 16: Corte en muro de contención y zapata.

2.9.7.- Profundidad de despalme.

La base del muro se empotrará la distancia del 15 % de su altura total ó 0.5 metros, lo que sea mayor. Este empotramiento se medirá a partir del nivel final que tendrá la superficie del terreno, en el pie o frente del muro, debiéndose garantizar que el terreno frente al muro nunca será retirado de su lugar.

Pero además de cumplir con este último requerimiento, se deberá comprobar que la base de cualquier muro nunca quede apoyada sobre: capa vegetal, relleno suelto, escombro, basura, materia orgánica, suelo arcilloso muy blando, suelo gradualmente suelto, suelo expansivo, suelos colapsables o suelos licuables. Se deberá determinar el tratamiento previo del terreno natural, para garantizar que el desplante del muro tiene lugar sobre terreno firme y estable. Por tal motivo el empotramiento podría ser superior al indicado en el párrafo anterior, aunque en principios de economía se podrá sustituir parcial o totalmente el suelo indeseable con relleno compactado convencional construido con material inerte de banco.

ALTURA TOTAL (M)	EMPOTRAMIENTO MÍNIMO (M)
3	0.5
3.01 A 6	0.75
6.01 A 10	1
10.01 A 15	1.5
15.01 A 20	2
20.01 A 25	2.5

TABLA 9: Profundidad de despalme del muro de contención de suelo-cemento.

2.9.8.- Ancho de la base.

Será determinada y depende, entre otros aspectos, de la altura del muro, de las condiciones del suelo de apoyo, del material de relleno, de las sobrecargas en el relleno y en la corona, de la zona sísmica y de las condiciones del agua subterránea en el respaldo. Usualmente se expresa como un porcentaje de la altura total. Para determinar el ancho de la base debe conocer el peso volumétrico de la mezcla de suelo cemento, el cual se supone durante la fase del proyecto porque no se sabe cuál banco de material se utilizará. Es necesario que se indique el peso volumétrico considerado, tanto para el muro propiamente dicho como para el relleno que sostendrá el muro y si son diferentes de los valores que tiene los materiales seleccionados, se deberá revisar la sección propuesta, sobre todo cuando los materiales por emplear sean ligeros o porosos.

2.9.9.- Procedimiento constructivo.

Para la preparación del terreno de desplante se deberá tener las pendientes longitudinal y transversal. Cuando no se haya especificado, la pendiente de la base será como mínimo del 2%, descendiendo del frente del muro hacia su respaldo (figura siguiente).

CORTE TRANSVERSAL

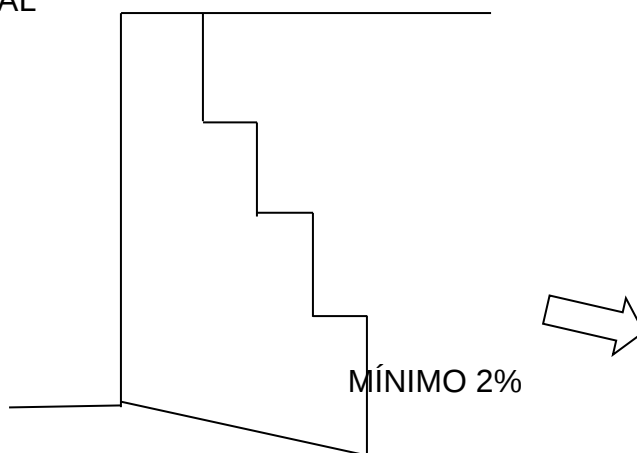


FIGURA 17: Corte transversal.

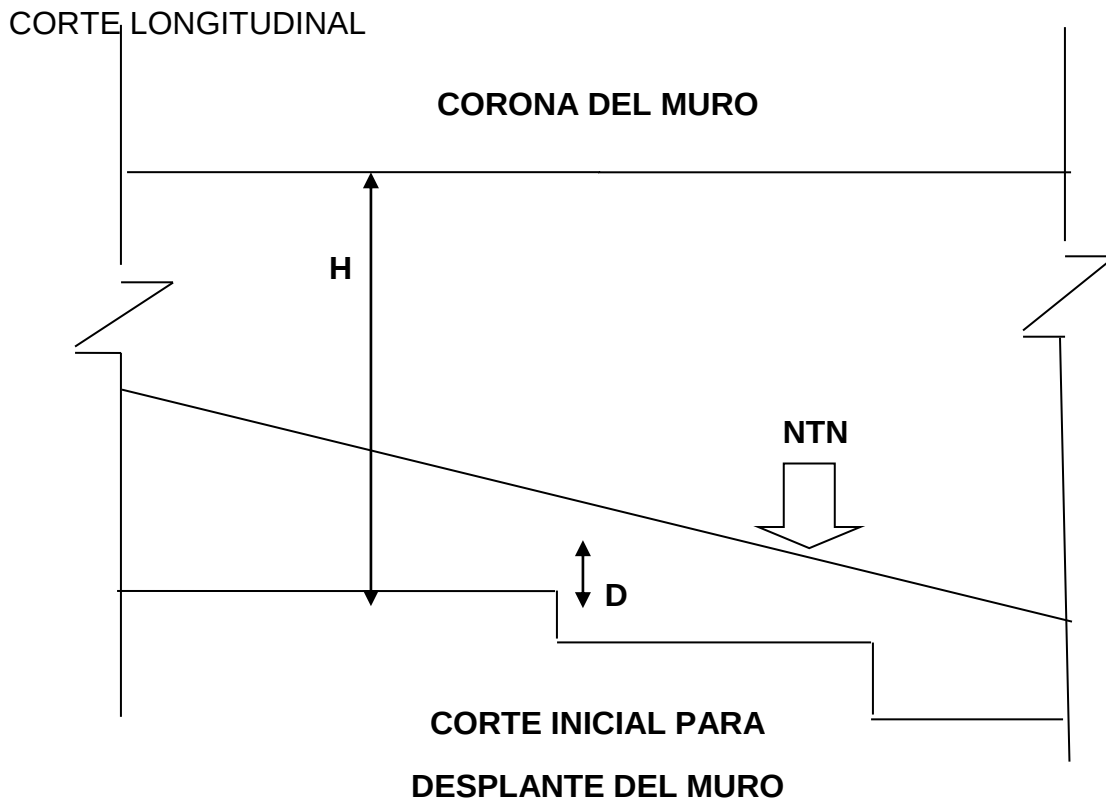


FIGURA 18: Corte longitudinal del muro de contención.

Una vez conformada la superficie de apoyo se barrerá lo mejor posible para eliminar todas las partículas que se hayan desprendido con las labores de corte y limpieza. Antes de colocar la primera capa de suelo-cemento se efectuará el tratamiento del suelo de desplante.

No se deberá abrir tramos que no vayan a ser rellenados el mismo día hasta el nivel que tenían antes de iniciar la excavación, para evitar excavaciones abiertas a la intemperie. Posteriormente se instalará la cimbra que sea necesaria para la colocación de los tramos superiores del mismo muro.

2.9.10.- Cimbra.

Será necesario utilizar una cimbra en el talud exterior del muro para confinar las capas durante su compactación. En las siguientes figuras se muestran ideas de las cimbras por usar.

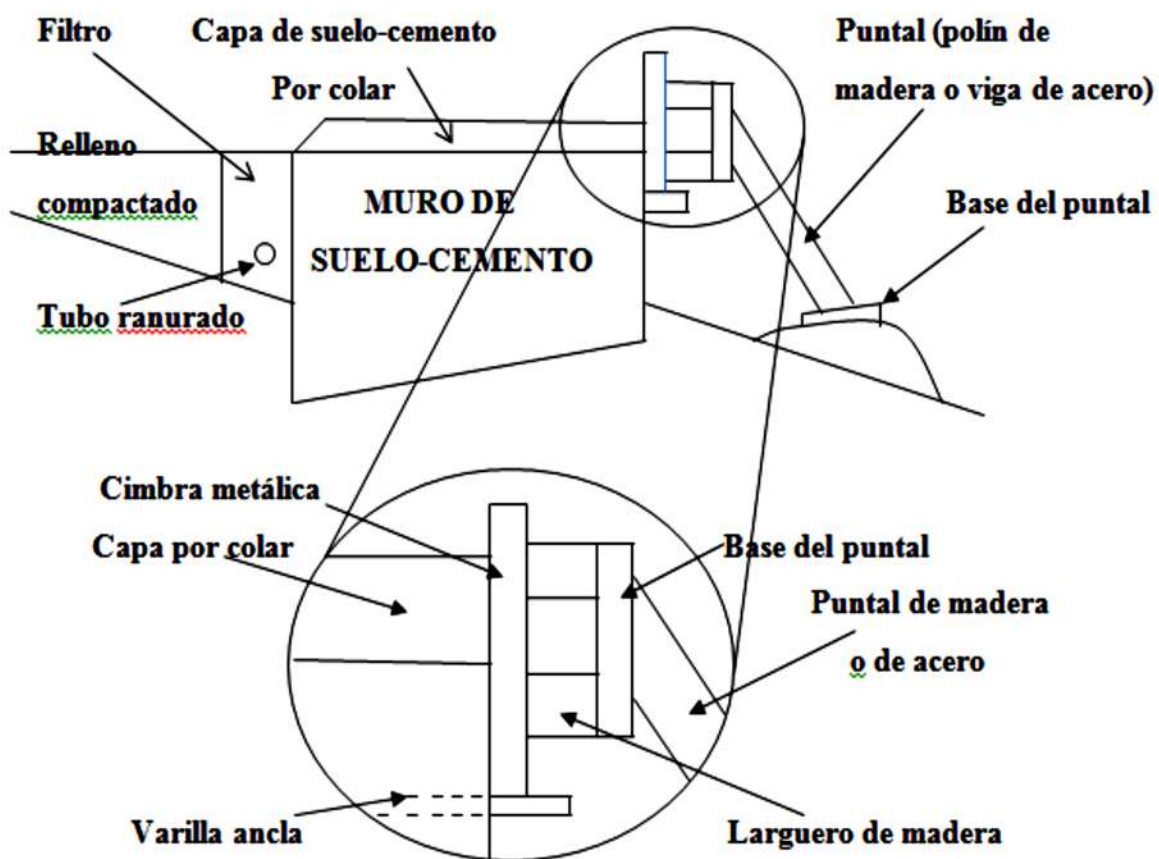


FIGURA 19: Armado de la cimbra.

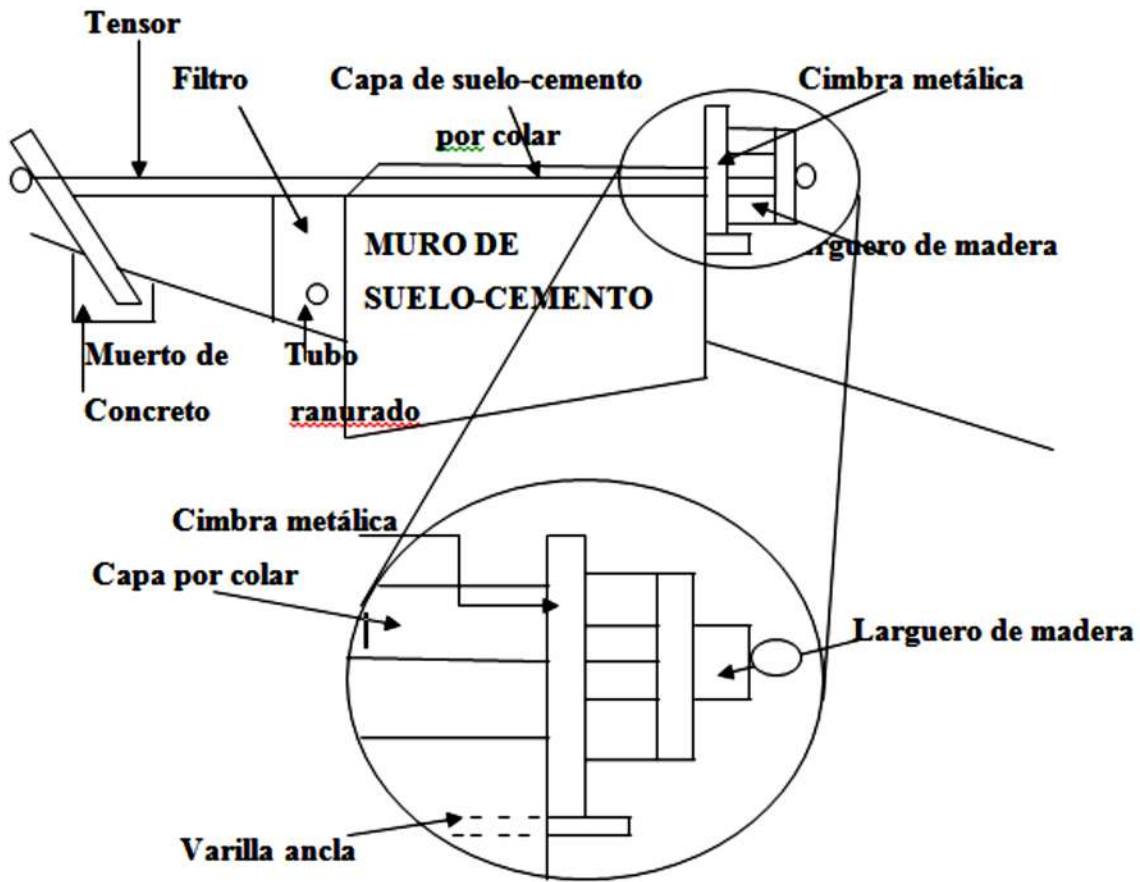


FIGURA 20: Armado de la cimbra.

Se utilizará una cimbra metálica o de madera la cual se apoyará sobre el extremo de las varillas ancla que se mencionan más adelante. Siempre que sea posible, las cimbras se apuntalarán con vigas de acero o polines de madera apoyada en el terreno colindante colocando relleno ligeramente apisonado sobre los que descansarán los polines.

Estos rellenos se podrán construir con productos de banco de buena calidad; también se podrán emplear los materiales de desecho (despalme o relleno de suelo y basura). En los sitios donde el citado apuntalamiento no sea posible, cada

tablero de la cimbra se fijara mediante cables tensores anclados en puntos ubicados dentro de la zona de los rellenos.

Cualquier sistema de cimbra que se emplee deberá ser diseñado considerando la condición de la mezcla fluida que es la más desfavorable.

2.10.- FABRICACIÓN DEL SUELO-CEMENTO FLUIDO PARA APLICARSE EN MUROS DE CONTENCIÓN.

La mezcla de suelo y cemento se hará en seco y cuando se observe que es homogénea, se aplicara el agua la cual deberá tener diluido 1 kg de endurecedor Maxe-h por cada metro cúbico de suelo suelto. La cantidad de agua será la mínima necesaria para que la mezcla adquiera la textura de un concreto fresco con un revenimiento de 8 a 14 cm.

El empleo de materiales porosos, como el tezontle, el jal o el pómez implica un mayor consumo de agua por cada metro cúbico de suelo, ya que las partículas sólidas tienen una absorción alta; en las localidades donde no existan alternativas de materiales no pumíticos, será necesario modificar los procedimientos de preparación de la mezcla de suelo-cemento para no afectar la relación agua/cemento de la misma.

Se colocará la mezcla de suelo-cemento y agua dentro de la excavación hasta que quede nuevamente rellena. Las capas así colocadas deben acomodarse mediante el empleo de vibradores de inmersión, procurando no vibrar en exceso cualquier zona de la capa colocada. La superficie de cada capa se nivelara finalmente con rastrillos naturales. El tiempo de colocación entre la fabricación y el colado no debe exceder a 5 minutos.

La superficie de cada capa de suelo-cemento será como máximo 30 cm con el afán de reducir el empuje de la mezcla fluida sobre la cimbra, aunque el constructor puede utilizar una mayor altura si garantiza la estabilidad de la cimbra.

Deberá considerarse el avance con mayor rapidez en el sentido horizontal de cada colado, para que las capas tengan posibilidad de fraguar antes de colocar la siguiente capa encima de ella.

En general el endurecimiento de la mezcla empieza a ser significativo en el lapso comprendido entre tres y cuatro horas, aunque es importante considerar que la rapidez del endurecimiento es inversamente proporcional a la cantidad de agua que contenga la mezcla.

Es imprescindible que el colado sea lo más continuo posible, sin interrupciones de más de 24 horas, para reducir el efecto de la juntas frías en el suelo-cemento. En cualquier caso, es necesario que la superficie de cada capa tenga una textura rugosa e irregular para ligarla con la capa superior.

Adicionalmente a ello, cuando se vaya a suspender un colado por más de 4 horas como sucede al final de la jornada diaria de trabajo, en las juntas verticales que se recomiendan para el muro o en cualquier otra suspensión vertical y horizontal, es necesario dejar preparación, para ligar dos colados sucesivos.

Esta preparación no es necesaria cuando dos colados sucesivos se hagan el mismo día, en cuyo caso bastará con que la superficie de la capa más antigua tenga una textura rugosa e irregular ligada con la superior.

La preparación a que se hace referencia consiste en colocar cuatro polines de madera de sección cuadrada, de 15 cm al lado, para formar una ranura de 30 cm por lado que se extenderá a lo largo de toda la sección del muro en cuestión, ya sea en dirección horizontal o vertical. La cara exterior de los polines se cubrirá con un polietileno grueso, para evitar que éstos se adhieran al suelo-cemento.

El conjunto de polines y plástico se incrustará en la mezcla de concreto fresco durante un lapso del orden de una hora o el tiempo que se considere necesario en obra para que quede formada la ranura, terminado este tiempo se retirarán los polines y el polietileno para que quede formada la ranura y para evitar que el

plástico y los polines se adhieran al suelo-cemento. El siguiente colado llenará esta ranura ligando la nueva capa de suelo-cemento con la antigua. Dicho tratamiento es indistinto para juntas horizontales o verticales. Se proyectará una ranura por cada 1.50 m de ancho de muro o fracción: en caso de que se requiera más de una ranura, éstas se ubicarán para que se queden equidistantes una de otra en la sección colada y que queden también alejadas preferentemente a 40 cm (con un valor mínimo de 30 cm) de las caras externas de la sección de muro.

CUATRO POLINES DE MADERA DE SECCIÓN

CUADRADA, DE 15cm POR LADO, CUBIERTOS

EN SU CARA EXTERIOR (EN EL CONTACTO

CON EL MURO) CON UN PLÁSTICO GRUESO.

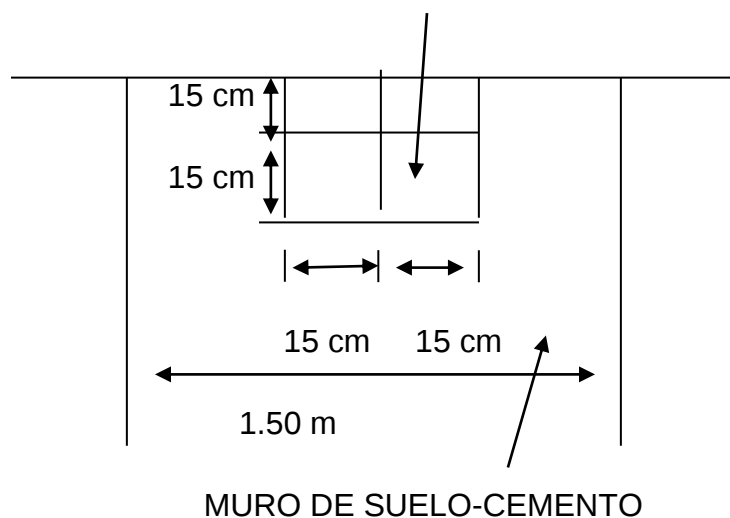


FIGURA 21: Colocación de polines.

2.10.1.- Anclaje de bardas o mallas ciclónicas.

En algunos proyectos se precisa colocar bardas de colindancia, de block o de tabique, sobre la cresta de los muros de suelo-cemento. En tal caso la barda se

desplantaré sobre una zapata de concreto reforzado que a su vez deberá quedar anclada al muro de suelo-cemento, tal y como se muestra en la siguiente figura (figura 22). Las anclas son perforaciones de 3 pulgadas de diámetro colocadas con una separación de 3 m centro a centro. Estas preparaciones deberán quedar alejadas del paño interior de la corona del muro, una distancia horizontal mínima de 30 cm (según se muestra en la misma figura); tal distancia no debe ser mucho mayor a la indicada, para que las anclas generen su función estabilizadora contra el volteo del muro, aunque en cualquier caso será el ingeniero especialista en estructuras quien indicará la posición de dichas anclas. Estas preparaciones se deben hacer durante los colados, dentro del concreto fresco se colocarán tramos de tubo de PVC de 3 pulgadas de diámetro los cuales deben ser retirados en cuanto se inicie el fraguado de la mezcla para que quede la oquedad y para evitar que el tubo se adhiera a la mezcla. No se deben hacer estas perforaciones después de terminar el muro de suelo-cemento, ya que éste puede fisurarse o agrietarse durante dicha perforación.

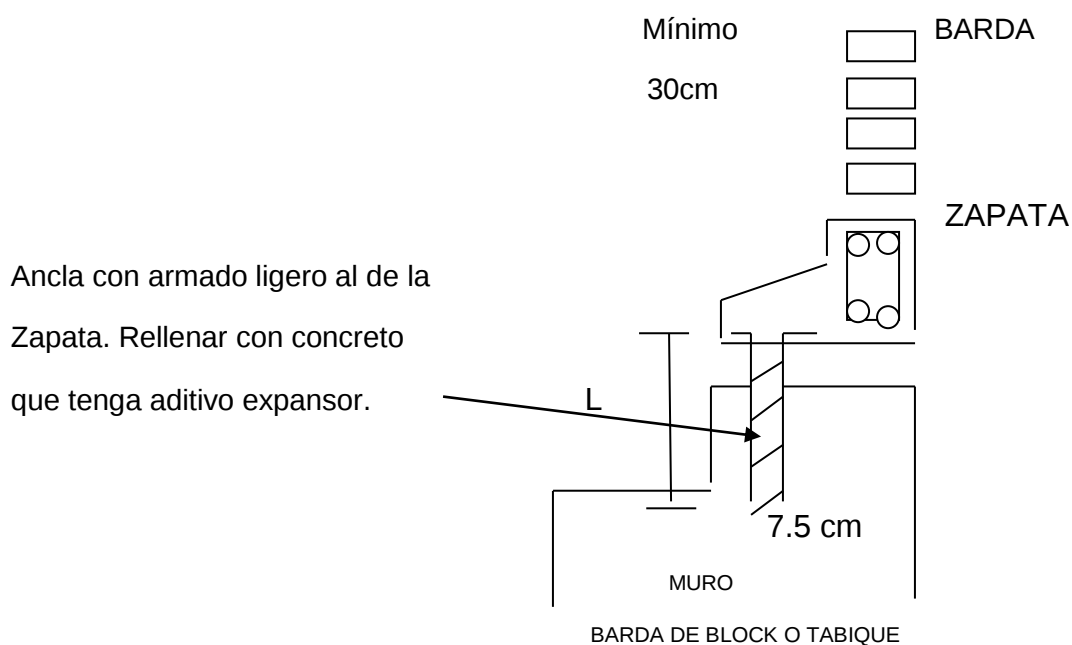


FIGURA 22: Anclaje de zapata.

En el interior de esta preparación se introducirá al armado, el cual deberá quedar anclado al armado de la zapata propiamente dicha y posteriormente se rellenará la perforación con un concreto que contenga un aditivo expansor.

El detalle de los armados, la longitud de anclaje (L), el calibre de la varillas y los traslapes de las mismas, depende de la altura de la barda y de los empujes laterales por sismo y/o por viento a que esté sometida la barda en la zona en cuestión.

Si en el proyecto se considera la colocación de una malla ciclónica, los postes de ésta deberán quedar empotrados dentro del muro de suelo-cemento, según se muestra en la siguiente figura (figura 23). Nuevamente en este caso se dejará una preparación de 3 pulgadas de diámetro colocadas con una separación de 3 m centro a centro. Estas preparaciones deberán quedar alejadas del paño exterior de la corona del muro, una distancia horizontal mínima de 30 cm (según se muestra en la figura 23).

Tal distancia no debe ser menor a la indicada y en este caso si puede ser mayor se recomienda que la preparación quede ubicada cuando mucho sobre el eje central longitudinal de la corona. La longitud de empotramiento de los postes será como mínimo de 75 cm para mallas hasta de 3.50 m de altura; para mallas de mayor altura, deberá consultarse con el ingeniero especialista en estructuras la longitud óptima para dicho empotramiento.

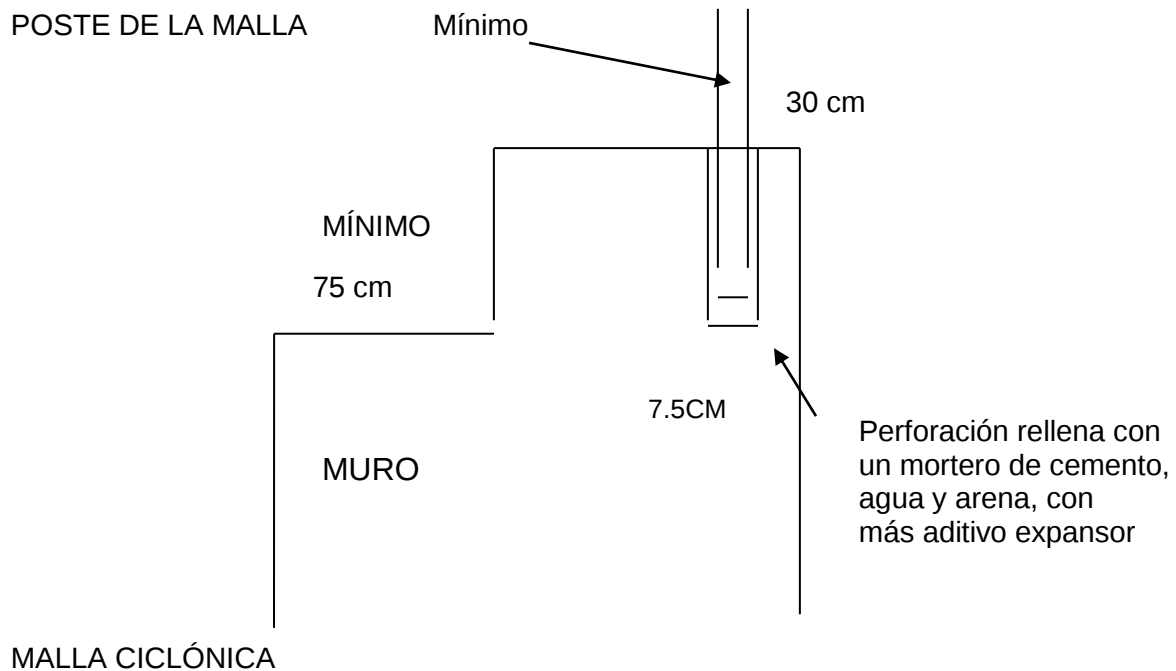


FIGURA 23: Detalle de armado de malla ciclónica.

Estas preparaciones también se deben hacer durante los colados; dentro del concreto fresco se colocarán tramos de tubo de PVC de 3 pulgadas de diámetro los cuales deben ser retirados en cuanto se inicie el fraguado de la mezcla para que quede la oquedad y para evitar que el tubo se adhiera a la mezcla. No se deben hacer estas perforaciones después de terminar el muro de suelo-cemento, ya que éste puede fisurarse o agrietarse durante dicha perforación.

En el interior de esta preparación se introducirá el poste de la malla ciclónica y posteriormente se rellenará la perforación con un mortero de cemento, arena y agua que contenga un aditivo expansor.

2.10.2.- Control de calidad durante el colado.

Se deberá revisar con regularidad la calidad de los materiales térreos y el proporcionamiento. Se deberá efectuar un estudio completo de calidad de los materiales térreos cada 10 días de trabajo si el material es aparentemente el mismo, cada vez que cambie el frente de ataque o la apariencia del producto y cada vez que se cambie de banco o de frente de ataque de un mismo banco.

El proporcionamiento se revisará tomando cilindros de la mezcla fresca a cada 30 m³ de colado o fracción, con un mínimo de una muestra por día de colado. Estas muestras serán de ocho cilindros cada una y se ensayarán 2 cilindros a 3 días, otros 2 a 7 días, otros 2 a 14 días y los 2 últimos a 28 días.

Estos especímenes se colocaran también en tres capas en el interior de cada cilindro, acomodando la mezcla mediante un proceso de varillado, aunque se recomienda aplicar también golpes con un martillo de hule en el exterior de cada cilindro. Las muestras ya terminadas deben curarse manteniéndolas dentro de una pila o recipiente con agua si se trata de condiciones saturadas o bien si se trata de condiciones no saturadas en bolsas de plástico húmedas y cerradas. Los cilindros se descimbrarán a las 24 horas de su fabricación y se mantendrán con un curado en una pila o recipiente con agua si se trata de condiciones saturadas o bien en las bolsas de plástico muy húmedas si se trata de condiciones no saturadas, hasta la edad de prueba. En caso de que se observen indicios a 3 ó a 7 días de una baja resistencia, deberá modificarse inmediatamente el proporcionamiento utilizado para garantizar que el suelo-cemento tendrá la resistencia solicitada.

2.10.3.- Juntas constructivas.

Son juntas de construcción verticales, limitadas por una cimbra, que evitan que los muros se fisuren en zonas no deseadas y que deben ser implementadas obligatoriamente durante la construcción del muro de suelo cemento.

Estas juntas se deberán construir con una separación de 20 cm cuando la sección transversal del muro sea constante y el muro esté desplantado en suelos deformables, tales como; arcillas blandas, arenas y rellenos sueltos, arcillas potencialmente expansivas o sitios en donde el nivel freático se encuentre a menos de 2 m del nivel de desplante del muro, independientemente de si se efectúa algún tratamiento de sustitución de suelo o de re-compactación de los mismos bajo la base del nuevo muro de retención.

Dicha separación se podrá aumentar a 30 cm en suelo poco o nada deformables tale como: rocas sanas o poco alteradas, suelo con gravas y boleos o bloques, arcillas de consistencia firme a dura o depósitos calificados como de maderada fuertemente cementados de cualquier tipo.

También deberán construirse juntas verticales en los sitios donde el muro soporte la presión de algún cimientado como se mostró esquemáticamente en las figuras 15 y 16 de esta tesis y en todos los lugares donde la sección transversal del muro cambie.

2.10.4.- Varillas ancla.

Se colocarán varillas corrugadas de acero de $\frac{3}{8}$ de pulgada de diámetro a cada 90 cm de altura o a cada 3 capas. Estas varillas se ubicarán con una separación de 3 m centro a centro, con un gancho o dobléz a 90° de 30 cm de desarrollo en el interior del muro de suelo-cemento y con una saliente de 5 cm con respecto a la que será la cara exterior del muro.

Las varillas quedarán distribuidas en tresbolillo. La longitud de estas varillas (sin incluir el dobléz mencionado) será de 1 m o del 75% del ancho total de la sección transversal del muro al nivel donde será colocada en la varilla en cuestión, lo que sea menor.

Las salientes de las varillas anclas podrán servir de apoyo a la cimbra que se usará para contener las capas de suelo-cemento durante su colocación. Al terminar el muro las mismas salientes servirán para fijar la protección de la cara expuesta del muro.

2.10.5.- Filtro o sistema de drenaje del muro.

En el respaldo de los muros, ya sean estos de sección recta o escalonada, se deberá construir obligatoriamente un sistema de drenaje que elimine rápidamente el agua que ingrese a los rellenos. El sistema recomendado es el que se detalla en la siguiente figura (figura 24) y siempre será vertical, partiendo del talón del muro.

El sistema consta de un producto geosintético conocido como geodrén que se coloca de manera vertical, el cual capta fácilmente los flujos subterráneos de agua y los conduce hasta un tubo ranurado de PVC cédula 40, de 6 pulgadas de diámetro, que se coloca en la parte inferior del geodrén y que queda cubierto por un filtro.

El espacio que se muestra entre el geodrén y los escalones del muro de suelo cemento, se rellenará con un material granular grueso, preferentemente grava, arena o una mezcla de ellos sin limos ni arcillas. La condición es que el porcentaje de finos (partículas inferiores a la malla #200) sea inferior al 8%, que la grava sea de 1 1/2 pulgadas de tamaño máximo y que la arena esté compuesta por partículas sólidas de más de 0.42 mm (malla #40), es decir que se califique como arena de grano medio a grueso.

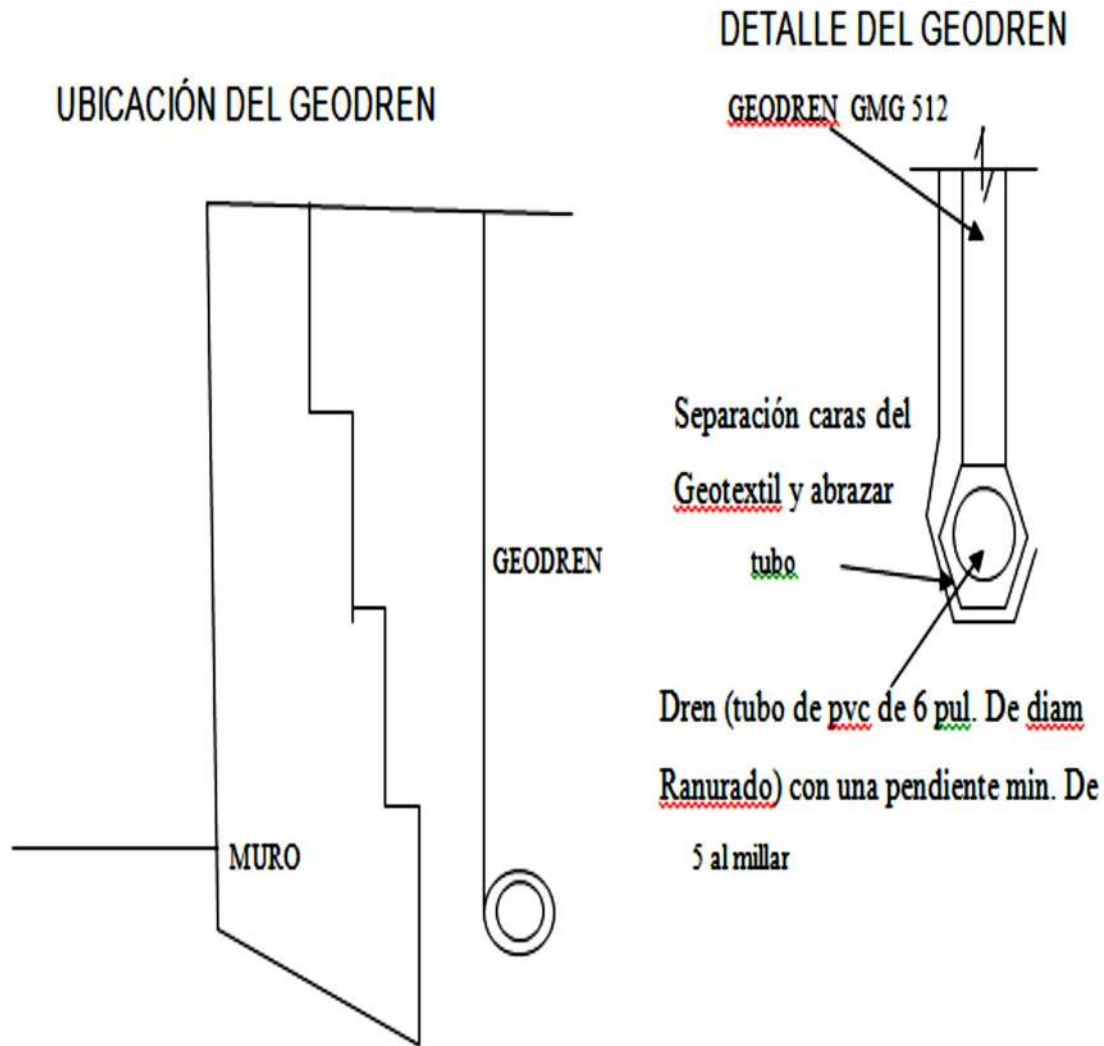


FIGURA 24: Detalle constructivo del geodrén.

2.11.- COMPORTAMIENTO ESTÁTICO DE MUROS DE CONTENCIÓN.

Los muros de contención se clasifican en términos de su masa relativa, flexibilidad y condiciones de anclaje o refuerzo (Figura 25). Los muros de gravedad son de los más viejos y simples estructuras de contención que se conocen, su característica principal es su volumen debido a que son gruesos y bastante rígidos lo que impide

que su cuerpo se flexione, por lo que su movimiento ocurre esencialmente por traslación y/o rotación del cuerpo rígido. Los muros en cantiliver pueden sufrir deformación en ellos mismos así como movimientos por traslación y/o rotación. La distribución de las presiones laterales en este tipo de muros depende de la rigidez relativa y la deformación tanto del muro como del suelo. Los muros reforzados son limitados contra ciertos tipos de movimientos por la presencia de elementos externos de refuerzo. Por ejemplo, en el caso de muros de sótano y muros de lindero de puentes, los movimientos laterales del extremo superior del muro pueden ser restringidos por la estructura que soportan.

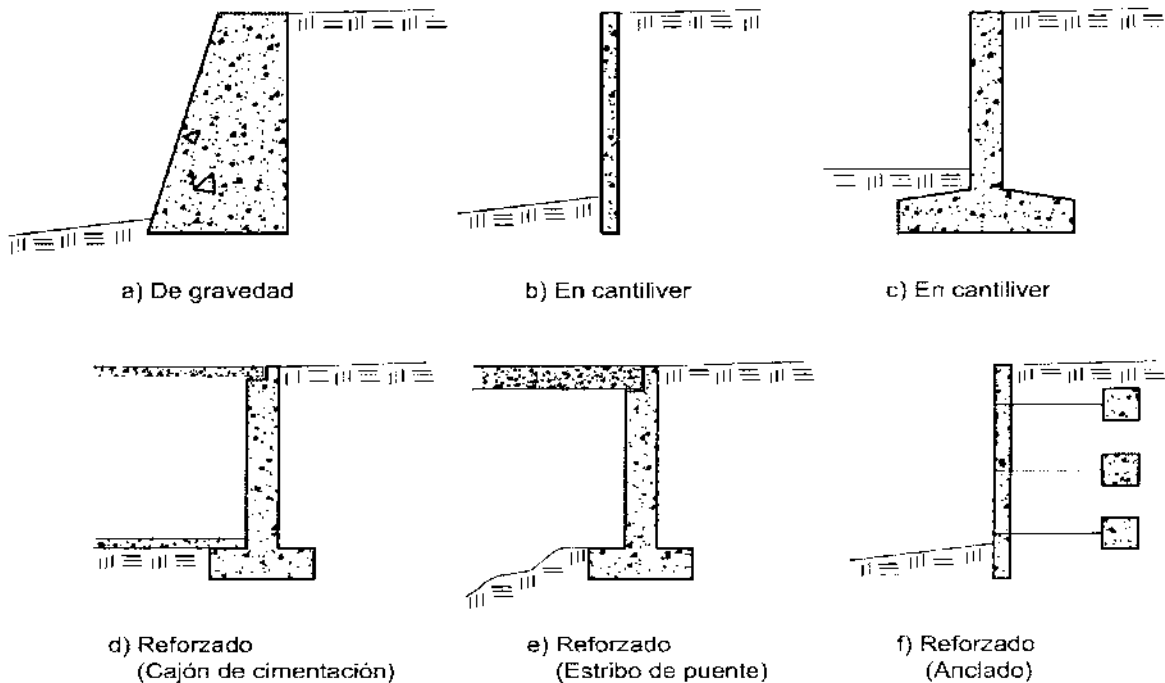


FIGURA 25: Modelos comunes de muros de contención.

Los muros de gravedad fallan generalmente por mecanismos de cuerpo rígido tales como deslizamiento, volteo o por inestabilidad total (Figura 26). a) La falla por deslizamiento ocurre cuando las fuerzas horizontales no se mantienen en equilibrio (es decir, cuando las presiones laterales en el relleno del muro producen contra el muro fuerzas que exceden la resistencia por deslizamiento de la base del

muro). b) La falla por volteo ocurre cuando el equilibrio de momentos no se satisface; involucrándose conjuntamente también la falla por capacidad de carga en la base del muro. c) Los muros de gravedad también pueden ser dañados por inestabilidad total del relleno y terreno de cimentación, tales fallas pueden ser tratadas como fallas en estabilidad de taludes o laderas que abarcan el muro.

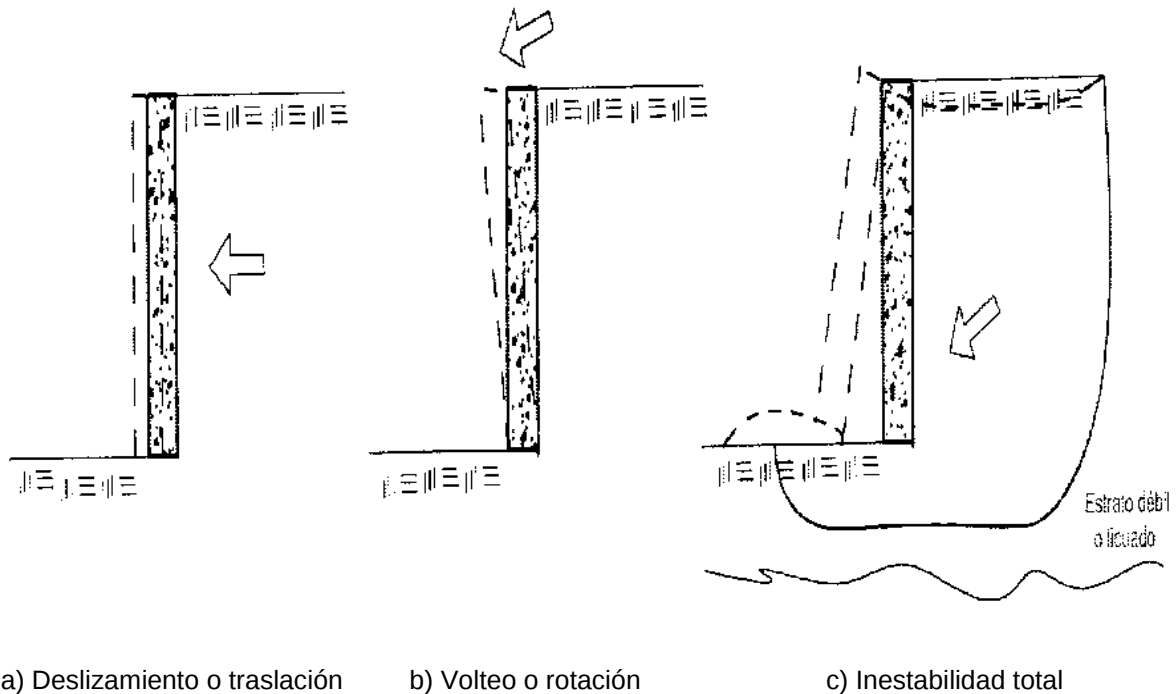


FIGURA 26: Mecanismos típicos de falla en muros de gravedad.

Los muros en cantiliver están sujetos a mecanismos de falla iguales que los muros de gravedad y además a la falla por flexión. Las presiones del suelo y los momentos flexionantes en este tipo de muros depende de su geometría, rigidez y resistencia del sistema muro-suelo (Figura 27 a y b). Si el momento flexionante excede la resistencia a la flexión del muro ocurre la falla por flexión (Figura 27 c).

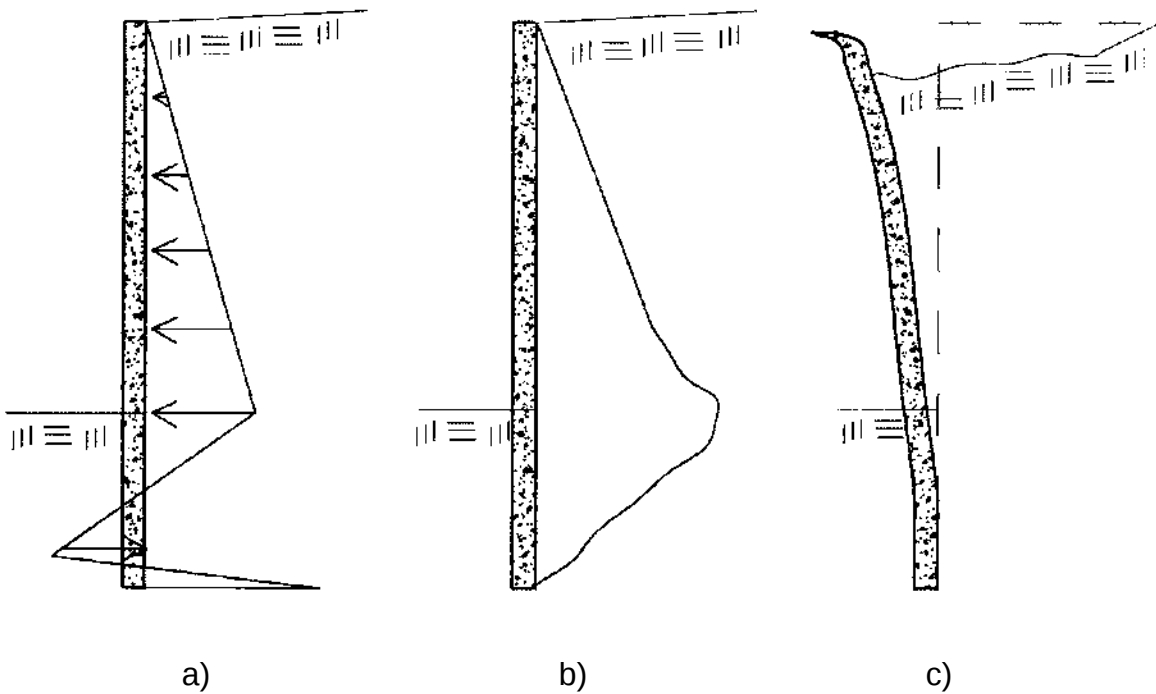


FIGURA 27: (a) Presiones del suelo, (b) momentos flexionantes, (c) mecanismo de falla por flexión en muros en cantiliver.

Los muros reforzados fallan generalmente por inestabilidad total, volteo, flexión y/o por la falla de los elementos de refuerzo. El volteo de estos muros comúnmente involucra la rotación con respecto al punto en que los refuerzos actúan sobre el muro (continuamente en la parte alta en el caso de estribos en puentes, (Figura 28 a). Los muros anclados con una penetración inadecuada pueden voltearse "pateando" la base (Figura 28 b). Asimismo, como en el caso de los muros en cantiliver, los muros anclados también pueden fallar por flexión (Figura 28 c). Actualmente, existen un gran número de aproximaciones simplificadas para evaluar cargas estáticas en muros de contención, como las teorías de Rankine, Coulomb, etc.

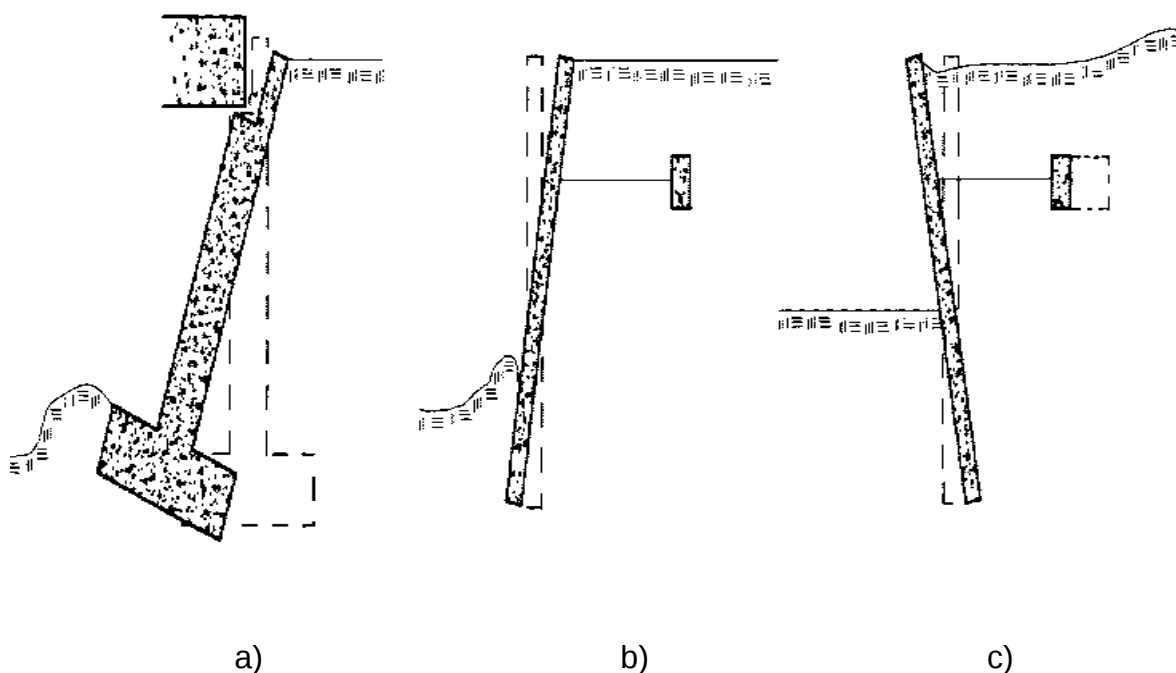


FIGURA 28: Modos de falla potencial de muros reforzados: (a) rotación del estribo del puente en torno a la superior, (b) rotación de la tablaestaca anclada debido a la falta de resistencia pasiva (pateo), (c) capacidad de anclaje inadecuado.

2.12.- MUROS DE CARGA A BASE DE SUELO-CEMENTO FLUIDO.

En esta tesis se pretende alcanzar una resistencia a la compresión simple, similar a la de los muros elaborados con tabique artesanal de barro rojo recocido, juntado con mortero tipo I, II o III, tomando como referencia las resistencias de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (20/10/2015).

Para fines de esta tesis se hace referencia a las siguientes secciones. 2.12.1. (Resistencia de diseño a compresión de la mampostería, sobre el área bruta (f_m^*), a partir de la resistencia de diseño de las piezas y el mortero) y 2.12.2. (Valores indicativos).

2.12.1.- Resistencia de diseño a compresión de la mampostería, sobre el área bruta (f_m^*), a partir de la resistencia de diseño de las piezas y el mortero.

Para piezas de barro con relación altura a espesor no menor que 0.5, la resistencia de diseño a compresión podrá ser la que se obtiene de la tabla siguiente.

f_p^* , MPa (kg/cm ²)	f_m^* , MPa (kg/cm ²)		
	Mortero I	Mortero II	Mortero III
6 (60)	2 (20)	2 (20)	2 (20)
7.5 (75)	3 (30)	3 (30)	2.5 (25)
10 (100)	4 (40)	4 (40)	3 (30)
15 (150)	6 (60)	6 (60)	4 (40)
20 (200)	8 (80)	7 (70)	5 (50)
30 (300)	12 (120)	9 (90)	7 (70)
40 (400)	14 (140)	11 (110)	9 (90)
≥ 50 (500)	16 (160)	13 (130)	11 (110)

TABLA 10: Resistencia de diseño a compresión de la mampostería de piezas de barro (f_m^*), sobre área bruta.

f_m^* = Resistencia de diseño a compresión de la mampostería, referida al área bruta, MPa (kg/cm²)

f_p^* = Resistencia de diseño a compresión de las piezas, referida al área bruta, MPa (kg/cm²).

Para valores intermedios de f_p^* se interpolará linealmente para un mismo tipo de mortero.

Los valores f_m^* de esta tabla son válidos para piezas que cumplen con la resistencia f_p^* señalada en ella y para mampostería con espesores de junta horizontal de 15 mm por ser de fabricación artesanal.

El valor de la resistencia está referido a 28 días. Si se considera que el muro recibirá las acciones de diseño antes de este lapso, se deberá valorar la resistencia para el tiempo estimado

De la tabla anterior (tabla 10) se tiene que, para piezas de barro con $f_p^*=60\text{kg/cm}^2$ juntas con mortero tipo I, II o III, se tiene una resistencia de diseño a compresión de la mampostería (f_m^*) de 20kg/cm^2 y para piezas con una $f_p^*=75\text{kg/cm}^2$ juntado con mortero tipo III se tiene una resistencia de diseño a compresión de la mampostería (f_m^*) de 25kg/cm^2 .

Normalmente los valores de la resistencia de diseño a compresión, sobre el área bruta (f_p^*), de las piezas de tabique de barro rojo recocido están del orden entre 60kg/cm^2 y 75kg/cm^2 , tomando resistencias de diseño a compresión de la mampostería, referida al área bruta (f_m^*), entre 15kg/cm^2 y 25kg/cm^2 , con juntas de mortero tipo I, II o III, por lo que se toman los valores en negrito de la tabla 10.

2.12.2.- Valores indicativos.

Si no se realizan determinaciones experimentales podrán emplearse los valores de f_m^* que, para distintos tipos de piezas y morteros, se presentan en la tabla siguiente.

f_p^* , MPa (kg/cm ²)	f_m^* , MPa (kg/cm ²)		
	Mortero I	Mortero II	Mortero III
Tabique de barro recocido ($f_p^* \geq 6$ MPa, 60 kg/cm^2)	1.5 (15)	1.5 (15)	1.5 (15)
Tabique de barro con huecos verticales ($f_p^* \geq 12$ MPa, 120kg/cm^2)	4 (40)	4 (40)	3 (30)
Bloque de concreto (pesado) ($f_p^* \geq 10$ MPa, 100 kg/cm^2)	2 (20)	1.5 (15)	1.5 (15)
Tabique de concreto (tabicón) ($f_p^* \geq 10$ MPa, 100 kg/cm^2)	2 (20)	1.5 (15)	1.5 (15)

TABLA 11: Resistencia de diseño a compresión de la mampostería, f_m^* , para algunos tipos de piezas, sobre área bruta.

Los valores f_m^* de esta tabla son válidos para piezas que cumplen con la resistencia f_p^* señalada en ella y para mampostería con espesores de junta horizontal de 15 mm por ser de fabricación artesanal.

El valor de la resistencia está referido a 28 días. Si se considera que el muro recibirá las acciones de diseño antes de este lapso, se deberá valorar la resistencia para el tiempo estimado

De la tabla anterior (tabla 11), tenemos que cuando no se tienen valores experimentales, se puede considerar una resistencia de diseño a compresión de la mampostería, referida al área bruta (f_m^*) mínima de 15kg/cm^2 , cuando se tienen tabiques de barro rojo recocido con una resistencia de diseño a compresión de la pieza, referida al área bruta (f_p^*) mayor o igual a 60kg/cm^2 .

De acuerdo a las 2 tablas anteriores y las deducciones hechas, la resistencia a la compresión simple de un muro de carga hecho a base de suelo-cemento fluido, en comparación con un muro elaborado con tabique de barro rojo recocido artesanal y con juntas de mortero tipo I, II o III, debe ser de 25kg/cm^2 , es decir, tomamos la resistencia máxima de las 3 señaladas en las tablas, con el fin de tomar un factor de seguridad.

Por lo tanto, al igual que la resistencia a compresión simple, calculada por el proyectista para el diseño de muros de contención, tenemos que la resistencia mínima a la compresión que se debe de lograr en el diseño de la mezcla de suelo-cemento fluido, tanto para muros de contención como para muros de carga es de 25kg/cm^2 .

En base a que los muros de suelo-cemento fluido son una masa monolítica, es decir, carecen de juntas, con el fin de evitar agrietamientos se recomiendan espesores mínimos de 20cm y castillos de concreto a cada 3.5m de separación como máximo y dadas de cerramiento a cada 2.5m de altura como máximo (recomendaciones del ingeniero especialista en estructuras).

2.13.- VENTAJAS COMPARATIVAS.

Los muros de contención, como los muros de carga y divisorios a base de suelo-cemento fluido colados en sitio son los más económicos porque se utiliza tepetate como agregado principal, el cual es aprovechado para mezclarse con el aditivo Maxe-h y cemento obteniendo una ventaja económica sobre los demás materiales de construcción, teniendo en cuenta que el costo de extracción del tepetate es más bajo que si se usara arena y grava.

Es totalmente compatible con el cemento y con todos los productos que se utilizan en la industria del concreto. Es estructural y su resistencia a la compresión se puede variar de acuerdo a los requerimientos. La mezcla seca (fragua) en un aproximado de 5 horas para descimbrarlo, después de quitar la cimbra solo es necesario un mínimo aplanado con mortero, pasta o yeso para el terminado. No se requiere el uso de arena, ni de grava. El secado (fraguado) es en menor tiempo que los demás materiales de construcción, lo que produce ahorros sustanciales en tiempo y dinero.

En el próximo capítulo se determinarán los contenidos óptimos de suelo, cemento, agua y aditivo Maxe-h, para elaborar 1m^3 de mezcla de suelo-cemento fluido en condiciones saturadas, con el cual se realizará un análisis del costo que tiene éste, en comparación con 1m^3 de concreto con $f'c=150\text{kg/cm}^2$ enfocado a muros de contención. Además de determinarán los contenidos óptimos de suelo, cemento, agua y aditivo Maxe-h, para elaborar 1m^3 de suelo-cemento fluido en condiciones no saturadas con el cual se realizará un análisis del costo que tiene éste, en comparación con 1m^3 de concreto con $f'c=150\text{kg/cm}^2$ enfocado a muros de contención, así como 1m^2 de muro de suelo-cemento fluido en comparación con 1m^2 de muro elaborado con tabique de barro rojo recocido artesanal y mortero, para muros de carga. Así como otras comparativas de precios entre el suelo-cemento fluido y otros materiales, en distintas aplicaciones.

2.14.- METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

El presente trabajo está estructurado en 4 fases:

Fase 1: Consiste en la investigación de los antecedentes del material “suelo-cemento fluido”, para conocer cuando surgió y la aplicación que ha tenido desde su descubrimiento hasta la actualidad.

Fase 2: Se debe realizar el trabajo de campo, es decir, la visita y muestreo del banco de material (tepetate) Torreón Nuevo. Debido a que es un banco de recién apertura, se estudiará el material (tepetate) perteneciente a éste y se determinará si es apto o no para la mezcla de suelo-cemento fluido en condiciones saturadas, para la región de Morelia, así como para condiciones no saturadas.

Fase 3: Consiste en la construcción del marco teórico y la realización de los ensayos de laboratorio, para determinar las propiedades índice y de calidad del material (humedad, granulometría, límites de consistencia, densidad de sólidos, PVSS, VRS, etc.) y la preparación de especímenes con diferentes porcentajes de cemento y aditivo Maxe-h, estos especímenes deben de curarse en una pila o recipiente con agua si se trata de condiciones saturadas o bien con bolsas muy húmedas si se trata de condiciones no saturadas, hasta la edad de prueba. Finalmente determinar la resistencia a la compresión simple de cada uno de los especímenes ensayados a 3, 7, 14 y 28 días y con los resultados determinar los contenidos óptimos de los materiales para el diseño de la mezcla de suelo-cemento fluido, para condiciones saturadas y no saturadas.

Fase 4: Se realizará el análisis y caracterización de los resultados obtenidos durante las pruebas a compresión simple de los cilindros, además el análisis sobre el costo del suelo-cemento fluido en comparación con el costo del concreto en m^3 y con los muros en m^2 , así como otros ejemplos de comparativas de precios entre el suelo-cemento fluido y otros materiales, en distintas aplicaciones, para finalmente obtener las conclusiones, así como la indicación de bibliografías y referencias que fueron útiles en la realización de esta tesis.

3.- PROCEDIMIENTO Y ENSAYE DE LABORATORIO.

3.1.- MUESTREO DEL MATERIAL.

La cantidad de muestras necesarias dependen de la homogeneidad del suelo y la finalidad del estudio.

Deberá tomarse una serie de muestras divididas en todo el frente del material procedente del banco que se menciona en este trabajo de investigación, denominado banco Torreón Nuevo. Previamente se debe de remover la capa superficial intemperizada y posteriormente tomar la cantidad de muestra requerida para realizar las pruebas correspondientes de laboratorio, y así conocer las características y propiedades del material y determinar si es apto o no, para la elaboración del suelo-cemento fluido.

En el banco de material (tepetate) Torreón Nuevo, existe un sólo frente de ataque con un ancho aproximado de 50 metros, se tomaron 2 muestras divididas a cada 10 metros una con respecto a la otra, pertenecientes a un mismo estrato. El material fue colocado en costales y trasladado al laboratorio de mecánica de suelos en el departamento de materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo para su posterior análisis. La cantidad de muestra necesaria para realizar los ensayos de laboratorio es de aproximadamente 150 kilogramos de material.



FIGURA 29: Primer muestreo de material (tepetate) en el Banco Torreón Nuevo.



FIGURA 30: Segundo muestreo de material (tepetate) en el Banco Torreón Nuevo.

El material empleado en este proyecto de investigación, se obtuvo del banco de material Torreón Nuevo, ubicado al norte de la ciudad de Morelia en el estado de Michoacán, a un costado de la carretera Morelia - Copándaro de Galeana en la localidad de Torreón Nuevo. Utilizando para su extracción una pala, colocado en costales para su traslado al laboratorio donde se realizaron las pruebas de calidad para el material.

3.2.- DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE EL USO DE MALLAS.

3.2.1.- Objetivo.

El objetivo de esta prueba consiste en separar por tamaños las partículas del suelo, pasando a través de una serie de mallas de aberturas distintas y de forma cuadrada y pesar las porciones del material retenido en cada una de ellas,

expresando dicho retenido en forma de porcentaje respecto al peso total de la muestra.

La granulometría es el proceso de clasificación de suelos, ya que nos permite separar la fracción gruesa de las finas, además de las características de los tamaños de las partículas del suelo. Para análisis granulométrico de nuestro material utilizaremos las mallas número 4, 10, 20, 40, 60, 100 y 200. Debido a que el material analizado es una arena, es decir, pasa en su totalidad por las malla número 4, únicamente se utilizarán las mallas antes mencionadas.

3.2.2.- Equipo.

- Un juego de mallas del N° 4, 10, 20, 40, 60, 100, y 200.
- Tapa y fondo para el juego de mallas.
- Vaso de aluminio de 1 litro.
- Agitador de varilla metálica de 6 mm de diámetro y 20 cm de longitud.
- Una balanza De 2 kg de capacidad y aproximación al décimo de gramo.
- Charolas, espátulas.
- Cucharon de lámina.
- Cepillo de cerdas.
- Cepillo de alambre delgado.
- Desecador de cristal.
- Horno con termostato para mantener una temperatura constante de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

3.2.3.- Procedimiento.

Se toma una muestra representativa de tepetate previamente secado al sol, disgregada y pulverizada.



FIGURA 31: Proceso de secado al sol del material en estudio.



FIGURA 32: Disgregación y pulverización del material (tepetate).

Se realizara el cuarteo del material tomando una porción representativa con peso aproximado de 15 kg.



FIGURA 33: Cuarteo del material (tepetate).

Se realiza el cribado de la muestra de 15 kg antes mencionada a través de la malla N°4 para verificar si el total del material pasa dicha malla, o si existe algún porcentaje retenido. Como se mencionó anteriormente, para este caso paso el 100% del material.



FIGURA 34: Cribado del material por la malla N°4.

De la muestra cribada por la malla N°4 se realiza un nuevo cuarteo del material (tepetate) y se toman aproximadamente 300 gr de material, posteriormente es secado en horno a una temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. Este paso es para secar completamente el material, se puede realizar en una estufa cuando se requiere agilizar la prueba.



FIGURA 35: 300 gr de material para ser secado.

De la muestra secada en horno o en estufa, se toman 200 gr de material seco para realizar el lavado de finos y se dejan saturar durante 24 horas.



FIGURA 36: Pesado y saturación del material.

Posteriormente se realiza el lavado del material por la malla N° 200, moviendo el material saturado con la varilla metálica en forma de ocho durante 15 segundos para provocar que se desprenda del fondo, posteriormente se hace la decantación sobre la malla N° 200 y se aplica un chorro constante de agua a baja presión hasta que esta salga clara y disgregando los terrones aplicando una suave presión con los dedos.



FIGURA 37: Lavado del material por la malla N°200.

El material que se retiene en la malla se regresa al vaso de aluminio para ser secado nuevamente utilizando el desecador de cristal para corroborar que esté completamente seco. Se realiza el cribado colocando las mallas en orden

decreciente de la N°4, 10, 20, 40, 60, 100, 200 y charola, se coloca la muestra lavada y seca, y se tapa. Se aplica el movimiento al juego de mallas. Este paso se puede realizar en el agitador metálico tipo Ro-tap o manualmente, como fue el caso de esta prueba. Tal y como se muestra en las siguientes figura.



FIGURA 38: Secado del material retenido en la malla N° 200.



FIGURA 39: Colocación y cribado manual del material.

El material (tepetate) se criba en un juego de mallas (de la malla No. 4 a la 200) durante un tiempo de 10 min.

Se procede a pesar el material retenido en cada una de las mallas con aproximación al décimo de gramo, anotando los pesos en el registro correspondiente. Para lo cual se invertirán las mallas con todo cuidado y utilizando cepillo de alambre se limpiarán las mallas 4, 10, 20 y 40 para desalojar el material que se encuentra entre los espacios de la malla, mientras que las mallas, 60, 100 y 200 se limpiarán con cepillo de cerdas.



FIGURA 40: Limpieza de la malla.



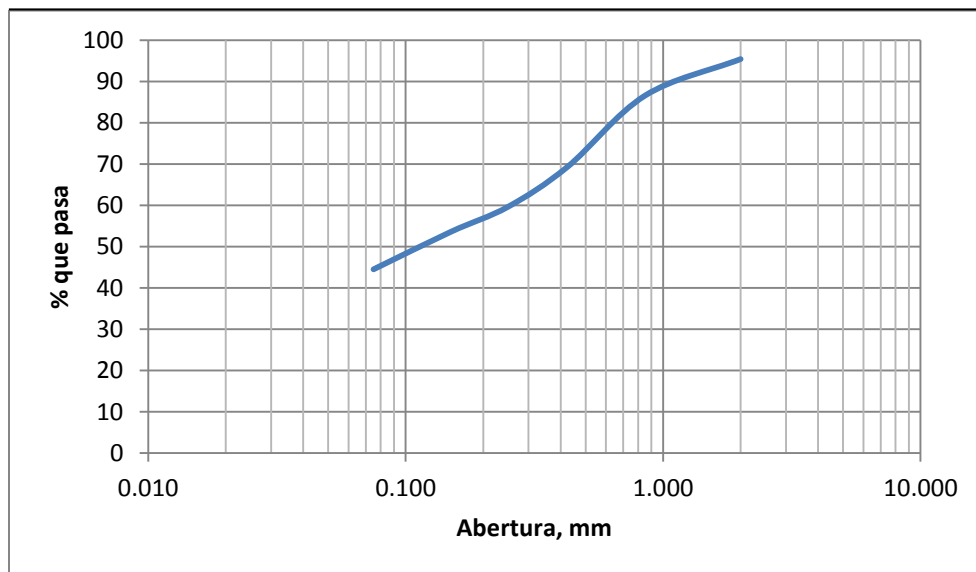
FIGURA 41: Peso del material retenido en las mallas.

RESULTADOS.

A continuación se muestra la tabla de resultados obtenidos en la prueba y su gráfica correspondiente.

Malla N°.	Abertura	Peso suelo retenido	Por ciento retenido parcial	Por ciento que pasa
-	(mm)	(gr)	(%)	(%)
4	4.75	0	0	100
10	2.000	9.2	4.6	95.4
20	0.850	17.7	8.9	86.6
40	0.425	34.5	17.3	69.3
60	0.250	19.3	9.7	59.7
100	0.150	12.1	6.1	53.6
200	0.075	18.2	9.1	44.5
Pasa 200		89.0	44.5	0.0
SUMA		200.0		

TABLA 12: resultados de la granulometría.



GRÁFICA 1: Curva granulométrica del material en estudio.

De acuerdo a los resultados obtenidos se sabe que se trata de una arena ya que más del 50% de material pasa por la malla N° 4 y más del 50% es retenido en la

mallas N° 200, sin embargo, al contener más del 12% de finos no se puede determinar el coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura (Cc). De tal manera que se deben de conocer las características de plasticidad del material fino para realizar la clasificación completa del material.

3.3.- LÍMITES DE CONSISTENCIA Y CONTRACCIÓN LINEAL.

3.3.1.- Objetivo.

Conocer las características de plasticidad de la porción de suelo que pasa la malla N° 40 (0.425mm), cuyos resultados se utilizan principalmente en clasificación de los suelos.

3.3.2.- Determinación del límite líquido.

En la determinación del límite líquido para esta tesis se empleará el método estándar. Este método permite determinar el límite líquido de manera gráfica mediante la curva de fluidez, la que se obtiene uniéndolos los puntos que representan los contenidos de agua correspondientes a diferentes números de golpes, para los cuales la ranura se cierra en la longitud especificada (13mm).

3.3.2.1.- Equipo.

- Cápsula de porcelana de 12 cm de diámetro.
- Espátula de hoja de acero flexible con punta redondeada.
- Cuenta gotas.
- Vidrios de reloj.
- Copa de Casagrande.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.

- Horno.
- Vaso de 0.5 litros de capacidad.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

Se necesitan 250 gr. de material previamente cribado por la malla N° 0.425 (N° 40)
La muestra se coloca en la cápsula de porcelana, se le agrega agua para saturar el material y se deja en reposo durante 24 horas.



FIGURA 42: Material cribado por la malla N°40.



FIGURA 43: Saturación y reposo del material.

3.3.2.2.- Procedimiento.

Se procede a homogenizar la humedad con la espátula, del material preparado de acuerdo a lo anterior.



FIGURA 44: Homogenización del material.

Logrado lo anterior se coloca en la copa de Casagrande, previamente calibrada, una cantidad suficiente de material para que una vez extendido con la espátula se tenga un espesor de 8 a 10 milímetros en la parte central de la muestra colocada. Para extender el material se procede del centro hacia los lados, sin aplicar una presión excesiva y con un número mínimo de pasadas de la espátula.



FIGURA 45: Material extendido en la copa Casagrande.

Se efectuará una ranura en la parte central del material que contiene la copa de Casagrande, con una pasada firme del ranurador, manteniéndolo siempre normal a la superficie de la copa de manera que éste toque el fondo de la copa.



FIGURA 46: Forma de ranurar la muestra.

Se accionará la manivela del aparato para hacer caer la copa, a razón de 2 golpes por segundo y se registra el número de golpes cuando el borde inferior de la ranura se ponga en contacto en una longitud de 13 mm.

Una vez logrado lo anterior se toma aproximadamente 10 gr. De material de copa Casagrande y se coloca en un vidrio de reloj, para obtener el contenido de agua.



FIGURA 47: Porción de material para obtener el contenido de agua.

A continuación y una vez que se ha tomado la muestra para la determinación de la humedad, se regresa a la cápsula de mezclado lo que contiene la copa, se lavan y secan tanto la copa como el ranurador.

Enseguida se agrega agua con el cuenta gotas al material contenido en la cápsula, se homogeniza el material y se vuelven a realizar las etapas anteriores.

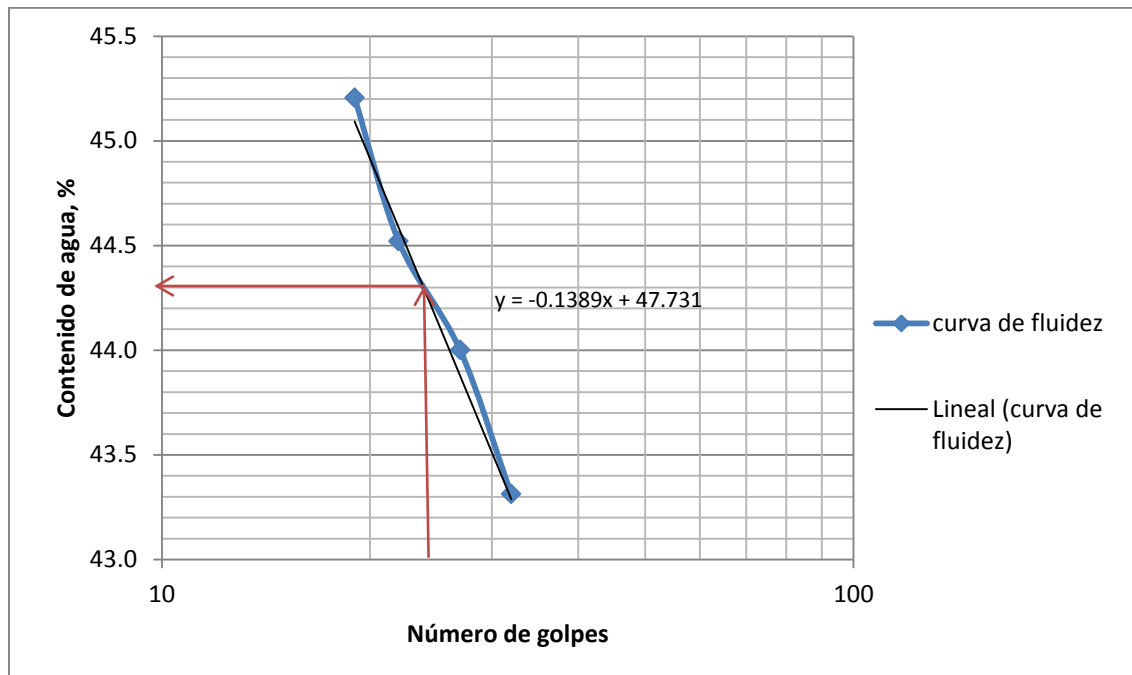
La cantidad de agua agregada al material deberá ser en tal forma que las cuatro determinaciones efectuadas, quedan comprendidas entre 10 y 35 golpes, siendo necesario obtener 2 valores arriba y 2 debajo de 25 golpes. Para consistencias menores de 10 golpes es difícil identificar el momento de cierre de la ranura en la longitud especificada, por otra parte y para más de 35 golpes, se dificulta la ejecución de la prueba. Se obtiene el resultado a partir de la curva de fluidez.

RESULTADOS.

A continuación se muestra la tabla de los resultados obtenidos en la prueba y su gráfica correspondiente.

Prueba No.	Cápsula No.	Número de golpes	Peso cápsula + suelo húmedo	Peso cápsula + suelo seco	Peso del agua	Peso de la cápsula	Peso del suelo seco	contenido de agua (W)
-	-	-	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)
1	1	19	31.4	24.8	6.6	10.2	14.6	45.2
2	7	22	29.6	23.1	6.5	8.5	14.6	44.5
3	16	27	32.9	26.3	6.6	11.3	15.0	44.0
4	26	32	32.9	26.1	6.8	10.4	15.7	43.3

TABLA 13: Muestra los resultados para determinar el límite líquido.



GRÁFICA 2: Curva de fluidez para obtener el límite líquido.

Límite líquido = 44.3%.

3.3.3.- Determinación del límite plástico.

El límite plástico en el suelo se define como el mínimo contenido de agua de la fracción que pasa la malla N° 40, para que se puedan formar con ella cilindros de 3mm sin que se rompan o se desmoronen.

3.3.3.1.- Equipo.

- Cápsula de porcelana.
- Espátula con punta redondeada.
- Placa de vidrio.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Horno.

3.3.3.2.- Procedimiento.

Se toma una muestra del material preparado de acuerdo con la prueba de límite líquido. El material se deberá moldear con los dedos para que pierda la humedad y se formen cilindros. Se enrolla el material hasta formar cilindros aplicando con los dedos la presión necesaria para formar dichos cilindros de 3mm.

Si al alcanzar dicho diámetro el cilindro no se rompe en varias secciones simultáneamente, su humedad es superior a la del límite plástico, por lo cual, se debe de esperar a que alcance la humedad en que se fragmente en varios segmentos. Precisamente en ese momento se colocan los fragmentos en el vidrio de reloj y posteriormente es pesado el material para determinar el límite plástico.



FIGURA 48: Formación y fragmentación de cilindros en su contenido óptimo de humedad.



FIGURA 49: Peso de los segmentos de material.

RESULTADOS

A continuación se muestra la tabla de los resultados obtenidos en la prueba.

Prueba No.	Cápsula No.	Peso cápsula + suelo húmedo	Peso cápsula + suelo seco	Peso del agua	Peso de la cápsula	Peso del suelo seco	contenido de agua (W)
-	-	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)
1	39	12.3	11.5	0.8	8.5	3.0	26.7

TABLA 14: Muestra los resultados para determinar el límite plástico.

Para determinar el contenido de humedad se usa la siguiente formula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo seco}} * 100$$

Límite plástico = 26.7%.

3.3.4.- Determinación del índice plástico.

El índice plástico en suelo mide el intervalo de variación de la humedad dentro del cual el suelo presenta una consistencia plástica, de acuerdo con los conceptos expresados anteriormente.

El índice plástico se define como la diferencia aritmética entre los límites líquido y plástico, se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$IP = LL - LP$$

IP: Índice plástico.

LL: Límite líquido.

LP: Límite plástico.

Índice plástico = 17.6%.

3.3.5.- Determinación de la contracción lineal.

La contracción lineal de un suelo se define como la reducción de un espécimen en forma prismática rectangular en su dimensión mayor.

Se dispone de una muestra preparada como la utilizada para determinar el límite líquido, o bien se aprovecha el material húmedo que ya haya sobrado de la determinación del límite líquido.

3.3.5.1.- Equipo.

- Cápsula de porcelana de 12 cm de diámetro.
- Espátula con punta redonda
- Moldes de lámina galvanizada, con sección 2 por 2cm y 10 cm de longitud.
- Calibrador con vernier del tipo Máuser.
- Horno
- Aceite lubricante.

3.3.5.2.- Procedimiento.

Con el material preparado en las condiciones indicadas se procede a llenar el molde de prueba. El llenado del molde se efectúa en 3 capas, utilizando la espátula y golpeándolo después de la colocación de cada capa contra una superficie dura. Se enrasa el material en el molde utilizado, con la espátula.

Se deja secar el espécimen en condiciones ambientales por 24 horas para evitar su agrietamiento y posteriormente se pone a secar en el horno por 18 horas.

Se extrae del horno de secado el molde con el espécimen, se deja enfriar y se saca la barra del molde.

Finalmente se mide con el calibrador, la longitud de la barra del material seco (longitud final) y la longitud interior del molde (longitud inicial).



FIGURA 50: Muestra las longitudes inicial y final de la barra.

RESULTADOS

A continuación se muestra la tabla de los resultados obtenidos en la prueba.

Prueba No.	Cápsula No.	Longitud inicial	Longitud final	Contracción lineal
-	-	(cm)	(cm)	(%)
1	59	9.97	9.28	6.9

Tabla 15: Resultados de la prueba.

La contracción lineal se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$CL = \frac{Li - Lf}{Li} * 100$$

CL: Contracción lineal, %.

Li: Longitud inicial, cm.

Lf: Longitud final, cm.

Contracción lineal = 6.9%.

3.3.6.- Determinación de la contracción volumétrica.

El límite de contracción es la frontera entre los estados semi-sólido y sólido, quedando definido como el contenido de agua mínimo para el cual el suelo no retrae su volumen aun cuando pierda o se evapore agua.

3.3.6.1.- Equipo.

- Plato de evaporación.
- Cápsula de porcelana de 12 cm de diámetro.
- Espátula con punta redondeada o cuchillo.
- Molde cilíndrico.
- Taza de vidrio.
- Placa de vidrio.
- Probeta.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Mercurio.

3.3.6.2.- Procedimiento.

Se colocan 3 capas de suelo húmedo del utilizado para determinar el límite líquido extendiéndolo del centro hacia los bordes. En cada una de las capas se golpea el

molde contra una superficie plana y dura, con el fin de compactar el suelo y expulsar el aire contenido en la capa de suelo.

Al finalizar las 3 capas, se enrasa y limpia el molde para evitar restos de suelo al exterior del molde. Se procede a obtener su peso en condiciones de humedad.

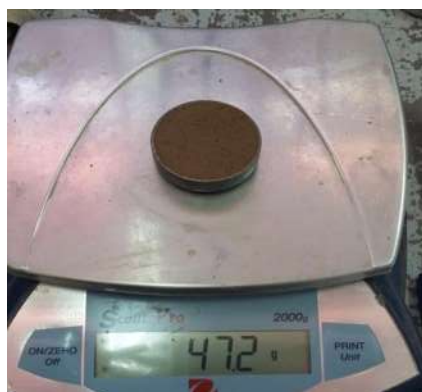


FIGURA 51: Peso del material húmedo.

Secar en condiciones ambientales por 24 horas y posteriormente en horno a una temperatura de 105° C durante 18 horas.

Pesar el molde con suelo seco. Restar el peso del molde determinando el peso del suelo seco (W_s).

Llenar la taza con mercurio hasta el borde, enrasar presionando con la placa de vidrio.

Colocar la taza llena de mercurio sobre el plato de evaporación, colocar la pastilla del suelo sobre la superficie del mercurio y sumergirlo tomando las puntas de la placa de vidrio hasta que esta tope contra el fondo de la taza. Obtener el volumen del mercurio desplazado por la pastilla de suelo, esto se pesa y se divide por la densidad del mercurio ($\rho_{Hg} = 13.55 \text{ g/cm}^3$) registrarlo como volumen de la pastilla de suelo seco (V_s).



FIGURA 52: Colocación de la pastilla de material seco para obtener su volumen.



FIGURA 53: Sumergir la pastilla con la placa de vidrio.



FIGURA 54: Obtener el peso del mercurio.

RESULTADOS.

A continuación se muestra la tabla de los resultados obtenidos en la prueba.

Prueba No.	Cápsula No.	Volúmenes			Peso cápsula + suelo húmedo	Peso cápsula + suelo seco	Peso del agua	Peso de la cápsula	Peso del suelo seco	contenido de agua (W)									
		Vi	Vf	CV															
-	-	cm3	cm3	cm3	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)									
1	15	12.08	9.11	22.82	47.2	41.1	6.1	27.4	13.7	44.5									
<table><tr><td>peso de mercurio</td><td>123.4</td><td>gr</td></tr><tr><td>densidad del mercurio</td><td>13.55</td><td>gr/cm3</td></tr><tr><td>volumen final</td><td>9.11</td><td>cm3</td></tr></table>											peso de mercurio	123.4	gr	densidad del mercurio	13.55	gr/cm3	volumen final	9.11	cm3
											peso de mercurio	123.4	gr						
											densidad del mercurio	13.55	gr/cm3						
volumen final	9.11	cm3																	

TABLA 16: Muestra los resultados obtenidos en la prueba de contracción volumétrica.

Para calcular la humedad del suelo en el momento en que fue moldeado, se utiliza la fórmula siguiente.

$$W = \left(\frac{Wh - Ws}{Ws} \right) * 100$$

W = Humedad del suelo en el momento en que fue moldeado, %.

Wh = Peso del suelo húmedo, gr.

Ws = Peso del suelo seco, gr.

$$W = 44.5\%.$$

Para calcular el límite de contracción del suelo, se emplea la fórmula siguiente.

$$CV = W - \left(\frac{(Vh - Vs) \phi_w}{Ws} \right) * 100$$

CV : Limite de contracción, %.

W : humedad del suelo en el momento en que fue moldeado, %.

V_h : Volumen de la pastilla de suelo húmedo, cm^3 (ml).

V_s : Volumen de la pastilla de suelo seco, cm^3 (ml).

ϕ_w : Densidad del agua, gr/cm^3

W_s : Peso del suelo seco, gr .

$$CV = 22.8\%$$

Con los valores del límite líquido y el índice plástico, se realiza la clasificación del suelo fino entrando a la carta de plasticidad (S.U.C.S).

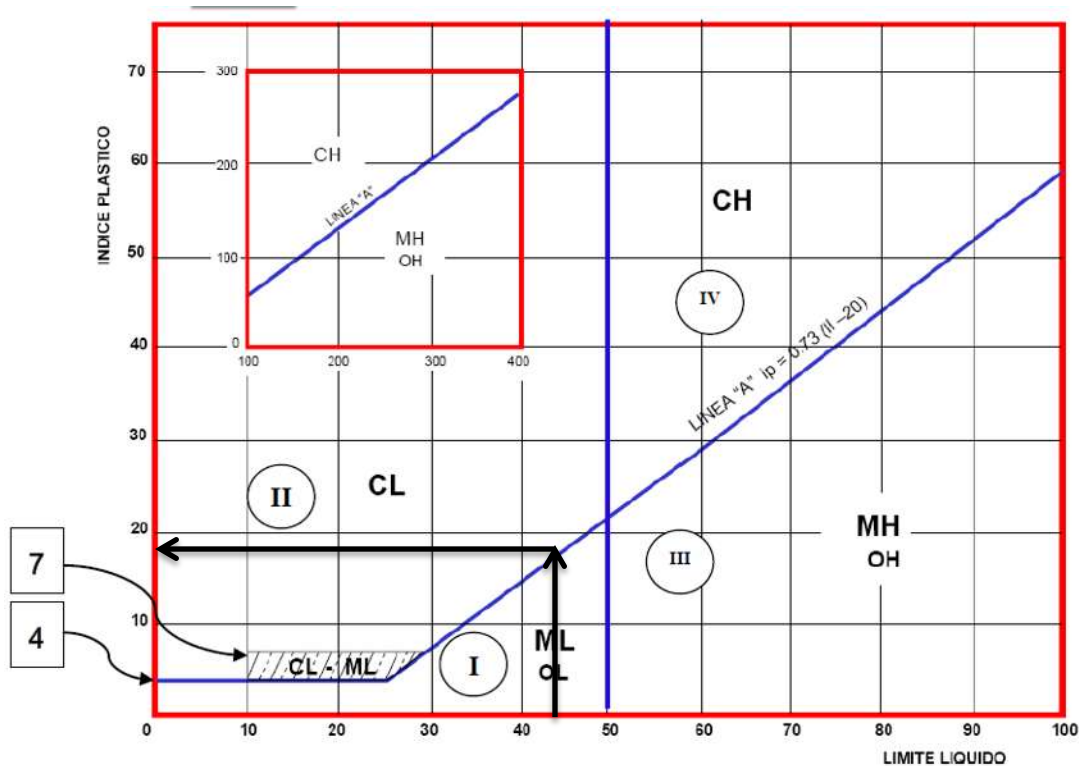


FIGURA 55: Carta de plasticidad (S.U.C.S)

Como se puede observar en la figura anterior el punto de intersección entre el límite líquido y el índice plástico se encuentra en la zona II, se trata de una arcilla inorgánica de baja o media plasticidad.

Por lo tanto, con los resultados obtenidos en las 2 pruebas anteriores (3.2. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE EL USO DE MALLAS) y (3.3. LÍMITES DE CONSISTENCIA Y CONTRACCIÓN LINEAL) se realiza la clasificación completa del material, obteniendo por resultado una arena arcillosa (SC).

Clasificación del material = SC.

3.4.- DENSIDAD RELATIVA DE SÓLIDOS.

3.4.1.- Objetivo.

Esta prueba permite determinar las relaciones masa-volumen de los materiales respecto a la relación masa-volumen del agua, así como la absorción de los materiales y se utilizan para calcular los volúmenes ocupados por el material o mezcla de los materiales en sus diferentes condiciones de contenidos de agua y el cambio de masa del material debido a la entrada de agua en sus poros, con respecto a su condición de estado seco; las pruebas se realizan de distinta manera en la fracción del material retenida en la malla No. 4 (núm. 4.75mm) y en la porción que pasa dicha malla.

Para fines de esta prueba y en base al protocolo empleado en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, para determinar la densidad relativa de solidos se emplearán 50gr de material cribado por la malla N°40 por cada ensaye que se realice. Se realiza un mínimo de 2 ensayes para obtener un resultado promedio, el resultado obtenido es un número abstracto.

3.4.2.- Equipo.

- Malla N°40.
- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Horno capaz de mantener una temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Lienzo o trapo.
- Matraz Calibrado.
- Probeta graduada.
- Termómetro de 0.1°C de aproximación.
- Fuente de calor (estufa).
- Bomba de vacío.
- Espátula
- Capsula de porcelana.
- Embudo.
- Agua destilada
- Molde de Latón o vidrio.

3.4.3.- Procedimiento.

Pesar 50gr de material cribado por la malla N°40.



FIGURA 56: Material cribado por la malla N°40.

Inmediatamente después de preparar la muestra que pasa la malla N°40 utilizando el embudo, se introduce el material en el matraz previamente calibrado. Posteriormente se agrega agua al matraz hasta aproximadamente la mitad de su capacidad.



FIGURA 57: Vertido del material y agua en el matraz.

Utilizando una estufa u otra fuente de calor, se pone en ebullición el agua de matraz durante 10 minutos aproximadamente, moviendo al mismo tiempo el material con el agitador mientras hierve, hasta expulsar el aire atrapado.



FIGURA 58: Expulsión del aire atrapado en el matraz mediante ebullición del agua.

Empleando el dispositivo de succión, se aplica vacío al matraz durante 15 minutos, con el objeto de extraer el aire atrapado en la muestra. Teniendo el cuidado de no succionar el material contenido en el matraz, ya que de lo contrario se tendrán pérdidas de material y será necesario repetir la prueba. La succión máxima que se aplique no será mayor de 0.136 kg/cm^3 .



FIGURA 59: Forma de aplicar succión con la bomba de vacío.

Se deja enfriar el matraz hasta alcanzar la temperatura ambiente y se adiciona el volumen de agua destilada, necesaria para alcanzar la marca de aforo.



FIGURA 60: Llenado del matraz con agua destilada hasta la marca de aforo.

Si se observa alguna anomalía como una variación del nivel del agua en el menisco, se vuelve a aplicar el vacío para asegurar que no haya quedado aire atrapado en la muestra, lo cual ocurrirá cuando ya no se observe ninguna variación en el nivel del menisco; si es necesario, se quitara o agregara agua destilada utilizando el cuentagotas, de tal forma que el nivel inferior del menisco coincida con la marca de aforo.

Se secan cuidadosamente la superficie exterior del matraz y el interior del cuello del mismo, y se tapa. Para esta última operación se emplea un trapo absorbente enrollado, evitando tocar el menisco. Se obtiene la masa del matraz con el material y el agua registrándolo como W_{fsw} , en gr.

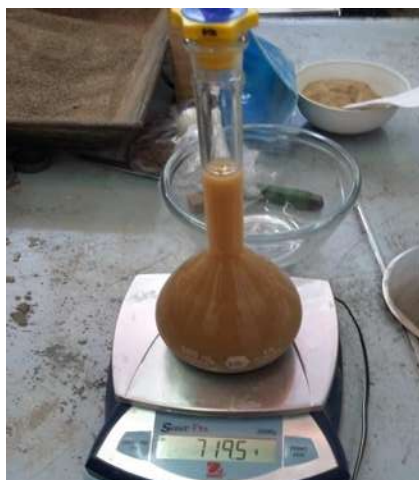


FIGURA 61: Pesado del matraz con el material y el agua.

Se tapa el matraz y se invierte varias veces en forma cuidadosa con el fin de uniformizar la temperatura de la suspensión, a continuación se coloca el bulbo del termómetro en el centro del matraz y se registra la temperatura, misma que es considerada como la temperatura de la prueba t_p .



FIGURA 62: Forma de obtener la temperatura de la prueba.

Hecho lo anterior se vierte toda la suspensión a una capsula de porcelana, empleando el agua necesaria para arrastrar todas las partículas de suelo y se deja reposar durante 24 horas. Se elimina el agua sobrante mediante una cuidadosa decantación y se lleva la muestra al horno para su secado total a masa constante, a una temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$, se determina y se anota la masa seca de la muestra, W_s , en gr.



FIGURA 63: Vertido del material en la cápsula y puesto en horno para su secado hasta masa constante.

En casos de suelos arenosos no cohesivos, el periodo de reposo podrá reducirse hasta que se observe limpio el tirante de agua, continuando la prueba en la forma descrita en el paso anterior.

Finalmente utilizando la curva de calibración del matraz, se obtiene la masa del matraz con el agua, en gr, correspondiente a la temperatura de la prueba t_p y se registra como W_{fw} .

RESULTADOS.

A continuación se muestra la tabla de los resultados obtenidos en la prueba.

Prueba No.	1	2
Matraz No.	7	XV
W fsw (gr)	711.9	714.9
Temperatura (°C)	28.5	25
W fw (gr)	683.68	686.69
Cápsula de evaporación No.	3A	3
Peso cápsula + muestra seca (gr)	810.7	706.1
Peso cápsula (gr)	761.9	657.6
Ws (gr)	48.8	48.5
Ss	2.37	2.39

TABLA 17: Resultados obtenidos en la prueba.

Para el cálculo de la masa del matraz con el agua (W fw) en gr, en emplean las fórmulas obtenidas de la curva de calibración, para cada uno de los matraces.

Matraz N° 7: $W_{fw} = -0.0017x^2 - 0.0195x + 685.62$

Matraz N° XV: $W_{fw} = -0.0027x^2 + 0.0223x + 687.82$

La densidad relativa del material seco, se determina con la siguiente fórmula.

$$S_s = \frac{W_s}{W_{fw} + W_s - W_{fsw}}$$

Promediando los resultados de la densidad relativa tenemos que:

$$\mathbf{S_s = 2.38}$$

3.5.- GRANULOMETRÍA FINA POR EL MÉTODO DEL HIDRÓMETRO.

3.5.1.- Objetivo.

Familiarizar al solicitante con un método para obtener aproximadamente la distribución granulométrica de suelos en los cuales existe una cantidad apreciable de partículas inferiores al tamiz No. 200.

3.5.2.- Equipo de ensaye.

- Hidrómetro, en gr/lit, graduado de 0 a 60, con precisión de 1 gr/lit.
- Probeta Bouyoucos, de 1000 cm³ sin vertedero.
- Probeta ordinaria, de 1000 cm³.
- Cronometro para tomar tiempos de reposo.
- Termómetro, graduado, en 0.1°C, de 0 a 50°C.
- Balanza con capacidad de 800 gr y precisión de 0.01 gr.
- Mezclador mecánico.
- Vaso de precipitado.
- Defloculante.
- Cápsula de porcelana.
- Horno a temperatura constante (110°C).

3.5.3.- Procedimiento.

Si la prueba es parte de una prueba combinado, se forma, con los finos obtenidos por lavado, se comienza del paso 7 que a continuación se enlista pero como en nuestro caso es directo de una muestra suelo fino se procede como sigue.

1. Se pesa una cantidad de suelo húmedo que contenga, aproximadamente, 50gr de sólidos y hasta 100gr si el suelo contiene un porcentaje apreciable de granos gruesos que, sin embargo, no justifique un análisis combinado (menos de 25 por ciento retenido en la malla N° 200).



FIGURA 64: 50 gr de material cribado por la malla N° 200.

2. Se prepara una solución, empleando 14gr de defloculante (Hexametáfosfato de sodio) y 1000 cm³ de agua destilada. Disolver previamente en defloculante en 50 cm³ de agua.



FIGURA 65: 14 gramos de defloculante.



FIGURA 66: Dilución del defloculante 50gr de agua.



FIGURA 67: Preparación de la solución.

3. Se agrega una parte de esta solución al suelo y se mezcla hasta obtener la consistencia de una pasta fluida.



FIGURA 68: Mezcla del material con solución.

4. Se transfiere la pasta a un mezclador mecánico, y se agrega otra parte de la solución preparada en el segundo paso hasta obtener, aproximadamente, 300 cm³ de pasta líquida.



FIGURA 69: Colocación de la suspensión en el mezclador mecánico.

5. La suspensión suelo-agua se revuelve, en el mezclador mecánico, durante 15 minutos por lo menos.



FIGURA 70: Mezclar por un tiempo mínimo de 15 minutos.

6. Se vierte la suspensión en una probeta Bouyoucos. Se debe tener precaución de apartar un poco de solución en otro recipiente para realizar en lavado del vaso que contiene la suspensión suelo-agua y evitar pérdidas del material. Si se trata de un material muy plástico, es conveniente dejar reposar la suspensión y el defloculante de un día para otro.



FIGURA 71: Agregación de la suspensión en la probeta Bouyoucos.

7. Con la mano se obtura la boca de la probeta y se agita vigorosamente durante un minuto, haciéndola girar 180° en un plano vertical.



FIGURA 72: Forma de agitar la probeta.

8. Se coloca cuidadosamente, pero rápidamente, la probeta en una mesa firme, se pone en marcha el cronómetro y, poco a poco, se sumerge el hidrómetro hasta que comience a flotar. Se deja durante dos minutos, tomando lecturas a los 20, 40, 80 y 120 segundos. Las lecturas deberán anotarse en el registro.



FIGURA 73: Colocación del hidrómetro y toma de lecturas.

9. Se retira el hidrómetro y se sumerge en una probeta con agua limpia, antes o después de tomar la temperatura de la suspensión.



FIGURA 74: Colocación del termómetro para toma de temperatura de la suspensión.

10. Se repiten los pasos 7 y 9 hasta obtener un juego consistente de lecturas para los dos primeros minutos del proceso de decantación.

11. Se reinicia la prueba como se indica en los puntos 7 y 8, pero insertado el hidrómetro solamente a los 100 segundos para realizar la lectura de los dos minutos. Después de esta lectura, se retira el hidrómetro de la suspensión y se toma la temperatura.



Figura 75: Probeta de 500 cm³ con agua limpia para lavar el hidrómetro después de cada lectura de la suspensión.

Para realizar los cálculos de los tamaños y porcentajes de las partículas de la porción de suelo analizada, se registran las lecturas del hidrómetro hechas en distintos tiempos y sus respectivas temperaturas, así como los valores de K que se muestran en la tabla siguiente.

Temperatura	Peso específico relativo de los sólidos (Ss)								
° C	2.45	2.5	2.55	2.6	2.65	2.7	2.75	2.8	2.85
16	0.0151	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17	0.01511	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191	0.01175
29	0.01312	0.0129	0.01269	0.01249	0.0123	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

TABLA 18: Valores de K, en función de la temperatura y el peso específico relativo de los sólidos. Para determinar la granulometría del material que pasa la malla N°200.

Nota: Debido a que la densidad del material (determinada en la prueba anterior = 2.38) es menor a las densidades de la tabla, se usarán los valores de la densidad relativa menor que se tiene en la tabla, es decir, los valores que corresponde a $S_s=2.45$.

Los datos que no pertenecen a: las lecturas del hidrómetro, las lecturas de temperatura, los valores de K, la densidad relativa de sólidos (S_s) y el peso del material (W_s). Todos los demás datos provienen de la calibración del equipo empleado para la prueba.

RESULTADOS.

A continuación se muestran las tablas de los resultados obtenidos en la prueba.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO-MÉTODO DEL HIDROMETRO											
Obra: Banco Torreón Nuevo											
Muestra: Muestra 1											
Proyecto: Análisis por hidrómetro											
Hidrómetro No.: 152 H											
Descripción del suelo:Arcilla limosa café oscuro.											
Gs, γs o (Ss) de los sólidos: 2.38											
a= 1.07											
Agentes Dispersante:											
Cantidad: 5 gr en 125 ml											
Peso de suelo Ws: 50 gr											
Corrección de cero (por defloculante)(Cd): 16											
Corrección del menisco (Cm): 0.9											
TABLA 5											
Fecha	Hora de lec.	Tiempo transcurrido	Temp (°C)	Lectura real del	Lect.Corregida del	% más fino	Hidróm.Corregido por	H'r	H'r ó L/t	K de la tabla	D (mm)
		(minutos)		Hidrómetro R _H	Hidrómetro R.	(p)	menisco RH.				
06-oct-15	11:38:20	0.33	21.0	51.00	36.90	79.2	37.80	9.94	29.8335	0.01438	0.0785
06-oct-15	11:38:40	0.67	21.0	49.50	35.40	76.0	36.30	10.19	15.2839	0.01438	0.0562
06-oct-15	10:39:20	1.33	21.0	48.50	34.40	73.9	35.30	10.35	7.7645	0.01438	0.0401
06-oct-15	11:40:00	2.00	21.0	47.50	33.40	71.7	34.30	10.52	5.2582	0.01438	0.0330
06-oct-15	11:40:00	2	21.0	47.50	33.40	71.7	34.30	10.52	5.2582	0.01438	0.0330
06-oct-15	11:43:00	5	21.0	43.50	29.40	63.1	30.30	11.17	2.2346	0.01438	0.0215
06-oct-15	11:48:00	10	21.0	39.60	25.50	54.8	26.40	11.82	1.1816	0.01438	0.0156
06-oct-15	11:58:00	20	21.0	36.10	22.00	47.2	22.90	12.40	0.6198	0.01438	0.0113
06-oct-15	12:03:00	25	21.0	35.00	20.90	44.9	21.80	12.58	0.5031	0.01438	0.0102
06-oct-15	12:08:00	30	21.0	34.50	20.40	43.8	21.30	12.66	0.4221	0.01438	0.0093
06-oct-15	12:38:00	60	22.5	31.00	16.90	36.3	17.80	13.25	0.2208	0.01404	0.0066
06-oct-15	13:08:00	90	23.0	29.00	14.90	32.0	15.80	13.58	0.1509	0.01404	0.0055
06-oct-15	13:38:00	120	23.0	28.00	13.90	29.9	14.80	13.75	0.1146	0.01404	0.0048
06-oct-15	14:38:00	180	24.5	26.00	11.90	25.6	12.80	14.08	0.0782	0.01372	0.0038
06-oct-15	15:38:00	240	25.6	25.00	10.90	23.4	11.80	14.25	0.0594	0.01357	0.0033
07-oct-15	11:38:00	1440	19.5	24.00	9.90	21.3	10.80	14.42	0.0100	0.01456	0.0015
08-oct-15	11:38:00	2880	20.5	22.00	7.90	17.0	8.80	14.76	0.0051	0.01438	0.0010
09-oct-15	11:38:00	4320	20.0	22.00	7.90	17.0	8.80	14.76	0.0034	0.01456	0.0009
12-oct-15	11:38:00	8640	19.0	22.00	7.90	17.0	8.80	14.76	0.0017	0.01474	0.0006
13-oct-15	11:38:00	10080	20.0	22.00	7.90	17.0	8.80	14.76	0.0015	0.01456	0.0006
14-oct-15	11:38:00	11520	20.0	22.00	7.90	17.0	8.80	14.76	0.0013	0.01456	0.0005

Altura de Caída verdadera= $H_r = H' + V/2A$

T

Temperatura de la suspensión (° C)

R_H

Lectura del hidrómetro sin corregir (gr/lt)

R_H

R_H= R_H+ Cm; Lectura del hidrómetro corregida por menisco (gr/lt)

D

Diámetro de las partículas de suelo en mm.

C_T

Corrección por temperatura

R

R= R_H- Cd+ C_T; Lectura del hidrómetro corregida totalmente (gr/lt)

p

Porcentaje de partículas de suelo menor que un cierto diámetro D, con respecto al peso seco de la muestra utilizada en la prueba del hidrómetro (%)

V b

Volumen del bulbo del hidrómetro (gr/cm³)

A

Area de la sección transversal de la probeta de sedimentación (cm²)

V

Volumen de la suspensión suelo - agua (gr/cm³)

Ws

Peso de los sólidos en la muestra probada (gr)

γs, Gs o Ss

Peso específico de las partículas sólidas del suelo

γw

Peso específico del fluido utilizado (gr/cm³)

a

Factor de corrección función del peso específico relativo de los sólidos de la muestra ensayada

Hr

Altura de caída de las partículas de suelo corregida por menisco (cm)

H' r

Altura de caída real de las partículas de suelo corregida por menisco (cm)

t

Tiempo en min

TABLA 19: Muestra las lecturas del hidrómetro y temperaturas, obtenidas en distintos tiempos, así como los valores de K correspondientes. Para determinar los tamaños y porcentajes de las partículas de la muestra analizada.

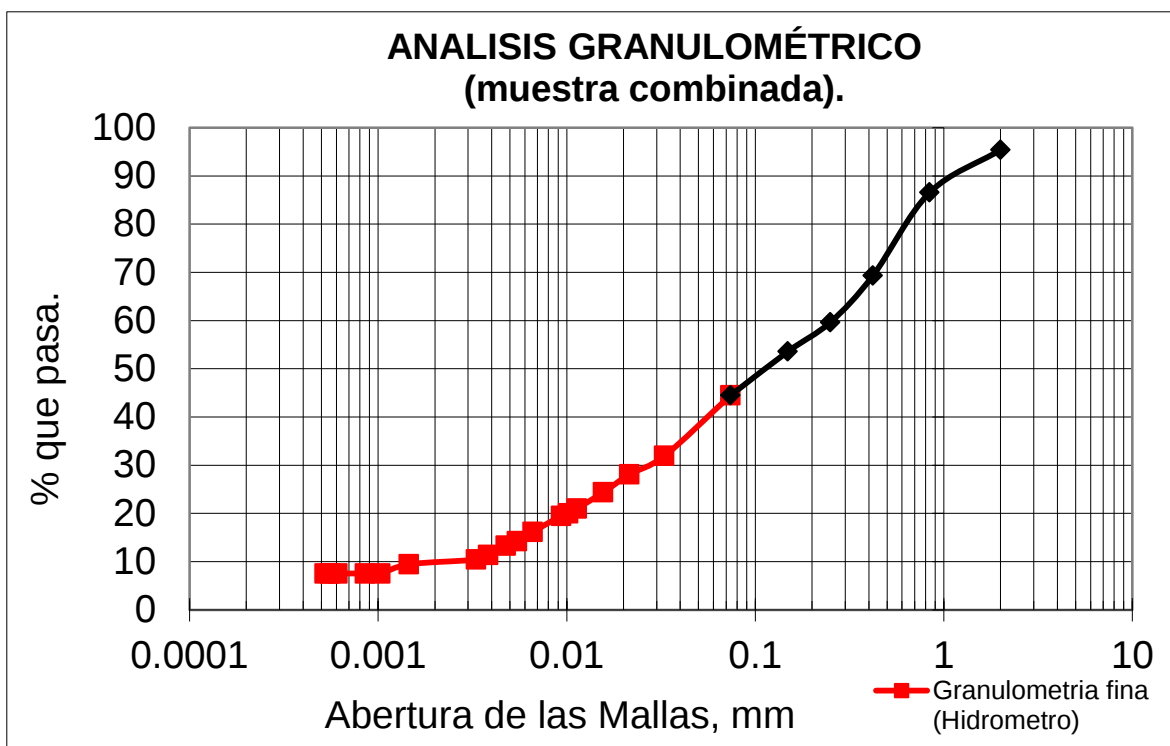
Tesis profesional

En la siguiente tabla se muestra la composición granulométrica del material en estudio. Se implementó la tabla de resultados de la granulometría chica determinada anteriormente (ensaye 3.2), con el fin de implementar la gráfica de la granulometría completa del material en estudio.

GRANULOMETRIA GRUESA (MEDIANTE TAMICES Ó MALLAS).							
Malla No.	Abertura (m)	Tara (gr)	Tara+suelo ret. (gr)	Wsue.ret.(gr)	%Retenido	%Reteni	% pasa
3"	-	-	-	-	-	-	-
2"	50.8	-	-	-	-	-	-
1 1/2 "	36.1	-	-	-	-	-	-
1"	25.4	-	0	-	-	-	-
3/4"	19.1	-	0	-	-	-	-
1/2"	12.7	-	0	-	-	-	-
3/8"	9.52	-	0	-	-	-	-
4"	4.76	-	0	-	-	-	100
Pasa No. 4	4.76	-	-	-	-	-	-
Suma	4.76			0	0		100
GRANULOMETRIA CHICA (MEDIANTE TAMICES Ó MALLAS).							
10	2.000	0	9.2	9.20	5	5	95
20	0.840	0	17.7	17.70	9	13	87
40	0.420	0	34.5	34.50	17	31	69
60	0.250	0	19.3	19.30	10	40	60
100	0.149	0	12.1	12.10	6	46	54
200	0.074	0	18.2	18.20	9	56	45
Pasa 200		0	89.0	89.00	45	100	
Suma				200.00	100		
GRANULOMETRIA FINA. 0.074							
	0.0330	Granulometría por hidrómetro. Con base a los porcentajes obtenidos en el hidrómetro se multiplico por 45 % del material que pasa la malla No 200. Esto es con fin de que represente a toda la muestra como una sola, cuyo porcentaje total será el 100 %. Y se gráfica como si fuera una sola. Esto es a manera de un ejemplo representativo.					32
	0.0215						28
	0.0156						24
	0.0113						21
	0.0102						20
	0.0093						19
	0.0066						16
	0.0055						14
	0.0048						13
	0.0038						11
	0.0033						10
	0.0015						9
	0.0010						8
	0.0009						8
	0.0006						8
	0.0006						8
	0.0005						8
	0.0000						0
	0.0000						0

TABLA 20: Muestra la composición granulométrica del material en estudio (granulometrías gruesa, chica y fina).

En el gráfico siguiente se muestra la curva granulométrica, de la muestra combinada. La línea en negro corresponde a la granulometría chica y la línea en rojo a la granulometría fina.



GRÁFICA 3: Muestra la curva granulométrica de la muestra combinada.

Como se mencionó al inicio de la prueba, el ensaye se realiza para conocer aproximadamente la granulometría inferior a la malla N°200 y no se emplea como criterio para fines de clasificación del suelo.

El objetivo de la prueba es conocer el tamaño y porcentajes de las partículas de la porción de suelo analizada (arcilla), ya que entre más fina y plástica sea la arcilla, su comportamiento es coloidal y se requiere de mucho tiempo para que se sedimenten las partículas, por lo que queda limitado el ensaye del hidrómetro para dicho materiales.

De acuerdo al párrafo anterior y a los resultados obtenidos en ésta prueba. Al presentarse una sedimentación continua del material durante el tiempo de prueba, se correlaciona directamente con los resultados obtenidos en los ensayos 3.2 y 3.3, y se concluye que la porción de material fino se trata de una arcilla de plasticidad baja o media debido a que presenta una sedimentación.

3.6.- PRUEBA DE COMPACTACIÓN PROCTOR.

3.6.1.- Objetivo.

Este ensaye se realiza para determinar el peso volumétrico seco máximo ($Y_{dm\acute{a}x}$) y la humedad optima del suelo en estudio ($W_{\acute{o}pt.}$), para una misma energí de compactación.

3.6.2.- Equipo.

- Molde en forma cilíndrica de diámetro según la variante a utilizar.
- Pisón según la variante a utilizar.
- Charola rectangular.
- Horno de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Balanza con capacidad mínima de 15kg y con aproximación a 5gr, otra con capacidad de 2kg y aproximación a 0.1gr.
- Probeta graduada.
- Malla N°4.
- Regla para enrasar.
- Cucharon.
- Vasos de aluminio.
- Agua.
- Aceite y brocha.
- Estopa para limpieza del molde.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

Se toma una muestra como la prevista en la prueba 3.2. Después del secado, disgregado, cuarteo y cribado por la malla N°4, se usa una muestra de 4 kg.



FIGURA 76: Material preparado para la prueba.

La prueba se realizara según la compactación Proctor AASHTO, utilizando la variante “A” estándar. Las especificaciones son las siguientes:

Variante A, que se aplica a materiales que pasan la malla N°4 (4.75 mm) y se compactan en el molde de 101.6 mm de diámetro interior.

Tipo de prueba	Estándar
Masa del pisón, kg	2.5 ± 0.01
Número de capas del material	3.0
Diámetro del pisón, mm	50.8
Altura de caída del pisón, cm	30.5 ± 0.1
Variante	A
Tamaño máximo del material, mm	4.75
Tamaño de la muestra de prueba, kg	4.0
Diámetro interior del molde, mm	101.6 ± 0.4
Número de golpes por capa	25

TABLA 21: Especificaciones para realizar la prueba de compactación Proctor.

3.6.3.- Procedimiento.

1. Se pesan las cápsulas de aluminio y el molde de compactación, anotando estos datos en el registro correspondiente.
2. A la porción preparada, se le agrega la cantidad de agua necesaria para que una vez homogeneizada, tenga un contenido de agua inferior en 4 a 6% respecto al óptimo estimado. Para tener una aproximación del agua que se va a agregar, se toma como referencia la humedad del límite plástico, esta humedad debe de andar del orden de la humedad óptima. En el caso de que se hayan formado grumos durante la incorporación del agua, se revuelve el material con ayuda de una espátula hasta disgregarlo totalmente. Se mezcla cuidadosamente la porción para homogeneizarla y se divide en 3 partes para la prueba estándar.



FIGURA 77: Homogenización del material.

3. Se coloca una de las fracciones de material en el molde de prueba el cual se apoya sobre el bloque de concreto para compactar el material con el pisón que corresponda, aplicando 25 golpes para la variante estándar repartiendo uniformemente los golpes en la superficie de la capa, como se muestra, para el caso de la prueba estándar, la masa del pisón y la caída libre serán de 2.5 kg

y 30.5cm, respectivamente. Se escarifica ligeramente la superficie de la capa compactada y se repite el procedimiento descrito para las capas subsecuentes.



FIGURA 78: Muestra la compactación de una de la capas.

4. Terminada la compactación de todas las capas, se retira la extensión del molde y se verifica que el material no sobresalga del cilindro en un espesor promedio de 1,5 cm como máximo; de lo contrario la prueba se repetirá utilizando de preferencia una nueva porción de prueba con masa ligeramente menor que la inicial. En el caso de que no exceda dicho espesor, se enrasa cuidadosamente el espécimen con la regla metálica y se pesa registrándolo como: (peso del molde + suelo húmedo).



FIGURA 79: Muestra la forma de enrasar el espécimen.

5. A continuación, se determina la masa del cilindro con el material de prueba y se registra como W_i , en gr, anotándola en una hoja de registro.



FIGURA 80: Peso del molde más el material compactado.

6. Se saca el espécimen del cilindro, se corta longitudinalmente y de su parte central se obtiene una porción representativa para determinar su contenido de agua ω , se registran los datos correspondientes a esta determinación en la misma hoja de registro.



FIGURA 81: Forma de sacar el espécimen del molde.



FIGURA 82: Obtención de la porción de material para determinar su contenido de agua.

7. Se vacía la porción suelo húmedo a una de las capsulas la cual haya sido pesada y se registra como: (Peso de la capsula + suelo húmedo). Posteriormente las capsulas se introducen al horno durante 24 horas, esto con el fin de determinar el contenido de agua para este ensaye. Después de sacarlas se pesan de nuevo y se registran como: (Peso de capsula + suelo seco).



FIGURA 83: Se realiza el secado de las porciones de material en horno durante 24 horas.

8. Se incorporan las fracciones del espécimen al material que sobró al enrasarlo, en su caso, se disgregan los grumos, se agrega aproximadamente 2% de agua con respecto a la masa inicial de la porción de prueba y se repiten los pasos anteriores.

9. Con la misma porción de prueba se repite el procedimiento incrementando sucesivamente su contenido de agua, hasta que el peso del (molde + suelo húmedo) de un valor igual o menor que el inmediato anterior.

Es recomendable que esta prueba se logre en un mínimo de 4 ensayos y un máximo de 6, con el fin de que se logre definir la parábola de forma completa.

OBSERVACION: El molde cilíndrico de compactación debe de aceitarse antes de cada prueba, para evitar que se adhiera material en sus paredes.

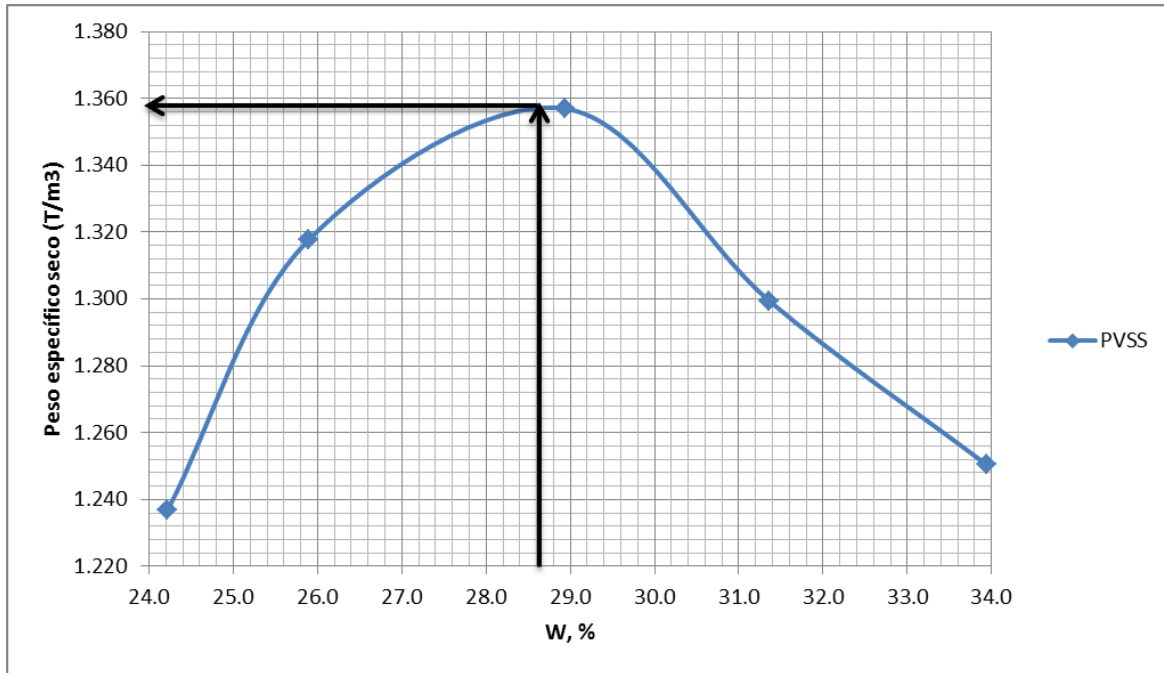
RESULTADOS.

A continuación se muestran la tabla de los resultados obtenidos en la prueba, así como la gráfica correspondiente.

Prueba No.	1	2	3	4	5
agua en mililitros	300	340	375	420	470
Peso molde + suelo húmedo (gr)	3390	3505	3590	3550	3520
Peso molde (gr)	1950	1950	1950	1950	1950
Peso suelo húmedo (gr)	1440	1555	1640	1600	1570
Peso específico húmedo (T/m ³)	1.536	1.659	1.750	1.707	1.675
Cápsula No.	MS	11	7	X	6
Peso cápsula + suelo húmedo (gr)	364.5	370.3	274.5	304.9	291.4
Peso cápsula + suelo seco (gr)	322	321.7	234.2	255.5	240.8
Peso del agua (gr)	42.5	48.6	40.3	49.4	50.6
Peso cápsula (gr)	146.5	134	94.9	98	91.7
Peso suelo seco (gr)	175.5	187.7	139.3	157.5	149.1
Contenido de agua (%)	24.2	25.9	28.9	31.4	33.9
Peso específico seco (T/m ³)	1.237	1.318	1.357	1.299	1.250
Diámetro molde, D	10.1	cm			
Altura molde, h	11.7	cm			
Volumen del molde, V	937.39	cm ³			

TABLA 22: Muestra los resultados de la prueba de compactación Proctor.

Se grafica el contenido de agua (W) en por ciento contra peso específico seco γ_d en Ton/m^3 . Para obtener los resultados óptimos de humedad y peso específico seco máximo, los cuales corresponden al punto más elevado de la gráfica siguiente y se determinan de forma visual.



GRÁFICA 4: Muestra los valores óptimos de humedad y peso específico seco máximo, del material en estudio.

EL peso del suelo húmedo se determina de la siguiente manera:

$$W_m = (\text{peso del molde} + \text{suelo húmedo}) - (\text{peso del molde})$$

Para el cálculo del peso volumétrico húmedo se usa la fórmula siguiente:

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V}, \text{ donde } V \text{ es el volumen del molde}$$

Para determinar el contenido de agua en por ciento se usa la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad (W)} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo seco}} * 100$$

Para el cálculo del peso específico seco, se emplea la siguiente fórmula:

$$Y_d = \frac{Y_m}{\left(1 + \frac{W}{100}\right)}$$

Los valores óptimos de humedad y peso específico seco máximo que se obtuvieron de forma visual para la práctica a partir de la gráfica, son los siguientes.

$$Y_{d\text{máx}} = 1.358/\text{m}^3.$$

$$W_{\text{ópt}} = 28.7\%.$$

3.7.- VALOR RELATIVO DE SOPORTE ESTÁNDAR.

Para determinar el VRS del material en estudio, debe realizarse un espécimen de acuerdo a los pasos que se siguen en la prueba de compactación Porter estándar. El material en estudio no tiene las características que se mencionan en las generalidades de la prueba de compactación Porter estándar, sin embargo, se siguen los pasos del 1 al 8 para preparar el espécimen que servirá para determinar el VRS del material en estudio, a partir del paso 9 es el seguimiento de la prueba VRS.

3.7.1.- Objetivo.

Determinar si el suelo en estudio, tiene la calidad para ser empleado en las capas: base, sub-base y sub-rasante.

Para esta prueba se utiliza un suelo compactado por medio de la prueba Porter estándar.

3.7.2.- Generalidades de la prueba de compactación Porter estándar.

En esta prueba se determina la compactación por carga estática para calcular el Peso Volumétrico Seco Máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) y la Humedad Óptima de Compactación en suelos con partículas gruesas empleadas en la construcción de terracerías o en arenas y materiales finos (no cohesivos) que tengan un Índice Plástico menor a 6 ($IP < 6$), a los cuales no es posible someterlos a la prueba Proctor.

En suelos friccionantes es muy común que las pruebas dinámicas produzcan una curva de compactación con una forma inadecuada para la determinación del Peso Volumétrico Seco Máximo y una Humedad Óptima de Compactación. También, para este tipo de suelos existen otras pruebas de compactación en las que usualmente se define una curva de compactación de forma típica, adaptada para los fines que se persiguen.

Una de estas es la prueba de compactación estática, que introdujo O. J. Porter y que alcanzó su forma definitiva alrededor de 1935. En ella se compacta al suelo colocándolo dentro de un molde cilíndrico de 6" de diámetro, el suelo se dispone en tres capas y se acomoda con 25 golpes de una varilla con punta de bala, lo que no significa una compactación intensa, pues la varilla es ligera y la altura de caída que no está especificada es la mínima utilizable por el operador para la manipulación cómoda.

La compactación propiamente dicha se logra al aplicar al conjunto de tres capas una presión de 140.6 Kg/cm^2 , la cual se mantiene durante un minuto.

Este método de prueba sirve para determinar el Peso Volumétrico Seco Máximo y la humedad óptima de compactación en los suelos con partículas gruesas que se emplean en la construcción de terracerías; también se puede emplear en arenas y el materiales finos cuyo Índice Plástico sea menor que 6. El método consiste en preparar especímenes con material que pasa la malla de 1", a los que se le agregan diferentes cantidades de agua y se compactan con carga estática.

La aplicación más importante de ésta prueba en particular es la fabricación de especímenes de suelo que cumplan con las condiciones antes descritas para determinar su Valor Relativo de Soporte (VRS) y también se emplea en la determinación del Grado de Compactación en los casos en que así se requiera. Sin embargo es necesario mencionar que el Valor Relativo de Soporte (VRS) obtenido de la prueba Porter Estándar únicamente servirá como un dato complementario de la calidad de los suelos, esto se explica de manera más detallada después del paso 8 donde es analizado precisamente este parámetro.

3.7.3.- Equipo para prueba de compactación Porter estándar.

- Molde cilíndrico de compactación de 15.75 cm de diámetro interior y 12.75 cm de altura, provisto de collarín y una base con dispositivo para sujetar el cilindro.
- Máquina de compresión con capacidad mínima de 30 toneladas y aproximación de 100 kg.
- Varilla metálica de 19 mm de diámetro y 30 cm de longitud, con punta de bala.
- Placa circular para compactar, con diámetro de 15.45 cm con dispositivos para sujetarla en la cabeza de aplicación de la carga.
- Malla de 1", abertura 25.4mm.
- Balanza con capacidad mínima de 20kg y aproximación de 5gr.
- Calibrador con vernier tipo máuser.

3.7.4.- Procedimiento para prueba de compactación Porter.

La preparación de la muestra se efectúa como se indica a continuación:

1. De una muestra obtenida en campo, teniendo cuidado de secar el material únicamente lo necesario para facilitar su disgregación, se toma y criba

una cantidad suficiente para obtener una porción de 16 kg de material que pasa la malla de 1”.

2. Se divide mediante cuarteo la porción que pase la malla de 1”, en 4 partes con pesos aproximadamente iguales, es decir, 4 kg por cada parte.

La prueba se efectúa en la forma siguiente:

3. Se toma una de las 4 partes del material y se le incorpora la cantidad de agua necesaria frotando el material entre las manos, para que una vez repartida uniformemente, presente una consistencia tal que, al ser comprimido en la palma de la mano, la humedezca muy ligeramente. Para favorecer lo anterior en algunos casos será necesario dejar el material húmedo un cierto tiempo en reposo cubierto con una lona húmeda. Con ayuda de una espátula se remueve el material del fondo de la charola para lograr una buena homogenización.



FIGURA 84: Muestra la homogenizacion de la muestra.

4. Se coloca el material humedecido, dentro del molde con su collarín instalado, en 3 capas del mismo espesor aproximadamente y se le da a cada una de ellas 25 golpes con la varilla metálica, distribuyéndolos uniformemente.

5. Al terminar la colocación de la última capa, se toma el molde que contiene el material, se coloca en la máquina de compresión y se compacta

aplicando lentamente carga uniforme, hasta alcanzar en un lapso de 3 minutos la presión de 140.6 kg/cm^2 , equivalente a una carga de 26.5 toneladas, aproximadamente; se mantiene esta carga durante 1 minuto y se hace la descarga en el siguiente minuto. Al llegar a la carga máxima se observa la base del molde y si está ligeramente humedecida, el material tiene la Humedad Óptima de Compactación y ha alcanzado su peso específico volumétrico máximo.



FIGURA 85: Colocación del molde en la prensa, para aplicación de la carga.



FIGURA 86: Material en su contenido óptimo de humedad.

6. Si al llegar a la carga máxima, no se humedece la base del molde, la humedad con que se preparó la muestra es inferior a la óptima y por lo tanto, se toma otra porción representativa del material y se le adiciona una cantidad de agua igual a la del espécimen anterior, más 80 cm^3 ; se mezcla uniformemente y se repiten en ésta los pasos 4 y 5. Se preparan los especímenes que sean necesarios siguiendo los pasos indicados en este subpárrafo, hasta lograr que en uno de ellos se observe el inicio del humedecimiento de la base del molde con la carga máxima, lo cual generalmente se consigue con menos de 4 especímenes.

7. Si antes de llegar a la carga máxima se humedece la base del molde al haberse iniciado la expulsión de agua, la humedad con la que se preparó la muestra es superior a la óptima y en este caso se procede como se indica en el paso 6, con la diferencia que en lugar de adicionar 80 cm^3 de agua, se disminuyen estos 80 cm^3 en cada nueva porción representativa del material, hasta lograr que en una de ellas, con la carga máxima, se observa el inicio del humedecimiento de la base del molde.

8. Terminada la compactación del espécimen preparado con la humedad óptima, se retira el molde de la máquina de compresión y se determina la altura del espécimen, h_e , restando de la altura del molde, la altura entre la cara superior del espécimen y el borde superior del molde; se registra este valor en centímetros con aproximación de 0.1mm. Tomar 4 lecturas equidistantes utilizando el vernier y obtener el promedio, los valores son registrados para su posterior cálculo.

OBSERVACIONES

De igual manera que en la prueba de compactación Proctor, resulta conveniente usar una espátula para remover el material del fondo de la charola y lograr una buena homogenización, así como aceitar el molde antes de cada prueba para evitar que el espécimen se adhiera a éste cuando sea retirado.



FIGURA 87: Forma de medir la altura entre la cara superior del espécimen y el borde superior del molde.

A partir de este paso, se realiza el procedimiento para el cálculo del VRS.

3.7.5.- Equipo para determinar el VRS.

- Prensa con capacidad de 5,000 kg.
- Depósito con agua para saturar el suelo compactado.
- Papel filtro de 15.2 cm de diámetro.
- Placa circular perforada de 15.2 cm de diámetro.
- 2 placas circulares de carga de 15.2 cm de diámetro y de 3 kg de peso cada una.
- Un trípode metálico para referencia de mediciones.
- Pistón de penetración de 4.95 cm de diámetro.
- Extensómetro con carrera de 2.54 cm y una aproximación de 0.01 mm.
- Cronómetro o reloj.
- Calibrador con vernier.

3.7.6.- Procedimiento.

9. Estando el suelo ya compactado, se pone encima un papel filtro, para que no se erosione, al momento de introducirlo a inmersión total en agua.



FIGURA 88: Colocación del papel filtro sobre el espécimen.

10. Arriba del papel se coloca una placa circular perforada y encima de ésta, las dos placas circulares de carga, sobre la extensión del molde se coloca el trípode, que servirá como referencia de mediciones de altura y conocer si el suelo presenta expansión.

11. Se introduce todo el conjunto al depósito con agua, de tal forma que el molde quede sumergido, con un tirante de 2 cm arriba del borde superior de la extensión del molde.



FIGURA 89: Inmersión del conjunto al depósito con agua.

12. Utilizando el vernier, se hace una primera lectura de altura, medida sobre el trípode hasta la parte central de vástago de la placa circular perforada; anotando esta lectura como (L_i), se verifica cada 24 horas y cuando en dos lecturas sucesivas se observe que no hay diferencia, se anota su valor como lectura final (L_f) con aproximación de 0.01mm.

El período de saturación generalmente varía de 3 a 5 días.



FIGURA 90: Muestra la forma de tomar la lectura.

13. Todo lo descrito en el paso 12, es con el fin de determinar el porcentaje de expansión que puede tener un suelo. La fórmula y los resultados de la expansión de muestran más adelante.

14. Se retira el molde del agua, es conveniente inclinarlo un poco para que escurra el agua sobrante, se le retira la extensión, el papel filtro, las placas de carga y la placa circular perforada. Posteriormente se colocan únicamente las placas de carga, y se coloca el molde en la parte central de la prensa, colocándose en medio de las placas de carga el pistón de penetración.



FIGURA 91: Muestra la forma de escurrir el espécimen y el retiro de las placas.



FIGURA 92: Colocación del molde en la prensa.

15. Se coloca el extensómetro que va a indicar las penetraciones estandarizadas para esta prueba; estas son: 1.27 mm, 2.54 mm, 3.81 mm, 5.08 mm, 7.62 mm, 10.16 mm y 12.70 mm.



FIGURA 93: Forma de colocación del extensómetro.

16. Se aplica una precarga de 10 Kg e inmediatamente después, sin retirar la carga, se ajusta el extensómetro en cero, para iniciar la penetración vertical del pistón de penetración.

17. Se aplica carga para que el pistón penetre al espécimen a una velocidad de 1.27 mm/minuto, anotando las cargas necesarias para obtener cada una de las penetraciones descritas anteriormente.



FIGURA 94: Muestra el espécimen al final del ensaye.

RESULTADOS.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para la expansión del material en estudio.

Altura del molde (h1)	12.73	cm
Lecturas obtenidas con vernier		
L1	2	cm
L2	2.1	cm
L3	1.97	cm
L4	1.98	cm
lectura promedio (h2)	2.01	cm
he	10.72	cm
Li	6.05	cm
Lf	5.94	cm
% expansión	1.03	%

TABLA 23: Muestra los resultados de la expansión para el material en estudio.

Para el cálculo de “he” se utiliza la fórmula siguiente:

$$he = \text{Altura del molde (h1)} - \text{lectura promedio (h2)}$$

Para el cálculo de la expansión se usa la siguiente fórmula:

$$\% \text{ expansión} = \frac{(Li - Lf)}{he} * 100$$

Li: Longitud inicial antes de la expansión.

Lf: Longitud final después de la expansión.

he: Altura del espécimen en cm.

% expansión = 1.03%.

A continuación se muestra la tabla de los resultados del VRS, así como la gráfica correspondiente.

Resistencia a la penetración (kg)			
	X (mm)	Y (kg)	VRS
1.27	15	126.6	9.31
2.54	35	295.4	21.72
3.81	55	464.2	34.13
5.08	65	548.6	40.34
7.62	73	616.12	45.30
10.16	80	675.2	49.65

TABLA 24: Resultados obtenidos en la prueba.

Para determinar el valor del VRS, se emplea la siguiente fórmula:

$$VRS\ std = \frac{C_{2.54}}{1360} * 100$$

C_{2.54}: Carga correspondiente a la penetración de 2.54 mm o cualquier otra en kg.

1360: Equivale a la carga que presentaría un material de buena calidad, para esa penetración, por ejemplo: una caliza triturada.

$$Y = 8.44X$$

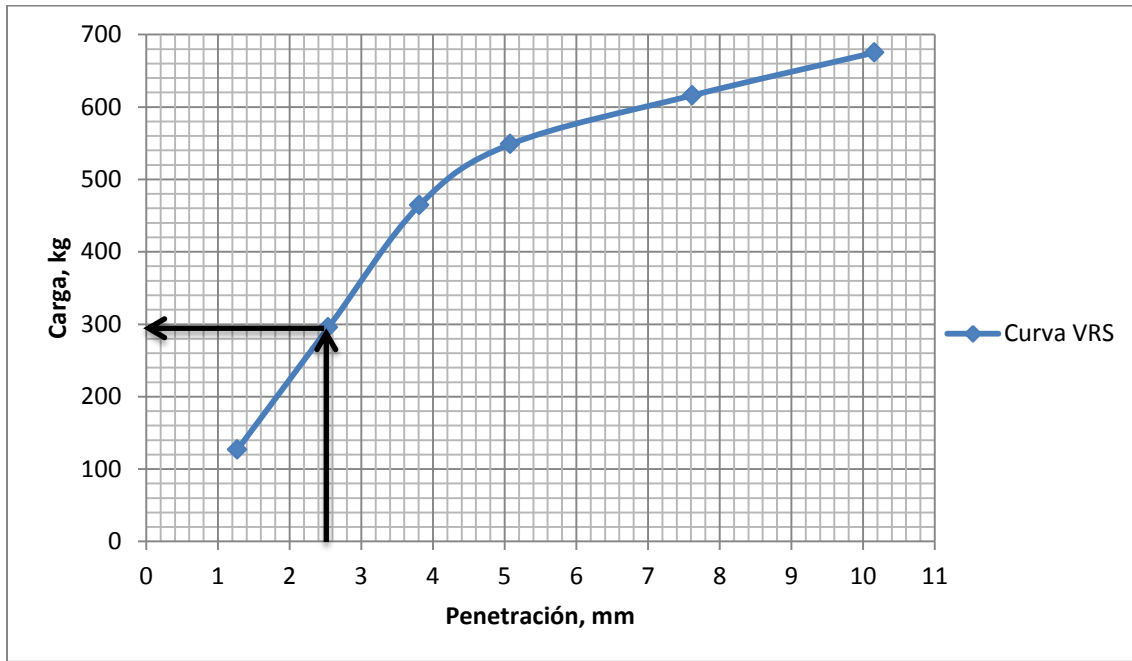
Y: Carga en kg.

X: Deformación en la celda de carga

Por lo tanto el valor del VRS, es el siguiente:

$$\text{VRS} = 21.72\%.$$

Se llevan los resultados a la gráfica (penetración contra carga), obteniendo la curva de valor relativo de soporte estándar.



GRÁFICA 5: Curva del valor relativo de soporte estándar.

De acuerdo a la siguiente tabla, se puede definir la calidad del material en base al VRS, y clasificarlos en base a los rangos, además de definir la capa en la que puede ser empleado.

0 a 5%	Sub-rasante muy mala
5 a 10%	Sub-rasante mala dudosa
10 a 20%	Sub-rasante regular a buena
20 a 30%	Sub-rasante muy buena
30 a 50%	Sub-base de buena calidad
50 a 80%	Base de regular calidad
80 a 100%	Base de buena calidad

TABLA 25: Rangos para la clasificación del material, por medio de la gráfica.

El material en estudio presenta un $VRS = 21.72$, comprendido en el rango de 20% a 30%. Por lo tanto, el material puede ser empleado en una sub-rasante de muy buena calidad.

3.8.- DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (P.V.S.S).

3.8.1.- Objetivo.

Obtener la cantidad de suelo en kilogramos que contiene un metro cúbico de material (tepetate). Vaciar el material en un recipiente de volumen conocido y sin darle acomodo a las partículas. El peso volumétrico es la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en Ton/m^3 . Cálculo del peso volumétrico del material seco suelto.

3.8.2.- Equipo.

- Cucharón.
- Recipiente.
- Barra metálica.
- Balanza.

3.8.3.- Procedimiento.

1. Se obtiene una muestra como la utilizada en la prueba 3.2 (DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE EL USO DE MALLAS), con el suelo secado al sol previamente, disgregado y pulverizado, se forma un cono para homogenizar el material, se esparce y se cuarteo.



FIGURA 95: Material para determinar el P.V.S.S.

2. Con un cucharon se deja caer el material dentro del recipiente desde una altura de 20 cm, hasta que se llene evitando que el material se acomode y se enrasa el material con la varilla metálica sin aplicarle presión.



FIGURA 96: Se muestra la forma de llenar el recipiente.

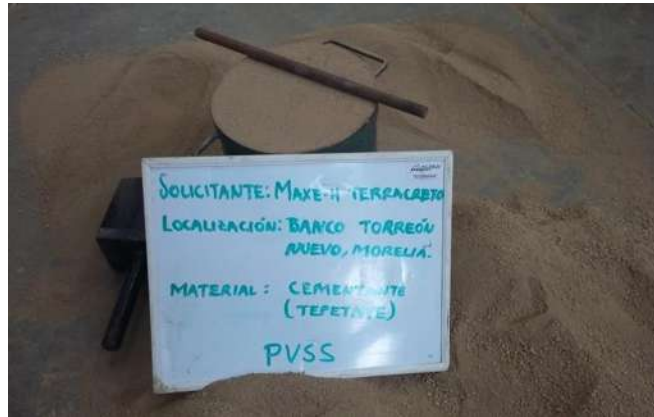


FIGURA 97: Muestra la forma de enrasar el material con la varilla metálica.

3. Se pesa el recipiente con el material y se registra su peso.



FIGURA 98: Pesado del material.

4. Se realiza al menos 3 veces los pasos antes mencionados. Se calcula el peso volumétrico del material seco y suelto con el promedio de los valores obtenidos anteriormente.

5. Se pesan 200grs del suelo empleado para la prueba, se seca en estufa y posteriormente se pesa, así se determinará el peso de la muestra, el peso del sólido y el peso de agua.

RESULTADOS.

A continuación se muestra la tabla de resultados obtenidos en la prueba.

Volumen del molde	10330	cm3
Peso del molde	3725	gr
Peso suelo 1 + Molde	14155	gr
Peso suelo 2 + Molde	14195	gr
Peso suelo 3 + Molde	14160	gr
Peso suelo 1	10430	gr
Peso suelo 2	10470	gr
Peso suelo 3	10435	gr
Peso Promedio	10445	gr
PVSS	1.0111	gr/cm3
PVSS	1011.1	kg/m3

Wh + Wtara	341.3	gr
Wtara	141.3	gr
Ws + tara	324	gr
Ws	182.7	gr
Ww	17.3	gr
% H. Actual	9.47	%

TABLA 26: Muestra los resultados del P.V.S.S. y el porcentaje de humedad actual del material en estudio.

Para determinar el peso del suelo se aplica la siguiente fórmula.

$$\text{Peso suelo} = (\text{Peso de suelo} + \text{molde}) - (\text{Peso del molde})$$

Se procede a obtener el promedio en peso del suelo, con la fórmula siguiente:

$$\text{Peso promedio} = \frac{\text{Peso suelo 1} + \text{Peso suelo 2} + \text{Peso suelo 3}}{3}$$

Pasa el cálculo del P.V.S.S. en gr/cm³ usa la fórmula siguiente:

$$P.V.S.S. = \frac{\text{Peso promedio}}{\text{Volumen del molde}}$$

Para pasar el P.V.S.S. de gr/cm^3 a kg/m^3 , se hace la siguiente conversión:

$$P.V.S.S. \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} * \frac{100 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3} = P.V.S.S. \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

Para el cálculo del porcentaje de humedad actual del material, se emplea la fórmula siguiente:

$$\%H. Actual = \frac{\text{Peso del agua } (W_w)}{\text{Peso del suelo seco } (W_s)} * 100$$

$$\mathbf{P.V.S.S = 1011.1 \text{ kg/m}^3.}$$

$$\mathbf{\%H. Actual = 9.47\%.}$$

3.9.- RESUMEN DE RESULTADOS DEL MATERIAL EN ESTUDIO.

PRUEBAS REALIZADAS.	
PCA No.	1
ESTRATO No.	1
PROFUNDIDAD MUESTRA (m).	N/A
TIPO DE MUESTRA	M-1
GRANULOMETRÍA.	
% DE FRAGMENTOS DE ROCA.	0
% PASA MALLA 3"	100
% PASA MALLA No. 4	100
% PASA MALLA No. 10	95
% PASA MALLA No. 20	87
% PASA MALLA No. 40	69
% PASA MALLA No. 60	60
% PASA MALLA No. 100	54
% PASA MALLA No. 200	45
LÍMITES DE CONSISTENCIA.	
% HUMEDAD NATURAL. (w)	15
% LIMITE LÍQUIDO. (LL)	44.3
% LIMITE PLÁSTICO. (LP)	26.7
% ÍNDICE PLÁSTICO. (IP)	17.6
% CONTRACCIÓN LINEAL. (CL)	6.9
% LIMITE DE CONTRACCIÓN. (CV)	22.8
CLASIFICACIÓN SUCS.	SC
VALOR RELATIVO DE SOPORTE.	
VRS ESTÁNDAR %	21.72
EXPANSIÓN %	1.03
VRS % AL 90% DE COMPACTACIÓN.	-
PVSM tn/m ³ .	1.358
HUMEDAD ÓPTIMA. (Wopt %)	28.7
GRADO DE COMPACTACION (%)	
RELACIONES VOLUMÉTRICAS Y GRAVIMÉTRICAS.	
PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO Kg/m ³ .	1011.1
DENSIDAD DE SÓLIDOS. (Ss)	2.38

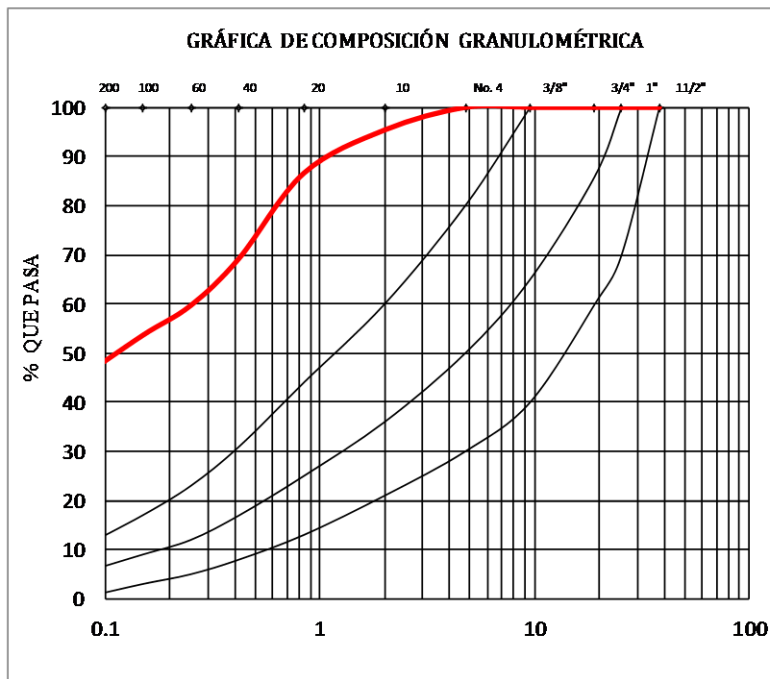
TABLA 27: Muestra los resultados obtenidos en laboratorio, para el material (tepetate) proveniente del banco de materiales Torreón Nuevo.

INFORME DE CALIDAD DE MATERIAL (TEPETATE), BANCO TORREÓN NUEVO

Norma de Referencia N-CMT-4-02-002/04

SOLICITANTE:	Max-h Internacional de México, S.A de C.V.		
OBRA:	Banco de material (tepetate), Torreón Nuevo.		
LOCALIZACIÓN:	Torreón Nuevo, Morelia Michoacán.		
FECHA DE RECIBIDO:	20/08/2015	FECHA DE INFORME:	10/01/2016
PROCEDENCIA:	Banco de material (tepetate), Torreón Nuevo.		
MATERIAL:	Arena arcillosa (SC), para diseño de suelo-cemento fluido, en condiciones saturadas.		
ENVIADA POR:	Ezequiel Cruz Chimal.		
ENSAYE No:	M-1		

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL	COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA	MALLAS		y _L ≤ 10 (%)		y _L > 10 (%)	
		QUE PASA (%)		ESPECIFICACIONES			
		1 1/2"	(38.1)	100	100	100	100
		1"	(25.4)	100	70-100	70-100	70-100
		3/4"	(19)	100	60-100	60-86	60-86
		3/8"	(9.51)	100	40-100	40-65	40-65
		No. 4	(4.76)	100	30-80	30-50	30-50
		10	(2)	95	21-60	21-36	21-36
		20	(0.841)	87	13-44	13-25	13-25
		40	(0.42)	69	8-31	8-17	8-17
		60	(0.25)	60	5-23	5-12	5-12
		100	(0.149)	54	3-17	3-9	3-9
		200	(0.074)	45	0-10	0-5	0-5
		LÍMITE LÍQUIDO (%)	44.3	25 máx	25 máx	25 máx	25 máx
		ÍNDICE PLÁSTICO (%)	17.6	6 máx	6 máx	6 máx	6 máx
		CONTRACCIÓN	6.9				
		EQUIV. DE ARENA (%)	-	40 mín	50 mín		
		VRS ESTANDAR (%)	21.72	80 mín	100 mín		
		DESGASTE (%)	-	35 máx	30 máx		
		PART. ALARGADAS (%)	-	40 máx	35 máx		
		PART. LAJEADAS (%)	-	40 máx	35 máx		
		DESPERDICIO (%)	0				
		PVSS (tn/m ³)	1.011				
		PVSM (tn/m ³)	1.358				
		HUMEDAD ÓPTIMA (%)	28.7				
		EXPANSIÓN (%)	1.03				
		VALOR CEMENTANTE (kg/cm ³)	-				
		ABSORCIÓN (%)	-				
		DENSIDAD DE SÓLIDOS	2.38				
		CLASIFICACIÓN SUCS	SC				



OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES: El material analizado tiene límite líquido alto, lo cual indica que se utilizará más cemento para estabilizarlo y lograr alcanzar la resistencia de diseño, sin embargo, tiene un VRS que permite que se emplee en su-rasantes de buena calidad. Se realizarán especímenes para encontrar el contenido óptimo de cemento con el que se tenga mejor comportamiento, y su costo no sea elevado.

FIGURA 99: Muestra la tabla de resultados y la gráfica de la granulometría del material en estudio, para diseño de suelo-cemento fluido.

3.10.- CÁLCULOS PARA LA ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES.

3.10.1.- Cálculo del porcentaje de resistencia.

$$\dot{A}REA = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Diámetro de los especímenes = 10 cm

$$\dot{A}REA = \frac{\pi * 10^2}{4} = 78.54 \text{ cm}^2$$

$$RESISTENCIA = \frac{CARGA}{\dot{A}REA} \quad \text{Por lo tanto:} \quad CARGA = RESISTENCIA * \dot{A}REA$$

$$\%RESISTENCIA = \frac{RESISTENCIA}{25} * 100$$

3.10.2.- Cálculo de los pesos de cemento, aditivo, suelo y volumen de agua para elaborar ocho especímenes, en los diferentes proporcionamientos de cemento, en condiciones saturadas y no saturadas.

3.10.2.1.- Especímenes con 1% de aditivo Maxe-h.

Para el cálculo de los pesos de cemento, aditivo, suelo (tepetate) y volumen de agua necesarios para elaborar 8 testigos con las mismas características, para los distintos porcentajes de cemento, usando 1% de aditivo Maxe-h, se procede como sigue.

En la siguiente tabla se muestran los datos base (conocidos) de los cuales se parte, para el cálculo de los proporcionamientos para el diseño de la mezcla de suelo cemento-fluido, correspondiente a esta tesis.

PVSS (tepetate)	1011.1	kg/m ³
Agua para 1 m3 de mezcla	340	lts
Aditivo Maxe-h para 1 m3 de tepetate	1000	gr

Tabla 28: Datos de partida para la elaboración de la mezcla de suelo-cemento fluido.

En la siguiente tabla se muestran los resultados del volumen requerido de suelo (tepetate) para elaborar 8 especímenes.

MATERIAL (TEPETATE) PARA 8 CILINDROS		
Diámetro	10	cm
h	20	cm
Área	78.54	cm ²
Volumen cilindro	1570.80	cm ³
Vol. 8 cilindros	0.0126	m ³
Volumen suelo	0.0145	m ³

TABLA 29: Volumen de suelo (tepetate), para ocho cilindros.

El diámetro y la altura (h) son obtenidos directamente de los molde para fabricación de especímenes.

Para el cálculo del área se utiliza la fórmula siguiente:

$$\text{Área} = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Para calcular el volumen se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen cilindro} = \text{Área} * h$$

Para el cálculo del volumen para 8 cilindros del material (tepetate) en m³ se usa la fórmula siguiente:

$$\text{Vol. 8 cilindros} = \frac{\text{Volumen cilindro} * 8}{100^3}$$

Tomando un 15% de desperdicio, se obtiene el volumen de suelo (tepetate) para elaborar 8 especímenes, se determina de la forma siguiente:

$$\text{Volumen suelo} = \text{Vol. 8 cilindros} * 1.15$$

La tabla siguiente muestra los resultados de los pesos de suelo (tepetate), cemento, aditivo y el volumen de agua, que deben emplearse para preparar 8 especímenes de suelo-cemento fluido, para los diferentes porcentajes de cemento.

Porcentajes cemento	Cemento para 1m ³ de tepetate	Cemento para 8 cilindros	Agua para 8 cilindros	Maxe-h para 8 cilindros	Tepetate para 8 cilindros
(%)	(kg/m ³)	(kg)	(lts)	(gr)	(kg)
10%	101.1	1.46	4.91	14.5	14.61
15%	151.7	2.19	4.91	14.5	14.61
20%	202.2	2.92	4.91	14.5	14.61
30%	303.3	4.38	4.91	14.5	14.61
40%	404.5	5.84	4.91	14.5	14.61
70%	707.8	10.23	4.91	14.5	14.61

TABLA 30: Muestra los porcentajes de cemento propuestos, el cemento en kg requerido para 1 m³ de tepetate, así como los pesos de cemento, aditivo Maxe-h (1%), tepetate y volumen de agua que se requiere para elaborar 8 especímenes de suelo-cemento fluido.

Para calcular el peso de cemento en kg que se requiere para 1m³ de tepetate se usa la fórmula siguiente:

$$\text{Cemento para 1m}^3 \text{ de tepetate} = \% \text{ cemento} * \text{PVSS}$$

Para el cálculo del peso de cemento en kg requerido para elaborar 8 cilindros de suelo-cemento fluido, se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{Cemento para 8 cilindros} = \text{cemento para 1m}^3 \text{ de tepetate} * \text{Volumen suelo}$$

Para determinar el agua en litros aproximada que se requiere para elaborar 8 especímenes, se usa la fórmula siguiente:

$$\text{Agua para 8 cilindros} = \text{Agua para } 1\text{m}^3 \text{ de mezcla} * \text{Volumen suelo}$$

Para calcular el peso del aditivo Maxe-h en gr, para elaborar 8 especímenes se emplea la fórmula siguiente:

$$\text{Maxeh 8 cilindros} = \text{Aditivo Maxeh para } 1\text{m}^3 \text{ de tepetate} * \text{Volumen suelo}$$

Para calcular el peso en kg del tepetate que se debe emplear para elaborar 8 especímenes, se usa la siguiente fórmula:

$$\text{Tepetate para 8 cilindros} = \text{PVSS} * \text{Volumen suelo}$$

3.10.2.2.- Especímenes con 5% de aditivo Maxe-h.

Los pesos de cemento, suelo (tepetate) y volumen de agua necesarios para elaborar 8 testigos con las mismas características son los mismos que los calculados anteriormente, únicamente cambia el peso del aditivo en un incremento de 5 veces. Como el porcentaje de aditivo está en función únicamente del volumen del suelo no se modifican los demás valores. Por lo tanto, los resultados son los que se muestran en la siguiente tabla.

Porcentajes cemento	Cemento para 1m ³ de tepetate	Cemento para 8 cilindros	Agua para 8 cilindros	Maxe-h para 8 cilindros	Tepetate para 8 cilindros
(%)	(kg/m ³)	(kg)	lts	(gr)	(kg)
10%	101.1	1.46	4.91	72.3	14.61
15%	151.7	2.19	4.91	72.3	14.61
20%	202.2	2.92	4.91	72.3	14.61
30%	303.3	4.38	4.91	72.3	14.61
40%	404.5	5.84	4.91	72.3	14.61

TABLA 31: Muestra los porcentajes de cemento propuestos, el cemento en kg requerido para 1 m³ de tepetate, así como los pesos de cemento, aditivo Maxe-h (5%), tepetate y volumen de agua que se requiere para elaborar 8 especímenes de suelo-cemento fluido.

Para calcular el peso del aditivo Maxe-h en gr, para elaborar 8 especímenes se emplea la fórmula siguiente:

$$\text{Maxeh 8 cilindros} = \text{Aditivo Maxeh para } 1\text{m}^3 \text{ de tepetate} * 5 * \text{Volumen suelo}$$

3.11.- ELABORACIÓN DE LOS ESPECÍMENES.

En total se elaborarán 168 cilindros, tal y como se desglosan en las tablas 32 y 33. Con los resultados se determinarán los contenidos óptimos de suelo, cemento, aditivo Maxe-h y agua, para el diseño de la mezcla de suelo-cemento fluido, en base a su comportamiento en condiciones saturadas y no saturadas. Alcanzando una resistencia mínima a la compresión de 25 kg/cm^2 a los 28 días.

Se elaborarán de igual manera los cilindros, tanto para condiciones saturadas como para no saturadas, se curarán con bolsa muy húmedas durante las primeras 24 horas hasta su descimbrado. Posteriormente después del descimbrado los especímenes en condiciones saturadas se colocarán en una pila de saturación para su curado y fraguado hasta la edad de prueba, mientras que los especímenes en condiciones no saturadas se mantendrán en condiciones ambientales cubiertos con bolsas muy húmedas que se humedecerán cada 24 horas, para su curado y fraguado, hasta la edad de prueba.

CILINDROS EN CONDICIONES SATURADAS.

Proporcionamientos de cemento	Cilindros con 1% de Maxe-h	Cilindros con 5% de Maxe-h
10%	8	8
15%	8	8
20%	8	8
30%	8	8
40%	8	8
70%	8	
Suma	48	40

TABLA 32: Especímenes a elaborar para condiciones saturadas.

CILINDROS EN CONDICIONES NO SATURADAS.

Proporcionamientos de cemento	Cilindros con 1% de Maxe-h	Cilindros con 5% de Maxe-h
10%	8	8
15%	8	8
20%	8	8
30%	8	8
40%	8	8
Suma	40	40

TABLA 33: Especímenes a elaborar para condiciones no saturadas.

3.11.1.- Pesos de los materiales.

TEPETATE.

Se pesan las cantidades de tepetate de acuerdo a los proporcionamientos calculados anteriormente. Para con estas cantidades realizar las mezclas con los diferentes porcentajes de cemento y aditivo Maxe-h.



FIGURA 100: Tepetate para elaboración de la mezcla.

CEMENTO.

Se pesan las cantidades de cemento de acuerdo a los proporcionamientos calculados anteriormente, para cada uno de los porcentajes propuesto y con estas cantidades realizar las mezclas. Cemento Cemex Tolteca Extra CPC 30R, es el cemento empleado para la preparación de las mezclas de suelo-cemento fluido, en esta tesis.



FIGURA 101: Cemento empleado en preparación de las mezclas.



FIGURA 102: Cemento pesado para los porcentajes propuestos.

ADITIVO MAXE-H.

El aditivo MAXE-H es pesado de acuerdo a los proporcionamientos calculados anteriormente y se mezcla en agua por un periodo de cuando menos 10 minutos manteniendo en reposo antes de ser agregado a la mezcla.

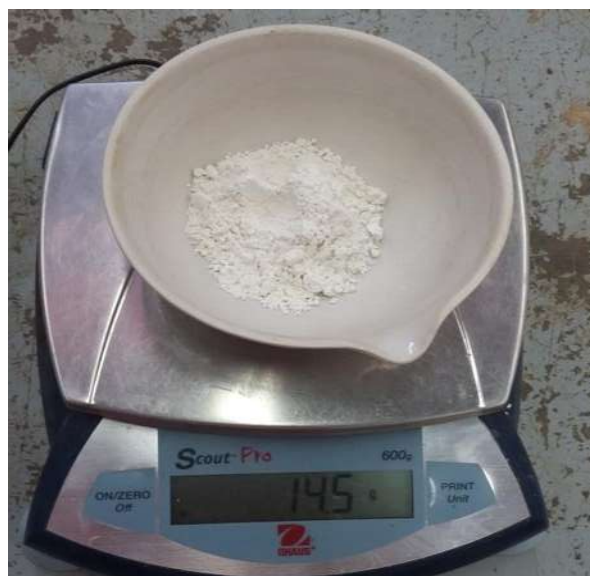


FIGURA 103: Peso del aditivo Maxe-h.



FIGURA 104: Dilución del aditivo Maxe y puesto en reposo.

AGUA.

Se realiza un registro del agua real necesaria para la elaboración de la mezcla de suelo-cemento fluido, debido a que la absorción que presenta cada tipo de suelo no se puede establecer un valor exacto, por lo tanto, las cantidades de agua calculadas anteriormente solo son representativas.

3.11.2.- Preparación de la mezcla de suelo-cemento fluido.

La mezcla de suelo (tepetate) y cemento se hace en seco, hasta que se logre una buena homogenización, entonces se le aplicará una porción de agua, posteriormente el aditivo Maxe-h diluido y finalmente el resto del agua.



FIGURA 105: Homogenización en seco de suelo y cemento.

Una vez homogenizado el suelo con el cemento se aplica una cantidad mínima de agua. Posteriormente se le agrega el aditivo Maxe-h diluido.



FIGURA 106: Agregación de una porción de agua y aditivo Maxe-h.

Posteriormente se realiza el mezclado y se agrega el resto del agua. La cantidad de agua será la mínima necesaria previamente calculada para que la mezcla adquiera la textura de un concreto fresco con un revenimiento de 8 a 14 cm.



FIGURA 107: Mezclado de los materiales con el agua necesaria para obtener un revenimiento entre 8 y 14 cm.

3.11.3.- Temperatura de la mezcla de suelo-cemento fluido.

La temperatura de la mezcla es un dato importante que se debe de tomar en el momento de su elaboración, para conocer a que temperatura se está elaborando y la influencia que tiene en la mezcla este factor.



FIGURA 108: Colocación del termómetro para tomar la temperatura de la mezcla.

3.11.4.- Revenimiento.

Se realiza la prueba del revenimiento, para conocer la fluidez de la mezcla. Se recomiendan revenimientos entre 8 y 14 cm para las mezclas de suelo-cemento fluido, en este rango no se ve disminuida la resistencia de la mezcla por el contenido de agua. Puede haber revenimientos mayores o menores a este rango cuando el diseño así lo disponga.

Se colocan los pies sobre las dos pestañas del cono de revenimiento firmemente. Se llena el cono con un cucharón o cuchara de albañil aproximadamente a un tercio de su altura con la mezcla de suelo-cemento fluido.

Se le dan 25 golpes (o piquetes) utilizando una barra de acero de 3/8 de pulgada (varilla recomendada para el molde cilíndrico empleado), el varillado se hace en forma de espiral distribuyendo el material dentro del cono, el cono es llenado en

tres capas siguiendo el mismo procedimiento. Se debe tener cuidado de no penetrar la capa inferior durante el varillado.



FIGURA 109: Llenado del cono para determinar el revenimiento.



FIGURA 110: Varillado de la capa de mezcla en forma de espiral.

El cono es llenado hasta el tope se le dan 25 golpes (o piquetes) sin penetrar la segunda capa, distribuyendo los golpes de manera uniforme, se remueve el

material del tope del cono con la barra, de tal manera que el cono este completamente lleno y enrasado.



FIGURA 111: Forma de enrasar el cono de revenimiento.

Se retira el exceso del material del rededor de la base del cono, tomando el cono de sus orejas se procede a su desmolde con mucho cuidado y de un solo tirón.



FIGURA 112: Desmolde de la mezcla, para medir el revenimiento.

Se coloca la barra horizontalmente sobre el cono invertido, inmediatamente con un flexometro se mide la distancia entre, la parte inferior de la barra y el centro de la

parte superior de la muestra. Esta distancia es el revenimiento del material. Si existe una caída lateral o una inclinación del material hacia un lado se descarta el ensayo y se vuelve a repetir la operación.



FIGURA 113: Forma de medir el revenimiento de la mezcla.

3.11.5.- Colado de especímenes.

Utilizando un cucharón metálico o cuchara de albañil, cada espécimen o cilindro es llenado en tres capas en el interior de cada molde, compactando la mezcla mediante un proceso de varillado (25 piquetes) en cada capa, de igual forma se le aplican golpes con un martillo de hule en el exterior del cilindro en cada capa para eliminar el exceso de aire dentro de la mezcla, después se enrasa el molde para eliminar algún exceso de mezcla y proporcionar una superficie plana.



FIGURA 114: Llenado y varillado del espécimen.



FIGURA 115: Uso del martillo de hule para expulsar el aire contenido en la mezcla.



FIGURA 116: Enrase del espécimen con la varilla metálica.

Después se procede a pesar los especímenes junto con el molde que los contiene para determinar su peso volumétrico fresco, posteriormente se colocan en un lugar seguro para así finalizar el proceso de su elaboración.



FIGURA 117: Peso del espécimen fresco.

Los especímenes colados deben de curarse cubriéndolos con bolsas muy húmedas, durante 24 horas antes de ser descimbrados, tanto en condiciones saturadas como no saturadas.



FIGURA 118: Especímenes curados con bolsas húmedas durante 24 horas.

3.11.6.- Descimbrado, curado y fraguado de especímenes en condiciones saturadas.

Los especímenes se descimbran a las 24 horas después de su fabricación. Cada espécimen es numerado y colocado en la pila de saturación para su curado y fraguado hasta la edad de prueba.



FIGURA 119: Forma de descimbrar los especímenes.



FIGURA 120: Espécimen descimbrado y numerado.



FIGURA 121: Especímenes curados en pila de saturación, hasta la edad de prueba.

3.11.7.- Descimbrado, curado y fraguado de especímenes en condiciones no saturadas.

Los especímenes se descimbran a las 24 horas después de su fabricación. Cada espécimen es numerado y colocado en un lugar seguro en condiciones ambientales, cubierto con una bolsa de plástico muy húmeda para curado y fraguado hasta la edad de prueba. La bolsa debe de humedecerse a diario.



FIGURA 122: Cilindros descimbrados y numerados.



FIGURA 123: Especímenes colocados en un lugar seguro, cubiertos con bolsas de plástico muy húmedas.

3.12.- PRUEBA DE COMPRESIÓN SIMPLE EN ESPECÍMENES.

Se ensayarán a compresión simple, dos especímenes por edad, 2 a 3 días, 2 a 7 días, 2 a 14 días y 2 a 28 días. Los ensayos de especímenes se realizarán en ese mismo orden para cada proporcionamiento, para así encontrar el que será el

adecuado, el proporcionamiento ideal será el que logre una resistencia mínima a la compresión simple de 25 kgf/cm^2 (2.45MPa) a los 28 días.

Se prueban de igual manera los cilindros para condiciones saturadas como para condiciones no saturadas, con la excepción de que los cilindros saturados se deben secar superficialmente antes de ser cabeceados, para que no se adhiera el material para cabeceo y evitar escurrimientos de agua sobre las máquinas de prueba.

3.12.1.- Preparación de los especímenes saturados y no saturados.

Los especímenes saturados se retiran de la pila de saturación a la edad de prueba, se secan superficialmente con una franela, posteriormente se cabecean y se prueban a compresión simple.



FIGURA 124: Espécimen saturado, secado superficialmente listo para ser cabeceado y probado.

A los especímenes no saturados, se les retira la bolsa húmeda a la edad de prueba, posteriormente se cabecean y se prueban a compresión simple.



FIGURA 125: Especímenes no saturados, listos para cabecear y ser probados.

Para el cabeceo de los especímenes se utiliza arena fina de mar cribada por la malla N°30 mezclada con una porción de cemento portland con ayuda de una espátula de bordes rectos. La espátula se utiliza además, para esparcir el material de forma uniforme y lograr una capa plana de arena y cemento comprendida entre 6 y 10 mm de espesor, para su posterior ensaye en la máquina de compresión simple.



FIGURA 126: Mezcla de arena y cemento, para cabecear los especímenes.



FIGURA 127: Cabeceo de especímenes.

3.12.2.- Prueba de compresión simple.

La prueba de compresión simple fue seleccionada en vista de que es muy sencillo determinar la cohesión y la determinación del esfuerzo máximo a la compresión de un suelo, datos que son de mucha utilidad en el diseño de cimentaciones y estabilidad de taludes a corto plazo.

La prueba de compresión simple se realizará con la prensa hidráulica que se encuentra en la sección de mecánica de suelos, a los especímenes con edades de 3 y 7 días, para condiciones saturadas y no saturadas, será igual.

La prueba de compresión simple se realizará con la maquina universal Forney que se encuentra en la sección de resistencia de materiales, a los especímenes con edades de 14 y 28 días, para condiciones saturadas y no saturadas, será igual.

ESPECÍMENES ENSAYADOS EN PRENSA DE COMPRESIÓN HIDRÁULICA.

Consiste en colocar el espécimen en la máquina de prensa hidráulica de tal manera que quede centrado. Se ajusta el espécimen en la prensa hidráulica

cuidadosamente de tal manera que la placa superior apenas haga contacto con el espécimen. Se coloca en ceros el indicador de deformación. Se aplica la carga al espécimen hasta que se produzca una deformación o ruptura del espécimen. Se registra la carga de falla y deformación. Estos datos son utilizados para calcular la resistencia a la compresión.

Para esta tesis se llevó acabo la prueba de compresión simple para la los cilindros con una edad de 3 y 7 días con la prensa de compresión hidráulica (utilizada para realizar la prueba de compactación Porter estándar) del laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por recomendación del M.I. Felipe de Jesús Jerónimo Rodríguez (Jefe del departamento de mecánica de suelos de la U.M.S.N.H. y asesor de esta tesis.). Los cilindros con edad de 14 y 28 días se ensayaron en la maquina universal Forney que se encuentra en la sección de resistencia de materiales, debido a que ésta máquina presenta mayor exactitud.



FIGURA 128: Especimen colocado en la prensa para ser probado.



Figura 129: Muestra la falla del cilindro por carga a compresión simple.



FIGURA 130: Muestra la forma de tomar la lectura de la carga.

Las cargas soportadas por los especímenes son registradas para su posterior análisis. De esta manera se tiene el registro de las cargas de compresión simple soportada por los especímenes con edades de 3 y 7 días, dichos especímenes en condiciones saturadas y no saturadas, en los diferentes proporcionamientos de cemento (10%, 15%, 20%, 30% y 40%) ensayados en la prensa hidráulica.

ESPECÍMENES ENSAYADOS EN MAQUINA UNIVERSAL FORNEY.

Los especímenes con edades de 14 y 28 días se probaron en la maquina universal Forney, ensayando 2 a 14 días, y 2 a 28 días, para cada uno de los diferentes proporcionamientos de cemento (10%, 15%, 20%, 30% y 40%). La máquina universal Forney es la apropiada para el ensaye de especímenes a compresión, en especial para tomar las lecturas de los especímenes ensayados a los 28 días de edad debido a que es la lectura de aceptación o rechazo, que es cuando los especímenes alcanzan su máxima resistencia a la compresión. Cada uno de los valores de las cargas a compresión simple soportadas por los especímenes a 14 y 28 días, son registrados para su posterior análisis. El proporcionamiento ideal es con el que se logre una resistencia a la compresión mínima de 25 kg/cm^2 (2.45MP) a los 28 días.

Se centra el espécimen cabeceado entre 2 platinas para que la aplicación de la carga sea uniforme en toda el área.



FIGURA 131: Muestra la colocación del espécimen en la maquina universal Forney.



FIGURA 132: Aplicación de la carga de compresión simple con la maquina universal Forney.



FIGURA 133: Muestra la falla del espécimen por compresión simple.

Las cargas máximas soportadas por los especímenes son registradas para su posterior análisis. De esta manera se tiene el registro de las cargas de compresión simple soportada por los especímenes con edades de 14 y 28 días, para cada uno de los diferentes proporcionamientos de cemento (10%, 15%, 20%, 30% y 40%) ensayados en la máquina universal Forney.

3.13.- REPORTE FOTOGRÁFICO.

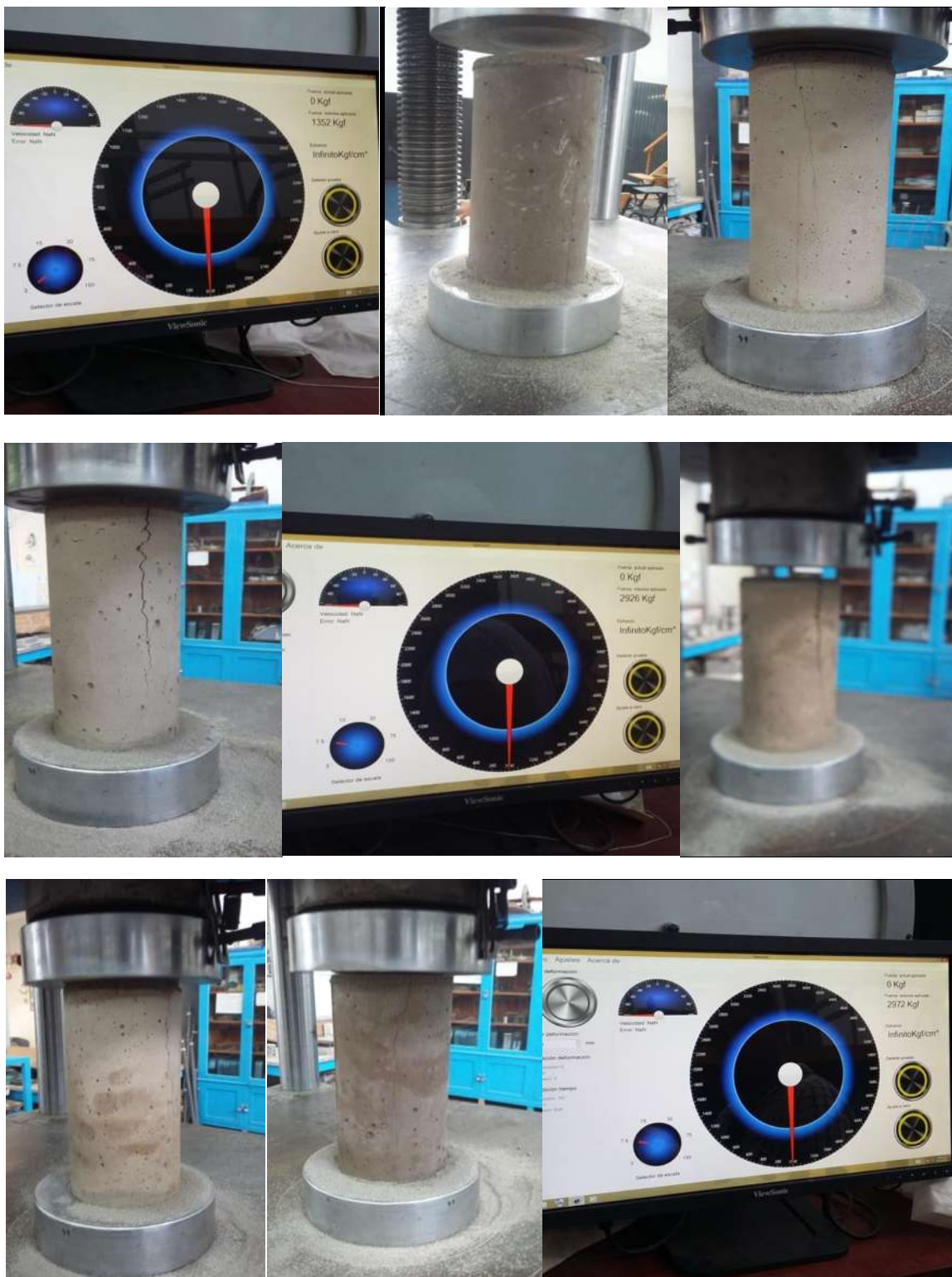
A continuación se muestra un reporte fotográfico de los ensayos a compresión simple, de los especímenes en condiciones saturadas y no saturadas, ensayados en la prensa de compresión hidráulica a 3 y 7 días, y maquina universal Forney, a 14 y 28 días. Donde se muestran fotos del cabeceo de los especímenes, de la colocación en la en la prensa hidráulica y máquina universal Forney, de la ruptura de los especímenes y de la lectura de la carga soportada por los cilindros.





Reporte fotográfico de especímenes saturados y no saturados, probados a compresión simple a 3 y 7 días en la prensa de compresión hidráulica.





Reporte fotográfico de especímenes saturados y no saturados, probados a compresión simple a 14 y 28 días en la maquina universal Forney.

4.- ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RESULTADOS.

4.1.- ESPECÍMENES EN CONDICIONES SATURADAS.

4.1.1.- Tablas, gráficas y resultados de los proporcionamientos para especímenes en condiciones saturadas con 1% de aditivo Maxe-h.

TABLA DE PROPORCIONAMIENTOS, REVENIMIENTOS Y TEMPERATURAS.

Porcentaje de cemento	Cemento para 1 m3 de tepetate	Pesos y volúmenes para 8 cilindros						Revenimiento	Temperatura
		Suelo	suelo + 15% desperdicio	Cemento	Agua real	Aditivo Maxe-h	Tepetate		
(%)	(kg)	(m3)	(m3)	(kg)	(lts)	(gr)	(kg)	(cm)	°C
10%	101.1	0.0126	0.0145	1.46	6.4	14.45	14.61	10.0	22.0
15%	151.7	0.126	0.0145	2.19	6.3	14.45	14.61	9.0	22.0
20%	202.2	0.126	0.0145	2.92	7.1	14.45	14.61	14.0	23.0
30%	303.3	0.126	0.0145	4.38	6.4	14.45	14.61	9.0	22.5
40%	404.5	0.126	0.0145	5.84	6.9	14.45	14.61	10.0	24.0
70%	707.8	0.126	0.0145	10.23	7.4	14.45	14.61	12.0	22.5

TABLA 34: Muestra los resultados de los proporcionamientos, revenimientos y temperaturas de las mezclas, para condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

TABLA DE RESULTADOS DE LOS PESOS VOLUMÉTRICOS.

N° de muestra	Porcentaje de cemento	Diámetro	Área	Altura	Volumen	Peso fresco	Peso volumétrico fresco	Peso a edad de prueba	Peso vol. a edad de prueba
-	(%)	cm	cm ²	cm	m ³	kg	kg/m ³	kg	kg/m ³
1	10%	10	78.54	20	0.001571	2.590	1649	2.580	1642
2	10%	10	78.54	20	0.001571	2.590	1649	2.580	1642
3	10%	10	78.54	20	0.001571	2.580	1642	2.575	1639
4	10%	10	78.54	20	0.001571	2.590	1649	2.575	1639
5	10%	10	78.54	20	0.001571	2.580	1642	2.570	1636
6	10%	10	78.54	20	0.001571	2.580	1642	2.570	1636
7	10%	10	78.54	20	0.001571	2.580	1642	2.570	1636
8	10%	10	78.54	20	0.001571	2.590	1649	2.575	1639
1	15%	10	78.54	20	0.001571	2.610	1662	2.600	1655
2	15%	10	78.54	20	0.001571	2.610	1662	2.600	1655
3	15%	10	78.54	20	0.001571	2.605	1658	2.600	1655
4	15%	10	78.54	20	0.001571	2.605	1658	2.600	1655
5	15%	10	78.54	20	0.001571	2.600	1655	2.600	1655
6	15%	10	78.54	20	0.001571	2.650	1687	2.595	1652
7	15%	10	78.54	20	0.001571	2.610	1662	2.605	1658
8	15%	10	78.54	20	0.001571	2.610	1662	2.600	1655
1	20%	10	78.54	20	0.001571	2.650	1687	2.640	1681
2	20%	10	78.54	20	0.001571	2.630	1674	2.625	1671
3	20%	10	78.54	20	0.001571	2.630	1674	2.620	1668
4	20%	10	78.54	20	0.001571	2.635	1677	2.630	1674
5	20%	10	78.54	20	0.001571	2.640	1681	2.630	1674
6	20%	10	78.54	20	0.001571	2.630	1674	2.620	1668
7	20%	10	78.54	20	0.001571	2.630	1674	2.620	1668
8	20%	10	78.54	20	0.001571	2.645	1684	2.640	1681

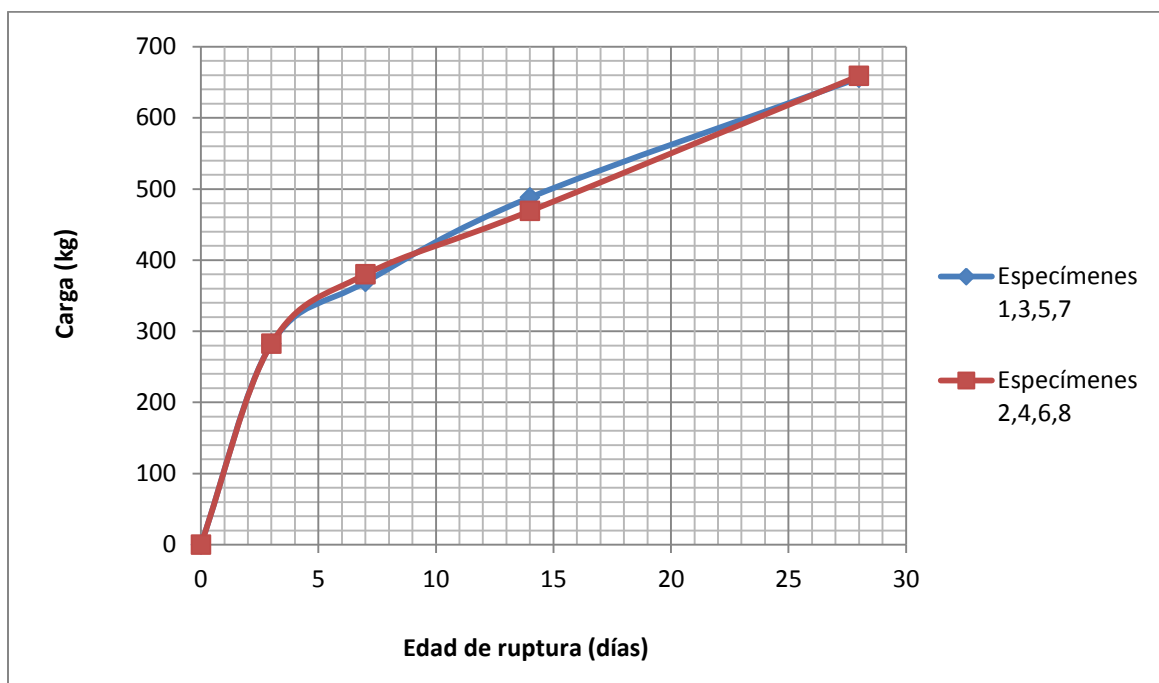
1	30%	10	78.54	20	0.001571	2.640	1681	2.635	1677
2	30%	10	78.54	20	0.001571	2.645	1684	2.635	1677
3	30%	10	78.54	20	0.001571	2.640	1681	2.635	1677
4	30%	10	78.54	20	0.001571	2.635	1677	2.620	1668
5	30%	10	78.54	20	0.001571	2.640	1681	2.630	1674
6	30%	10	78.54	20	0.001571	2.645	1684	2.635	1677
7	30%	10	78.54	20	0.001571	2.645	1684	2.635	1677
8	30%	10	78.54	20	0.001571	2.640	1681	2.620	1668
1	40%	10	78.54	20	0.001571	2.660	1693	2.600	1655
2	40%	10	78.54	20	0.001571	2.650	1687	2.640	1681
3	40%	10	78.54	20	0.001571	2.670	1700	2.600	1655
4	40%	10	78.54	20	0.001571	2.650	1687	2.645	1684
5	40%	10	78.54	20	0.001571	2.655	1690	2.645	1684
6	40%	10	78.54	20	0.001571	2.665	1697	2.655	1690
7	40%	10	78.54	20	0.001571	2.655	1690	2.640	1681
8	40%	10	78.54	20	0.001571	2.665	1697	2.650	1687
1	70%	10	78.54	20	0.001571	2.360	1502	2.355	1499
2	70%	10	78.54	20	0.001571	3.350	2133	2.340	1490
3	70%	10	78.54	20	0.001571	3.365	2142	2.355	1499
4	70%	10	78.54	20	0.001571	2.365	1506	2.340	1490
5	70%	10	78.54	20	0.001571	2.345	1493	2.335	1487
6	70%	10	78.54	20	0.001571	2.350	1496	3.340	2126
7	70%	10	78.54	20	0.001571	2.360	1502	3.335	2123
8	70%	10	78.54	20	0.001571	2.360	1502	2.335	1487

TABLA 35: Muestra los pesos volumétricos frescos y pesos volumétricos a la edad de prueba, de los especímenes en condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

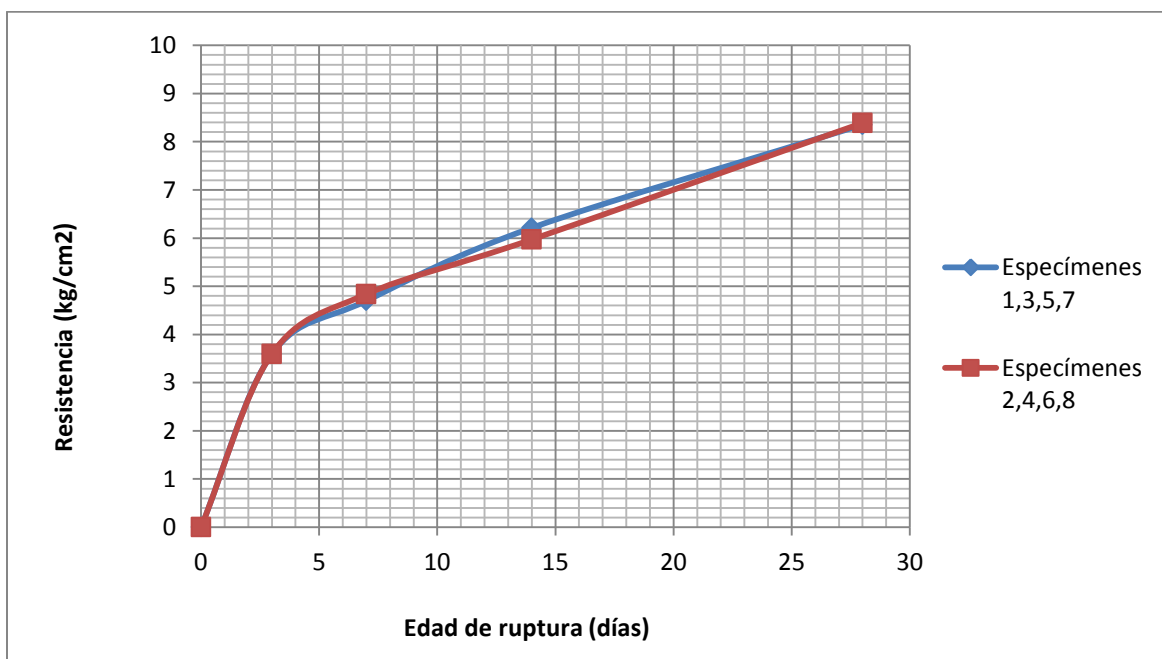
4.1.1.1.- Proporcionamiento del 10% de cemento, para condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

N° de muestra	Propor. de cemento	Propor. Maxe-h	Propor. de tepetate	Propor. de agua	Revenimiento	Fecha de colado	Fecha de ruptura	Edad	F'c	Carga	Resistencia	% de Resistencia
-	(kg)	(gr)	(kg)	(lts)	(cm)	-	-	(días)	kg/cm2 (MPa)	(kgf)	kg/cm2 (Mpa)	(%)
1	1.46	14.45	14.61	6.4	10	06/11/2015	09/11/2105	3	25 (2.45)	282.3	3.59 (0.35)	14.38%
2	1.46	14.45	14.61	6.4	10	06/11/2015	09/11/2105	3	25 (2.45)	282.3	3.59 (0.35)	14.38%
3	1.46	14.45	14.61	6.4	10	06/11/2015	13/11/2015	7	25 (2.45)	369.1	4.70 (0.46)	18.80%
4	1.46	14.45	14.61	6.4	10	06/11/2015	13/11/2015	7	25 (2.45)	380.0	4.84 (0.47)	19.35%
5	1.46	14.45	14.61	6.4	10	06/11/2015	20/11/2015	14	25 (2.45)	488	6.21 (0.61)	24.85%
6	1.46	14.45	14.61	6.4	10	06/11/2015	20/11/2015	14	25 (2.45)	469	5.97 (0.59)	23.89%
7	1.46	14.45	14.61	6.4	10	06/11/2015	04/12/2015	28	25 (2.45)	656	8.35 (0.82)	33.41%
8	1.46	14.45	14.61	6.4	10	06/11/2015	04/12/2015	28	25 (2.45)	659	8.39 (0.82)	33.56%

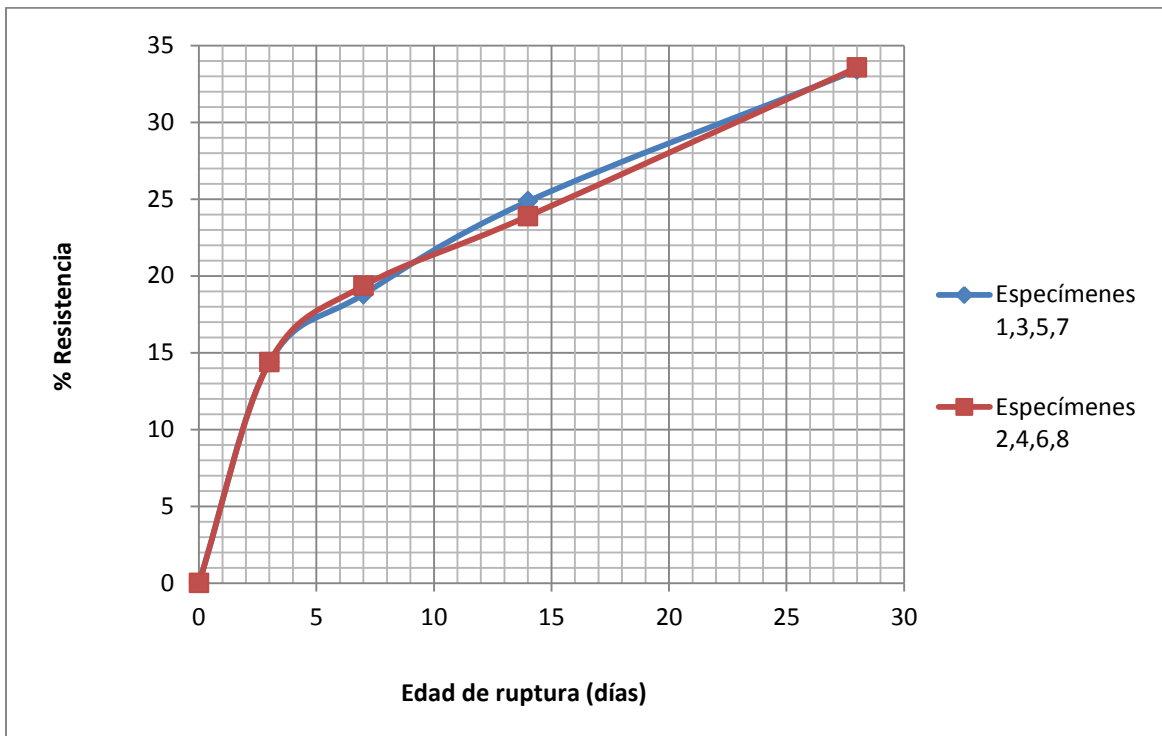
TABLA 36: Muestra las cargas soportadas, las resistencias y porcentajes de resistencias alcanzadas por los especímenes con 10% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas.



GRÁFICA 6: Carga – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 10% de cemento en condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



GRÁFICA 7: Resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 10% de cemento en condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



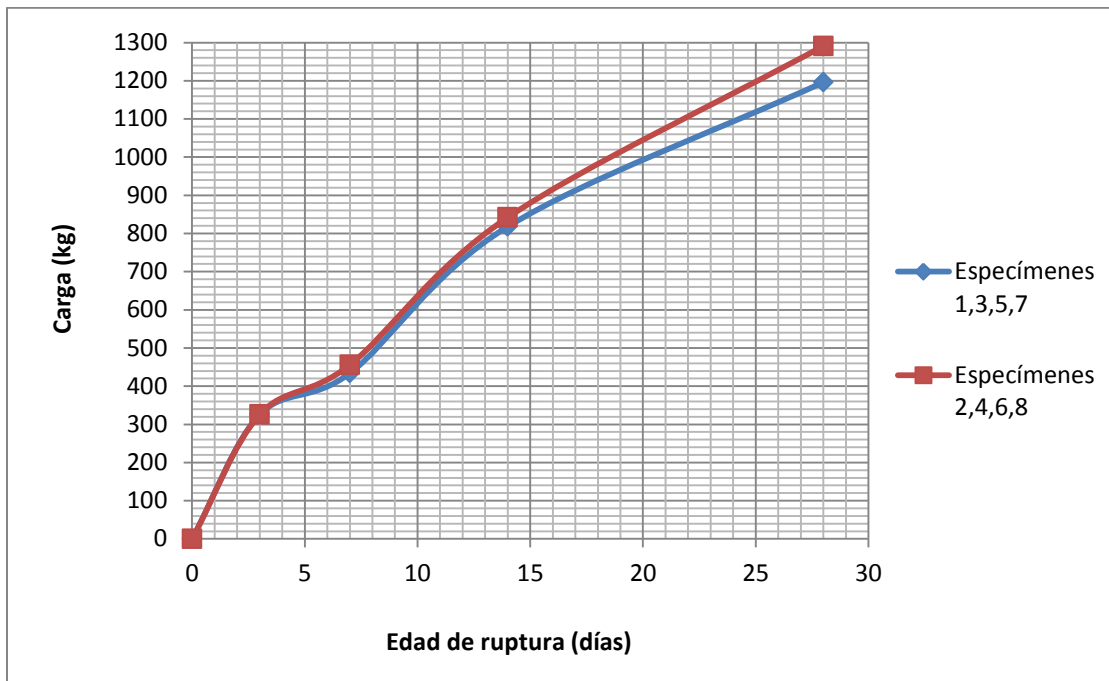
GRÁFICA 8: Por ciento de resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 10% de cemento en condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que, el proporcionamiento con 10% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas, no cumple con las especificaciones de ésta tesis, es decir, no alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm^2 , el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Por lo tanto, no se puede utilizar en el diseño de la mezcla para suelo-cemento fluido.

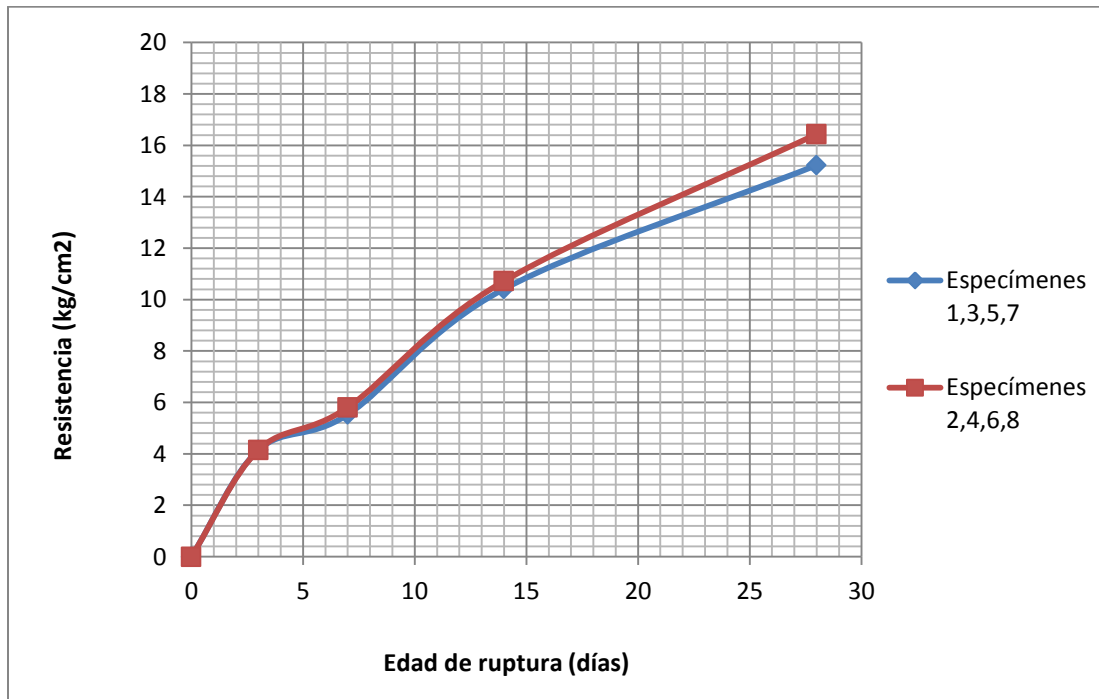
4.1.1.2.- Proporcionamiento del 15% de cemento, para condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

N° de muestra	Propor. de cemento	Propor. Maxe - h	Propor. de tepetate	Propor. de agua	Revenimiento	Fecha de colado	Fecha de ruptura	Edad	F'c	Carga	Resistencia	% de Resistencia
-	(kg)	(gr)	(kg)	(lts)	(cm)	-	-	(días)	(kg/cm ²)	(kgf)	(kg/cm ²) (MPa)	(%)
1	2.19	14.45	14.61	6.3	9	06/11/2015	09/11/2105	3	25 (2.45)	325.7	4.15 (0.41)	16.59%
2	2.19	14.45	14.61	6.3	9	06/11/2015	09/11/2105	3	25 (2.45)	325.7	4.15 (0.41)	16.59%
3	2.19	14.45	14.61	6.3	9	06/11/2015	13/11/2015	7	25 (2.45)	434.2	5.53 (0.54)	22.12%
4	2.19	14.45	14.61	6.3	9	06/11/2015	13/11/2015	7	25 (2.45)	456.0	5.81 (0.57)	23.22%
5	2.19	14.45	14.61	6.3	9	06/11/2015	20/11/2015	14	25 (2.45)	818	10.42 (1.02)	41.66%
6	2.19	14.45	14.61	6.3	9	06/11/2015	20/11/2015	14	25 (2.45)	842	10.72 (1.05)	42.88%
7	2.19	14.45	14.61	6.3	9	06/11/2015	04/12/2015	28	25 (2.45)	1196	15.23 (1.49)	60.91%
8	2.19	14.45	14.61	6.3	9	06/11/2015	04/12/2015	28	25 (2.45)	1291	16.44 (1.61)	65.75%

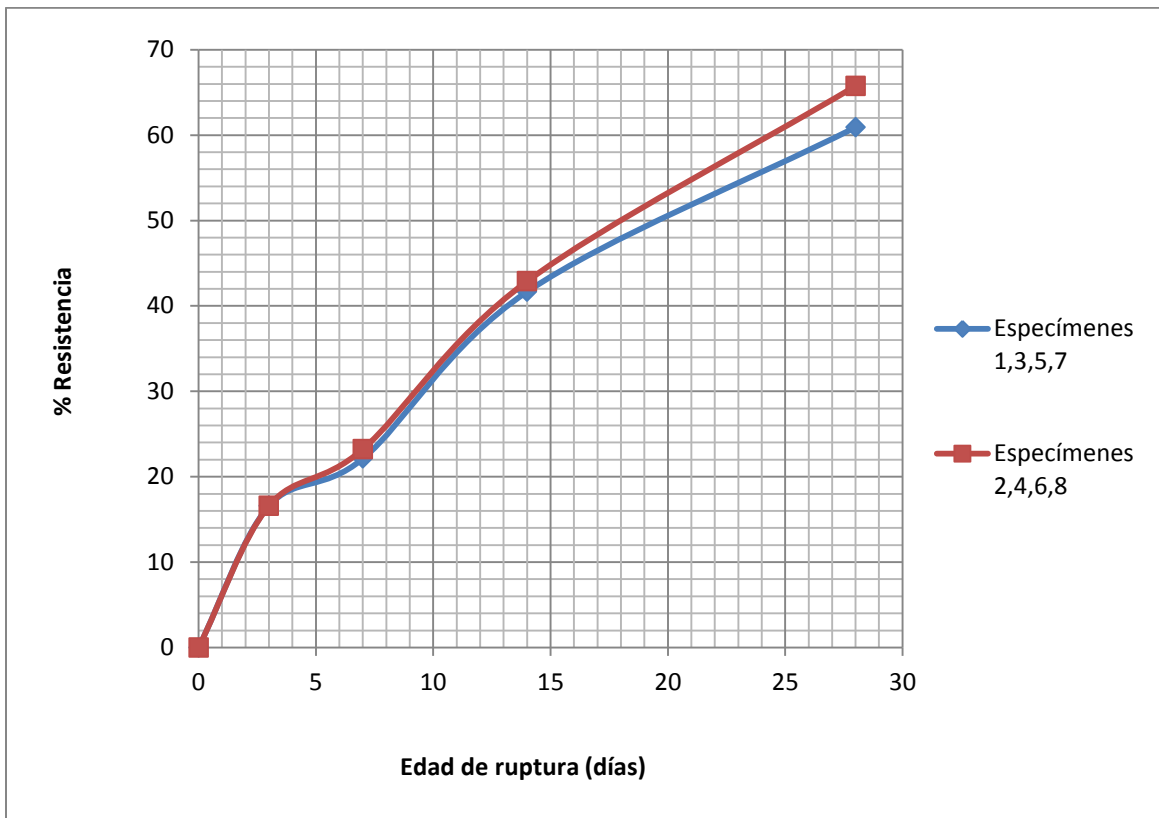
TABLA 37: Muestra las cargas soportadas, las resistencias y porcentajes de resistencias alcanzadas por los especímenes con 15% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas.



GRÁFICA 9: Carga – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 15% de cemento en condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



GRÁFICA 10: Resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 15% de cemento en condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



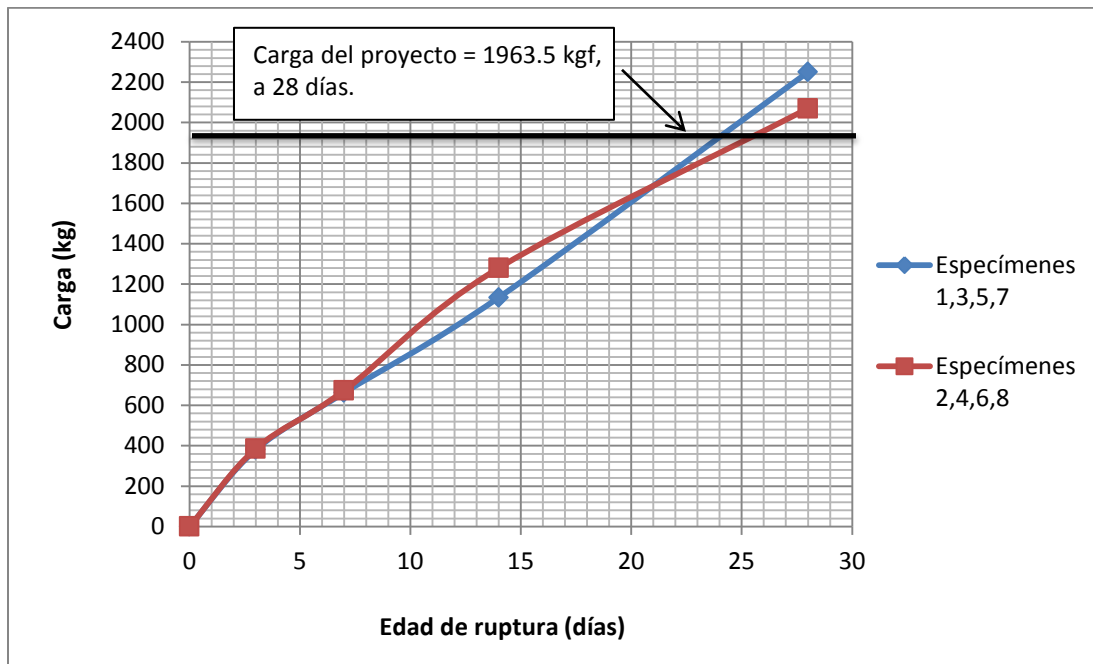
GRÁFICA 11: Por ciento de resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 15% de cemento en condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que, el proporcionamiento con 15% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas, no cumple con las especificaciones de ésta tesis, es decir, no alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm² y el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Por lo tanto, no se puede utilizar en el diseño de la mezcla para suelo-cemento fluido.

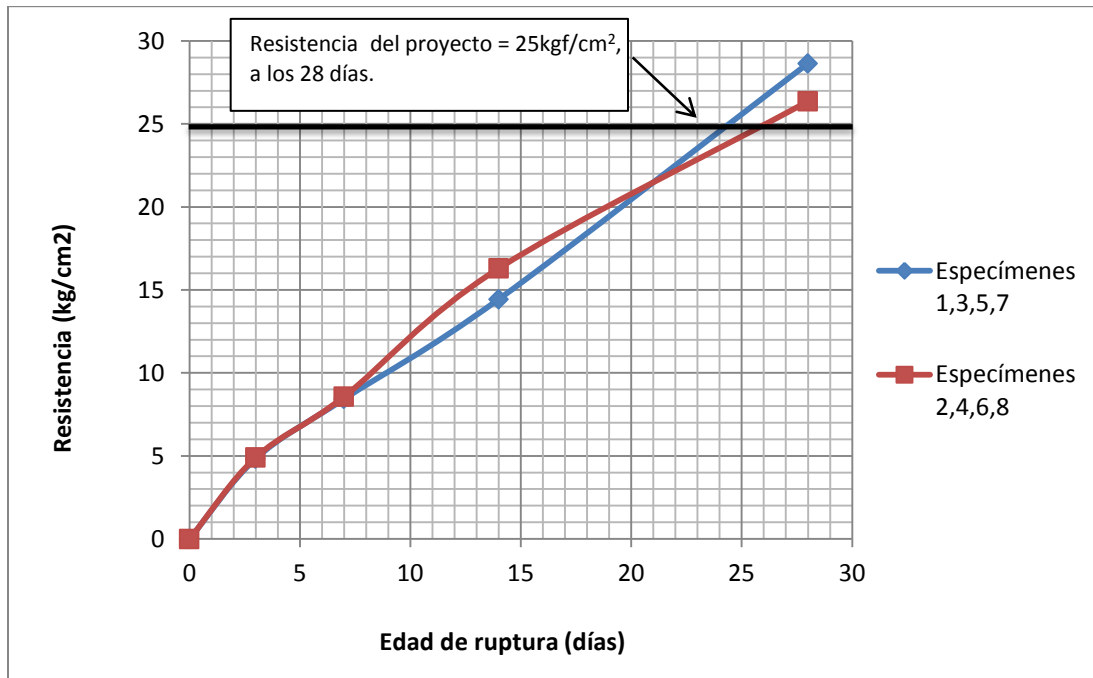
4.1.1.3.- Proporcionamiento del 20% de cemento, para condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

N° de muestra	Propor. de cemento	Propor. Maxe - h	Propor. de tepetate	Propor. de agua	Revenimiento	Fecha de colado	Fecha de ruptura	Edad	F'c	Carga	Resistencia	% de Resistencia
-	(kg)	(gr)	(kg)	(lts)	(cm)	-	-	(días)	(kg/cm ²)	(kgf)	(kg/cm ²) (MPa)	(%)
1	2.92	14.45	14.61	7.1	14	06/11/2015	09/11/2105	3	25 (2.45)	380.0	4.84 (0.47)	19.35%
2	2.92	14.45	14.61	7.1	14	06/11/2015	09/11/2105	3	25 (2.45)	385.4	4.91 (0.48)	19.63%
3	2.92	14.45	14.61	7.1	14	06/11/2015	13/11/2015	7	25 (2.45)	662.22	8.43 (0.83)	33.73%
4	2.92	14.45	14.61	7.1	14	06/11/2015	13/11/2015	7	25 (2.45)	673.07	8.57 (0.84)	34.28%
5	2.92	14.45	14.61	7.1	14	06/11/2015	20/11/2015	14	25 (2.45)	1134	14.44 (1.42)	57.75%
6	2.92	14.45	14.61	7.1	14	06/11/2015	20/11/2015	14	25 (2.45)	1280	16.30 (1.60)	65.19%
7	2.92	14.45	14.61	7.1	14	06/11/2015	04/12/2015	28	25 (2.45)	2250	28.65 (2.81)	114.59%
8	2.92	14.45	14.61	7.1	14	06/11/2015	04/12/2015	28	25 (2.45)	2070	26.36 (2.58)	105.42%

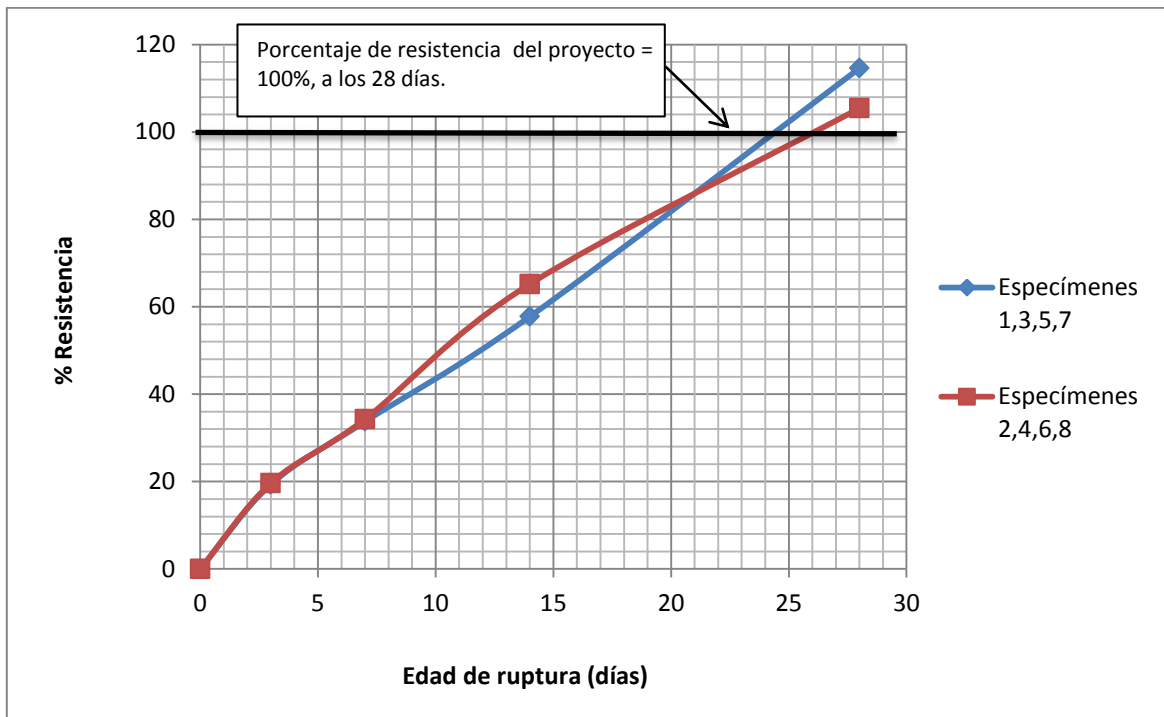
TABLA 38: Muestra las cargas soportadas, las resistencias y porcentajes de resistencias alcanzadas por los especímenes con 20% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas.



GRÁFICA 12: Carga – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 20% de cemento en condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



GRÁFICA 13: Resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 20% de cemento en condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



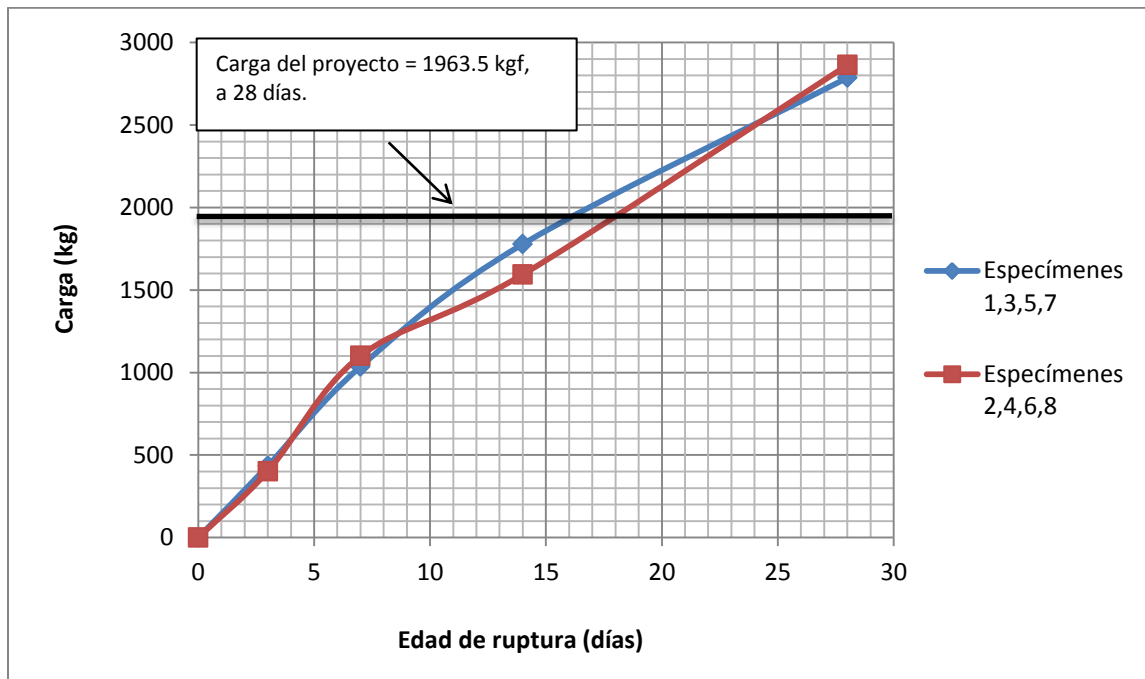
GRÁFICA 14: Por ciento de resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 20% de cemento en condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que, el proporcionamiento con 20% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas, cumple con las especificaciones de ésta tesis, es decir, alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm^2 y el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Por lo tanto, se puede utilizar en el diseño de la mezcla para suelo-cemento fluido.

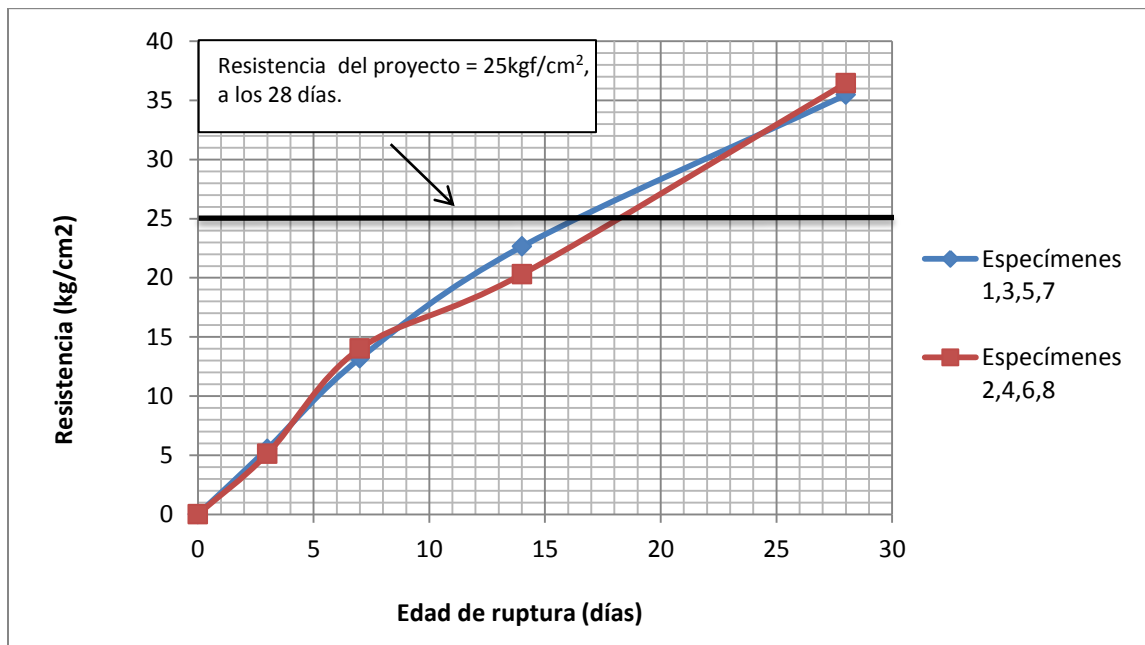
4.1.1.4.- Proporcionamiento del 30% de cemento, para condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

N° de muestra	Propor. de cemento	Propor. Maxe-h	Propor. de tepetate	Propor. de agua	Revenimiento	Fecha de colado	Fecha de ruptura	Edad	F'c	Carga	Resistencia	% de Resistencia
-	(kg)	(gr)	(kg)	(lts)	(cm)	-	-	(días)	(kg/cm ²)	(kgf)	(kg/cm ²) (MPa)	(%)
1	4.38	14.45	14.61	6.4	9	09/11/2015	12/11/2015	3	25 (2.45)	434.24	5.53 (0.54)	22.12%
2	4.38	14.45	14.61	6.4	9	09/11/2015	12/11/2015	3	25 (2.45)	401.67	5.11 (0.50)	20.46%
3	4.38	14.45	14.61	6.4	9	09/11/2015	16/11/2015	7	25 (2.45)	1035.8	13.19 (1.29)	52.75%
4	4.38	14.45	14.61	6.4	9	09/11/2015	16/11/2015	7	25 (2.45)	1100.6	14.01 (1.37)	56.05%
5	4.38	14.45	14.61	6.4	9	09/11/2015	23/11/2015	14	25 (2.45)	1778	22.64 (2.22)	90.55%
6	4.38	14.45	14.61	6.4	9	09/11/2015	23/11/2015	14	25 (2.45)	1594	20.30 (1.99)	81.18%
7	4.38	14.45	14.61	6.4	9	09/11/2015	07/12/2015	28	25 (2.45)	2786	35.47 (3.48)	141.89%
8	4.38	14.45	14.61	6.4	9	09/11/2015	07/12/2015	28	25 (2.45)	2863	36.45 (3.57)	145.81%

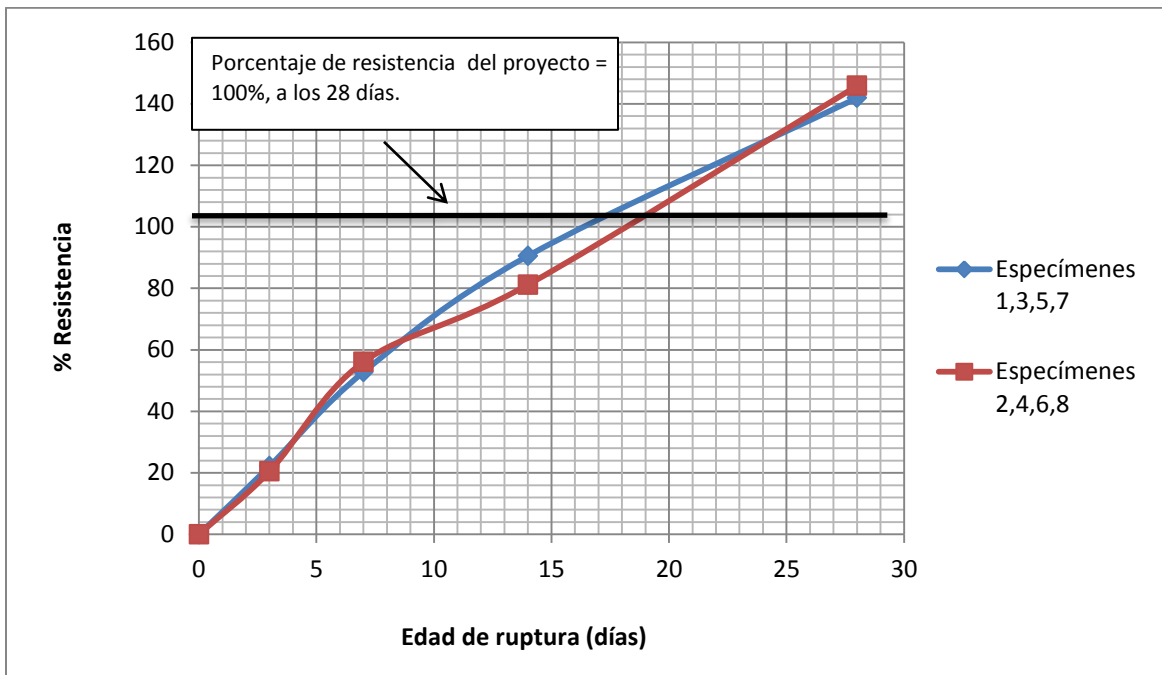
TABLA 39: Muestra las cargas soportadas, las resistencias y porcentajes de resistencias alcanzadas por los especímenes con 30% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas.



GRÁFICA 15: Carga – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 30% de cemento en condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



GRÁFICA 16: Resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 30% de cemento en condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



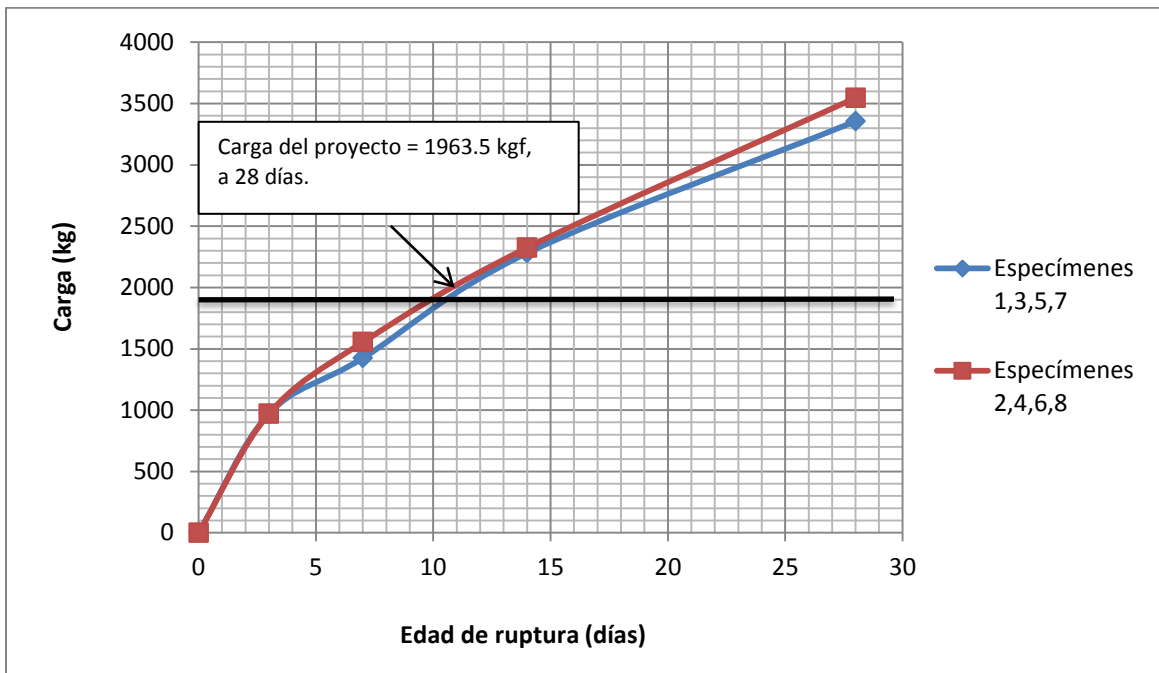
GRÁFICA 17: Por ciento de resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 30% de cemento en condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que, el proporcionamiento con 30% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas, cumple con las especificaciones de ésta tesis, es decir, alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm² y el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Por lo tanto se puede utilizar en el diseño de la mezcla para suelo-cemento fluido.

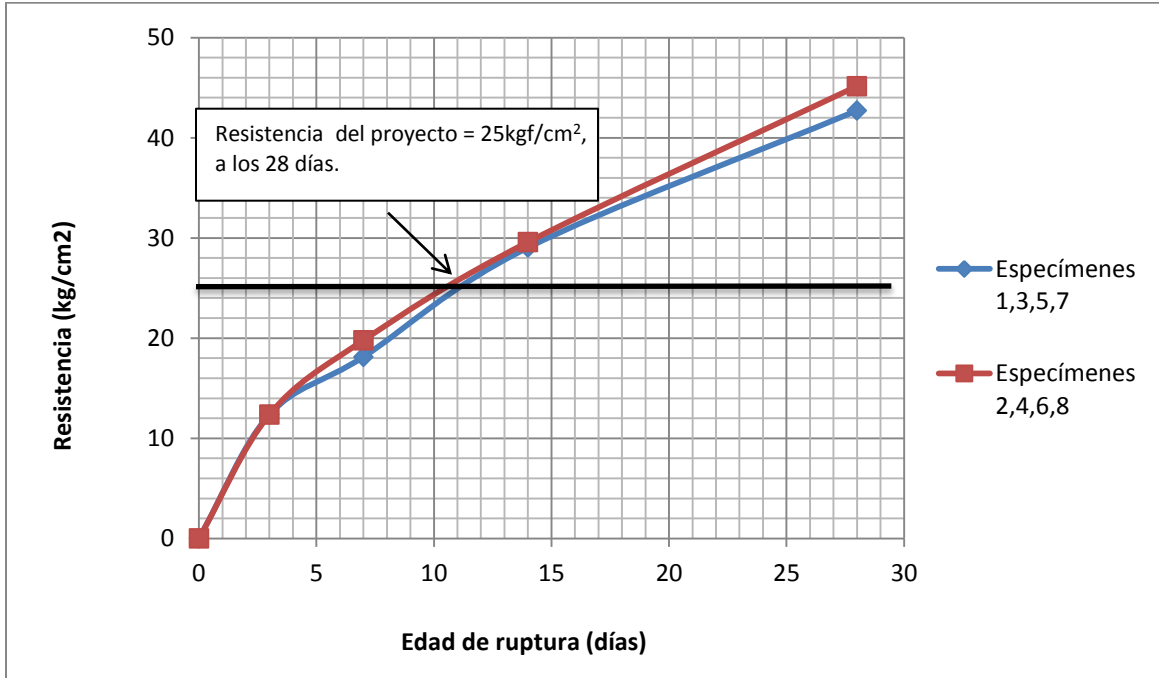
4.1.1.5.- Proporcionamiento del 40% de cemento, para condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

N° de muestra	Propor. de cemento	Propor. Maxe-h	Propor. de tepetate	Propor. de agua	Revenimiento	Fecha de colado	Fecha de ruptura	Edad	F'c	Carga	Resistencia	% de Resistencia
-	(kg)	(gr)	(kg)	(lts)	(cm)	-	-	(días)	(kg/cm ²)	(kgf)	(kg/cm ²) (MPa)	(%)
1	5.84	14.45	14.61	6.9	10	09/11/2015	12/11/2015	3	25 (2.45)	971.1	12.36 (1.21)	49.46%
2	5.84	14.45	14.61	6.9	10	09/11/2015	12/11/2015	3	25 (2.45)	971.1	12.36 (1.21)	49.46%
3	5.84	14.45	14.61	6.9	10	09/11/2015	16/11/2015	7	25 (2.45)	1424.3	18.13 (1.78)	72.54%
4	5.84	14.45	14.61	6.9	10	09/11/2015	16/11/2015	7	25 (2.45)	1553.8	19.78 (1.94)	79.13%
5	5.84	14.45	14.61	6.9	10	09/11/2015	23/11/2015	14	25 (2.45)	2281	29.04 (2.85)	116.17%
6	5.84	14.45	14.61	6.9	10	09/11/2015	23/11/2015	14	25 (2.45)	2324	29.59 (2.90)	118.36%
7	5.84	14.45	14.61	6.9	10	09/11/2015	07/12/2015	28	25 (2.45)	3355	42.72 (4.19)	170.87%
8	5.84	14.45	14.61	6.9	10	09/11/2015	07/12/2015	28	25 (2.45)	3546	45.15 (4.43)	180.60%

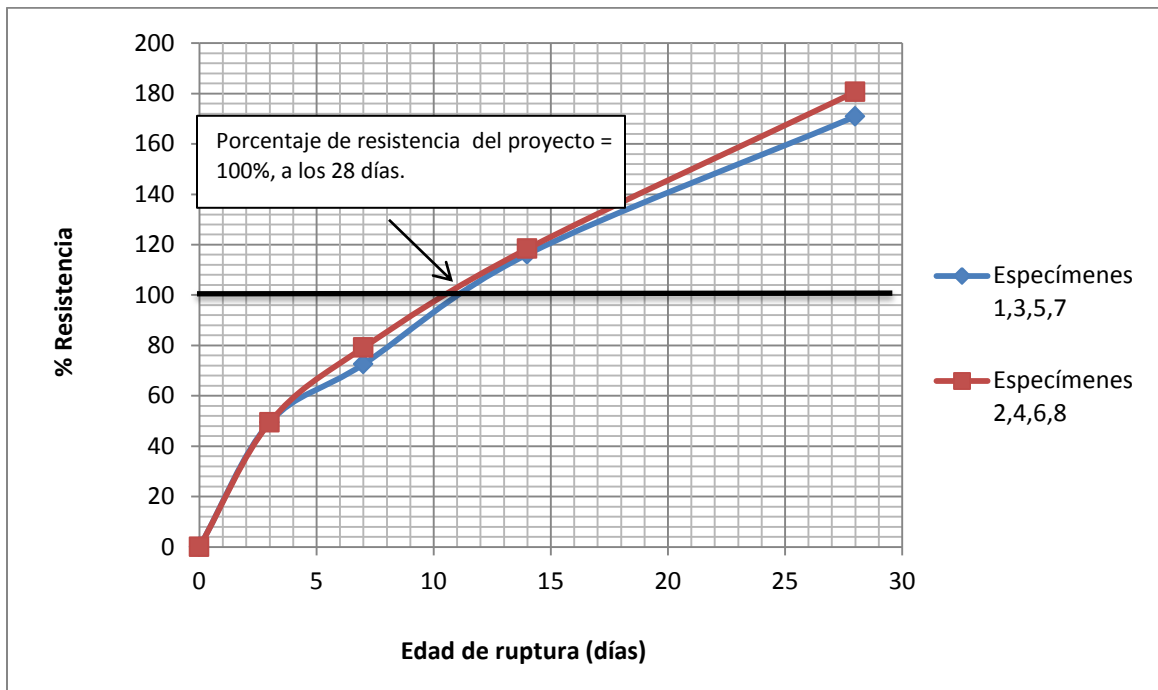
TABLA 40: Muestra las cargas soportadas, las resistencias y porcentajes de resistencias alcanzadas por los especímenes con 40% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas.



GRÁFICA 18: Carga – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 40% de cemento en condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



GRÁFICA 19: Resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 40% de cemento en condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



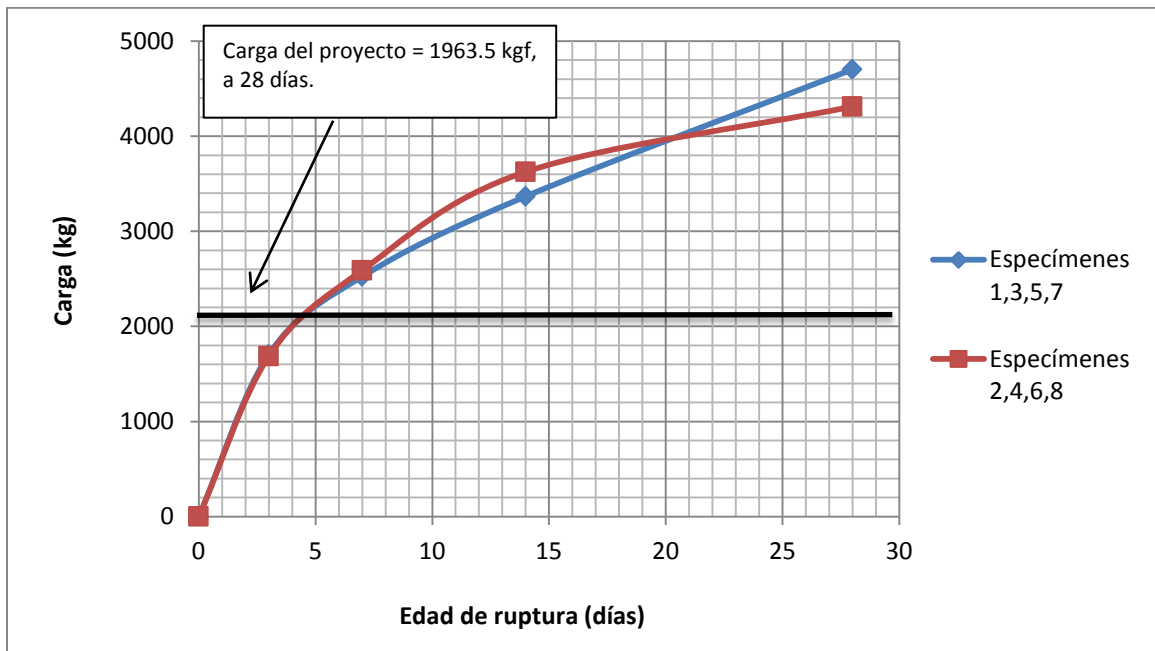
GRÁFICA 20: Por ciento de resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 40% de cemento en condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que, el proporcionamiento con 40% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas, cumple con las especificaciones de ésta tesis, es decir, alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm^2 y el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Por lo tanto, se puede utilizar en el diseño de la mezcla para suelo-cemento fluido.

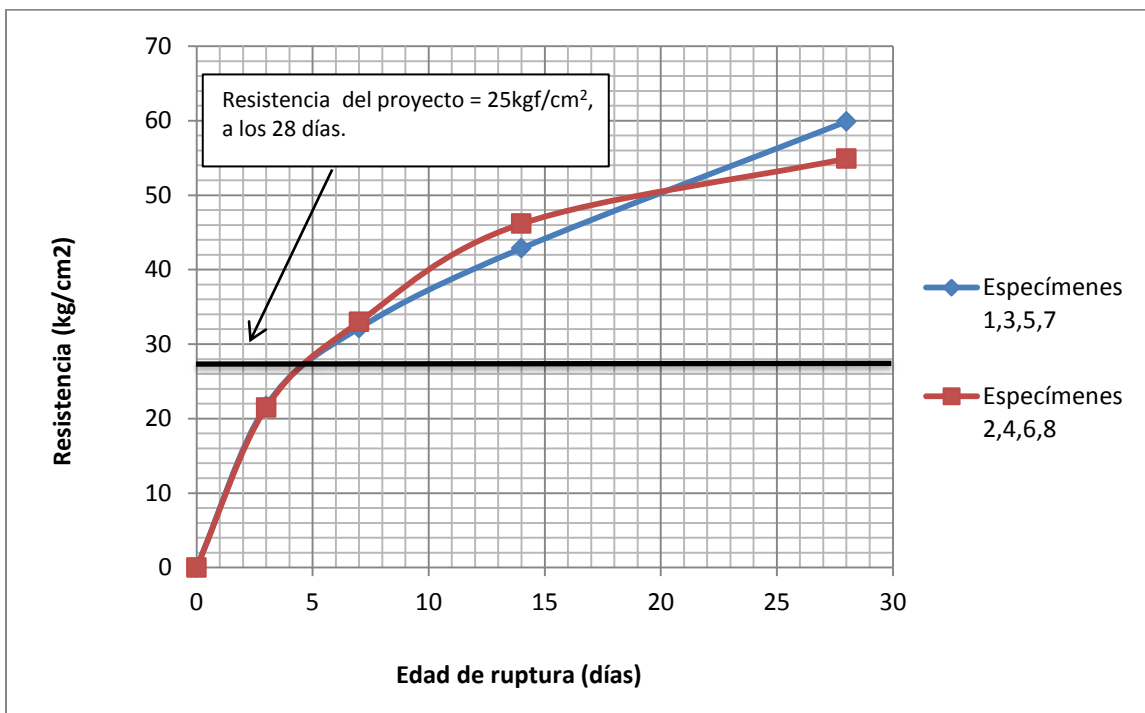
4.1.1.6.- Proporcionamiento del 70% de cemento, para condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

N° de muestra	Propor. de cemento	Propor. Maxe-h	Propor. de tepetate	Propor. de agua	Revenimiento	Fecha de colado	Fecha de ruptura	Edad	F'c	Carga	Resistencia	% de Resistencia
-	(kg)	(gr)	(kg)	(lts)	(cm)	-	-	(días)	(kg/cm ²)	(kgf)	(kg/cm ²) (MPa)	(%)
1	10.23	14.45	14.61	7.4	12.0	22/12/2015	29/12/2015	3	25 (2.45)	1705	21.71	86.83%
2	10.23	14.45	14.61	7.4	12.0	22/12/2015	29/12/2015	3	25 (2.45)	1687	21.48	85.92%
3	10.23	14.45	14.61	7.4	12.0	22/12/2015	29/12/2015	7	25 (2.45)	2525	32.15	128.59%
4	10.23	14.45	14.61	7.4	12.0	22/12/2015	29/12/2015	7	25 (2.45)	2590	32.97	131.89%
5	10.23	14.45	14.61	7.4	12.0	22/12/2015	05/01/2016	14	25 (2.45)	3366.5	42.86	171.45%
6	10.23	14.45	14.61	7.4	12.0	22/12/2015	05/01/2016	14	25 (2.45)	3625.4	46.16	184.64%
7	10.23	14.45	14.61	7.4	12.0	22/12/2015	19/01/2016	28	25 (2.45)	4703	59.88	239.52%
8	10.23	14.45	14.61	7.4	12.0	22/12/2015	19/01/2016	28	25 (2.45)	4312	54.90	219.61%

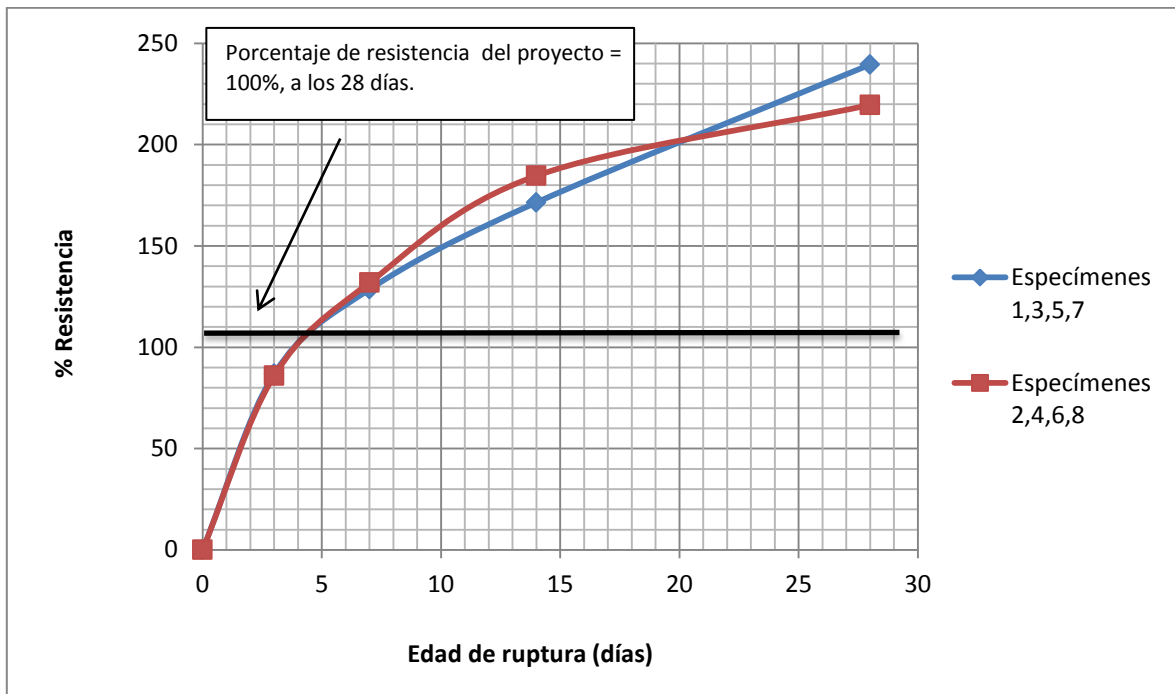
TABLA 41: Muestra las cargas soportadas, las resistencias y porcentajes de resistencias alcanzadas por los especímenes con 70% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas.



GRÁFICA 21: Carga – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 70% de cemento en condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



GRÁFICA 22: Resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 70% de cemento en condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



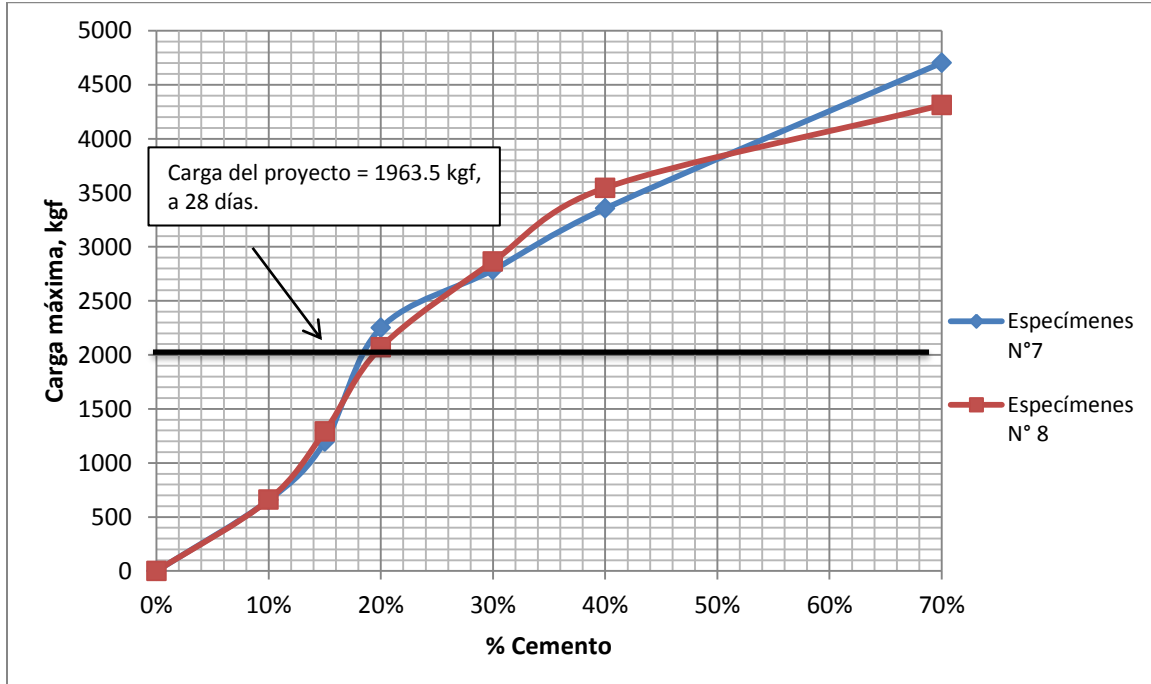
GRÁFICA 23: Por ciento de resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 70% de cemento en condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que, el proporcionamiento con 70% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas, cumple con las especificaciones de ésta tesis, es decir, alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm^2 y el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Por lo tanto, se puede utilizar en el diseño de la mezcla para suelo-cemento fluido.

En la tabla siguiente se muestran las cargas máximas que soportaron los especímenes a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, se muestran los resultados de los especímenes 7 (nones) y 8 (pares) para cada porcentaje de cemento (10%, 15%, 20%, 30%, 40% y 70%), así como su gráfica correspondiente.

% Cemento	Carga máxima (kgf)	
	Nones	Pares
0%	0	0
10%	656	659
15%	1196	1291
20%	2250	2070
30%	2786	2863
40%	3355	3546
70%	4703	4312

TABLA 42: Cargas máximas soportadas por los especímenes con diferentes porcentajes de cemento y 1% de aditivo, en condiciones saturadas, a los 28 días.

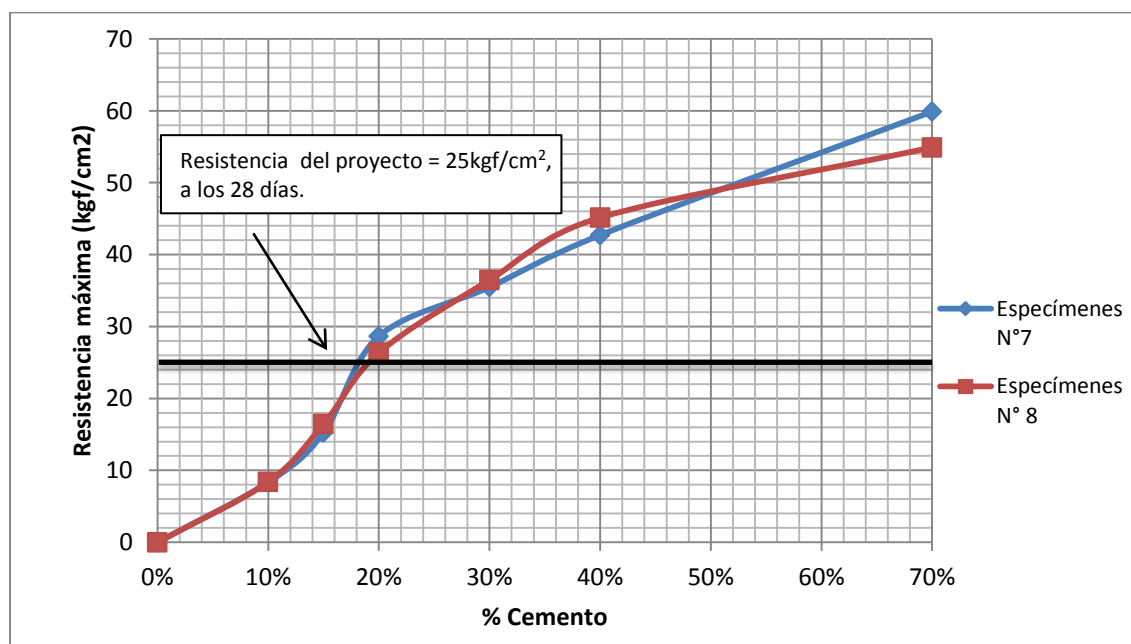


GRÁFICA 24: Carga máxima – Porcentaje de cemento, de los cilindros con 10%, 15%, 20%, 30%, 40% y 70% de cemento, a los 28 días. En condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

En la tabla siguiente se muestran las resistencias máximas que alcanzaron los especímenes a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, se muestran los resultados de los especímenes 7 (nones) y 8 (pares) para cada porcentaje de cemento (10%, 15%, 20%, 30%, 40% y 70 %), así como su gráfica correspondiente.

% Cemento	Resistencia máxima (kgf/cm ²)	
	Nones	Pares
0%	0	0
10%	8.35	8.39
15%	15.23	16.44
20%	28.65	26.36
30%	35.47	36.45
40%	42.72	45.15
70%	59.88	54.90

TABLA 43: Resistencias máximas alcanzadas por los especímenes con diferentes porcentajes de cemento y 1% de aditivo, en condiciones saturadas, a los 28 días.

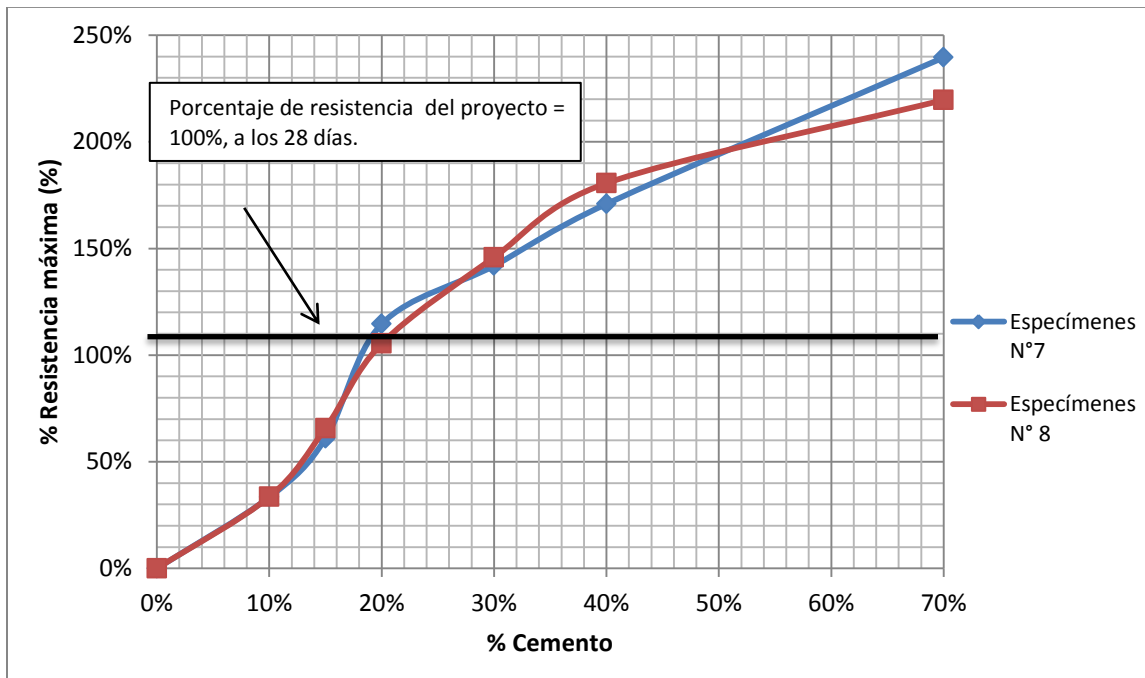


GRÁFICA 25: Resistencia máxima– Porcentaje de cemento, de los cilindros con 10%, 15%, 20%, 30%, 40% y 70% de cemento, a los 28 días. En condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

En la tabla siguiente se muestran los porcentajes de resistencias máximas que alcanzaron los especímenes a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, se muestran los resultados de los especímenes 7 (nones) y 8 (pares) para cada porcentaje de cemento (10%, 15%, 20%, 30%, 40% y 70%), así como su gráfica correspondiente.

% Cemento	% Resistencia máxima	
	Nones	Pares
0%	0.00%	0.00%
10%	33.41%	33.56%
15%	60.91%	65.75%
20%	114.59%	105.42%
30%	141.89%	145.81%
40%	170.87%	180.60%
70%	239.52%	219.61%

TABLA 44: Porcentajes de resistencias máximas alcanzadas por los especímenes con diferentes porcentajes de cemento, a los 28 días.



GRÁFICA 26: Porcentaje de resistencia máxima– Porcentaje de cemento, de los cilindros con 10%, 15%, 20%, 30%, 40% y 70% de cemento, a los 28 días. En condiciones saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

4.1.2.- Tablas, gráficas y resultados de los proporcionamientos para especímenes en condiciones saturadas con 5% de aditivo Maxe-h.

TABLA DE PROPORCIONAMIENTOS, REVENIMIENTOS Y TEMPERATURAS.

Porcentaje de cemento	Cemento para 1 m ³ de tepetate	Pesos y volúmenes para 8 cilindros						Revenimiento	Temperatura
		Suelo	suelo + 15% desperdicio	Cemento	Agua real	Aditivo Maxe-h	Tepetate		
(%)	(kg)	(m3)	(m3)	(kg)	(lts)	(gr)	(kg)	(cm)	°C
10%	101.1	0.0126	0.0145	1.46	6.7	14.45	14.61	11.5	19.0
15%	151.7	0.126	0.0145	2.19	6.8	14.45	14.61	12.0	22.0
20%	202.2	0.126	0.0145	2.92	6.6	14.45	14.61	9.0	24.0
30%	303.3	0.126	0.0145	4.38	6.3	14.45	14.61	9.0	22.0
40%	404.5	0.126	0.0145	5.84	6.7	14.45	14.61	10.0	23.0

TABLA 45: Muestra los resultados de los proporcionamientos, revenimientos y temperaturas de las mezclas, para condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

TABLA DE RESULTADOS DE LOS PESOS VOLUMÉTRICOS.

N° de muestra	Porcentaje de cemento	Diámetro	Área	Altura	Volumen	Peso fresco	Peso volumétrico fresco	Peso a edad de prueba	Peso vol. a edad de prueba
-	(%)	cm	cm ²	cm	m ³	kg	kg/m ³	kg	kg/m ³
1	10%	10	78.54	20	0.001571	2.580	1642	2.570	1636
2	10%	10	78.54	20	0.001571	2.580	1642	2.565	1633
3	10%	10	78.54	20	0.001571	2.575	1639	2.560	1630
4	10%	10	78.54	20	0.001571	2.580	1642	2.565	1633
5	10%	10	78.54	20	0.001571	2.570	1636	2.560	1630
6	10%	10	78.54	20	0.001571	2.565	1633	2.555	1627
7	10%	10	78.54	20	0.001571	2.570	1636	2.550	1623
8	10%	10	78.54	20	0.001571	2.575	1639	2.550	1623
1	15%	10	78.54	20	0.001571	2.585	1646	2.580	1642
2	15%	10	78.54	20	0.001571	2.580	1642	2.570	1636
3	15%	10	78.54	20	0.001571	2.585	1646	2.570	1636
4	15%	10	78.54	20	0.001571	2.585	1646	2.575	1639
5	15%	10	78.54	20	0.001571	2.580	1642	2.565	1633
6	15%	10	78.54	20	0.001571	2.575	1639	2.560	1630
7	15%	10	78.54	20	0.001571	2.580	1642	2.570	1636
8	15%	10	78.54	20	0.001571	2.575	1639	2.570	1636
1	20%	10	78.54	20	0.001571	2.610	1662	2.595	1652
2	20%	10	78.54	20	0.001571	2.620	1668	2.600	1655
3	20%	10	78.54	20	0.001571	2.615	1665	2.600	1655
4	20%	10	78.54	20	0.001571	2.610	1662	2.600	1655
5	20%	10	78.54	20	0.001571	2.615	1665	2.605	1658
6	20%	10	78.54	20	0.001571	2.620	1668	2.600	1655
7	20%	10	78.54	20	0.001571	2.610	1662	2.600	1655
8	20%	10	78.54	20	0.001571	2.620	1668	2.605	1658
1	30%	10	78.54	20	0.001571	2.625	1671	2.610	1662
2	30%	10	78.54	20	0.001571	2.625	1671	2.610	1662
3	30%	10	78.54	20	0.001571	2.620	1668	2.610	1662
4	30%	10	78.54	20	0.001571	2.630	1674	2.615	1665
5	30%	10	78.54	20	0.001571	2.625	1671	2.605	1658
6	30%	10	78.54	20	0.001571	2.630	1674	2.610	1662
7	30%	10	78.54	20	0.001571	2.620	1668	2.610	1662
8	30%	10	78.54	20	0.001571	2.615	1665	2.605	1658

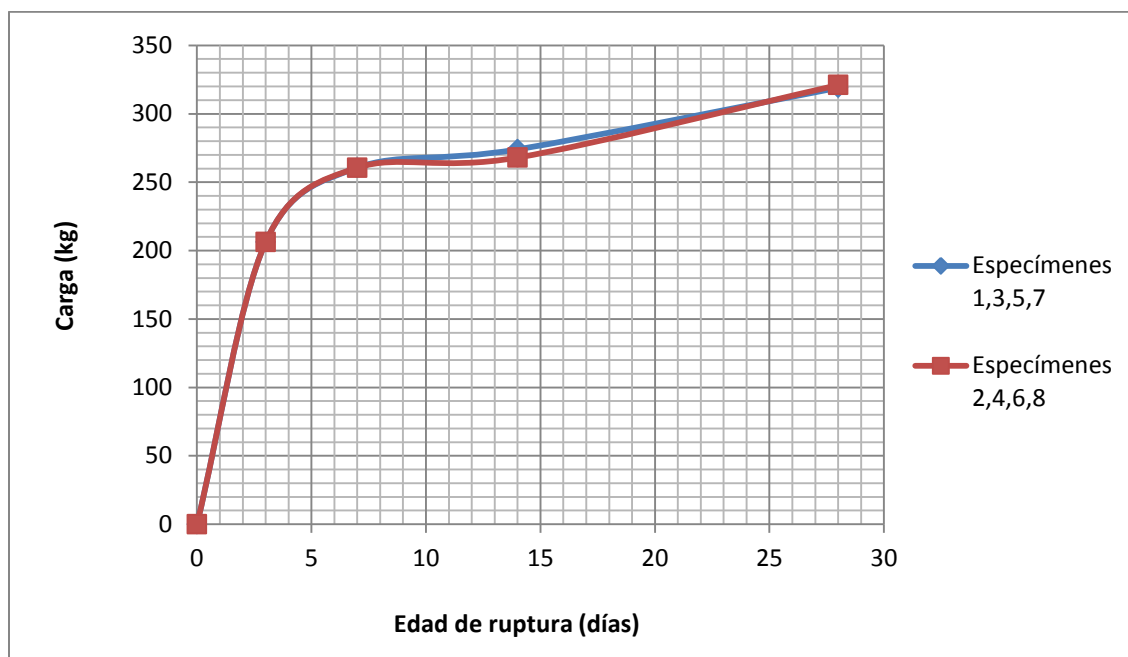
1	40%	10	78.54	20	0.001571	2.620	1668	2.610	1662
2	40%	10	78.54	20	0.001571	2.630	1674	2.615	1665
3	40%	10	78.54	20	0.001571	2.620	1668	2.605	1658
4	40%	10	78.54	20	0.001571	2.620	1668	2.610	1662
5	40%	10	78.54	20	0.001571	2.620	1668	2.600	1655
6	40%	10	78.54	20	0.001571	2.625	1671	2.605	1658
7	40%	10	78.54	20	0.001571	2.620	1668	2.600	1655
8	40%	10	78.54	20	0.001571	2.630	1674	2.610	1662

TABLA 46: Muestra los pesos volumétricos frescos y pesos volumétricos a la edad de prueba, de los especímenes en condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

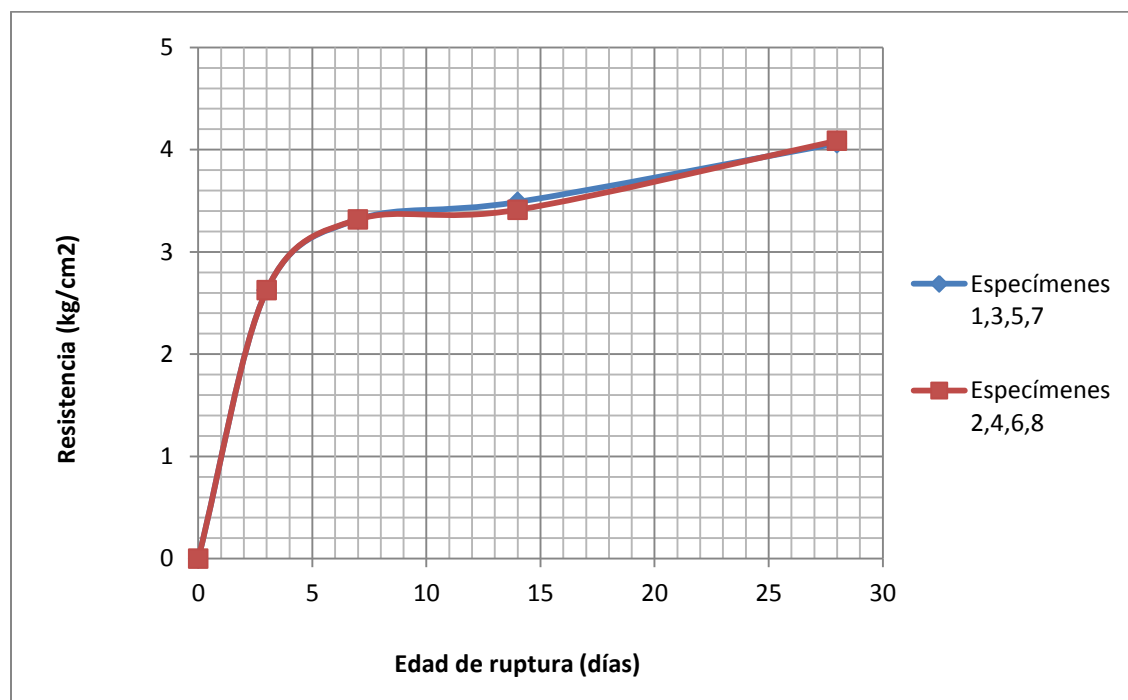
4.1.2.1.- Proporcionamiento del 10% de cemento, para condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

N° de muestra	Propor. de cemento	Propor. Maxe -h	Propor. de tepetate	Propor. de agua	Revenimiento	Fecha de colado	Fecha de ruptura	Edad	F'c	Carga	Resistencia	% de Resistencia
-	(kg)	(gr)	(kg)	(lts)	(cm)	-	-	(días)	(kg/cm2) (MPa)	(kgf)	(kg/cm2) (MPa)	(%)
1	1.46	72.3	14.61	6.7	11.5	11/11/2015	14/11/2105	3	25 (2.45)	206	2.63 (0.26)	10.50%
2	1.46	72.3	14.61	6.7	11.5	11/11/2015	14/11/2105	3	25 (2.45)	206	2.63 (0.26)	10.50%
3	1.46	72.3	14.61	6.7	11.5	11/11/2015	18/11/2015	7	25 (2.45)	261	3.32 (0.33)	13.27%
4	1.46	72.3	14.61	6.7	11.5	11/11/2015	18/11/2015	7	25 (2.45)	261	3.32 (0.33)	13.27%
5	1.46	72.3	14.61	6.7	11.5	11/11/2015	25/11/2015	14	25 (2.45)	274	3.49 (0.34)	13.95%
6	1.46	72.3	14.61	6.7	11.5	11/11/2015	25/11/2015	14	25 (2.45)	268	3.41 (0.33)	13.65%
7	1.46	72.3	14.61	6.7	11.5	11/11/2015	09/12/2015	28	25 (2.45)	319	4.06 (0.40)	16.25%
8	1.46	72.3	14.61	6.7	11.5	11/11/2015	09/12/2015	28	25 (2.45)	321	4.09 (0.40)	16.35%

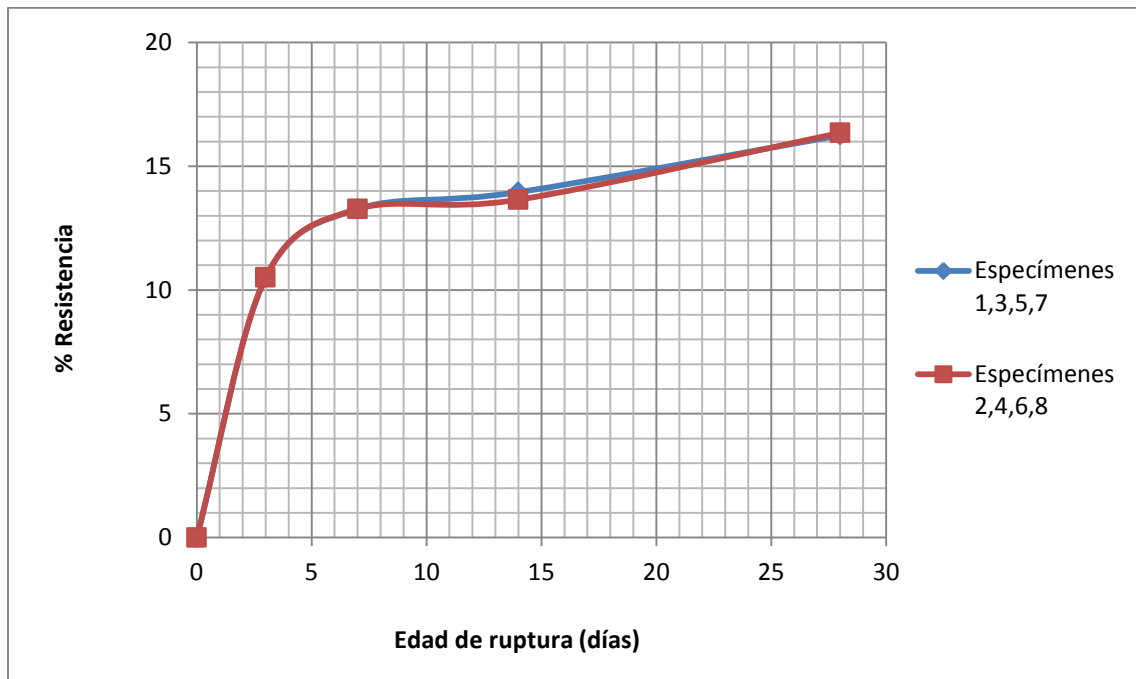
TABLA 47: Muestra las cargas soportadas, las resistencias y porcentajes de resistencias alcanzadas por los especímenes con 10% de cemento y 5% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas.



GRÁFICA 27: Carga – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 10% de cemento en condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.



GRÁFICA 28: Resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 10% de cemento en condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.



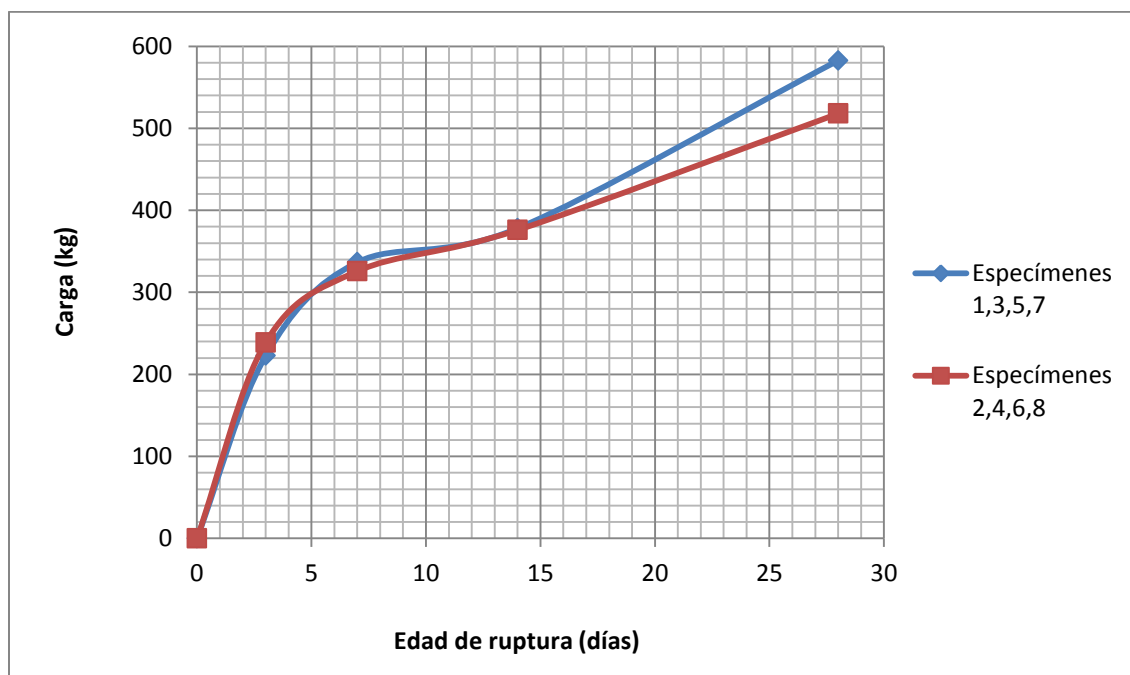
GRÁFICA 29: Por ciento de resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 10% de cemento en condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que, el proporcionamiento con 10% de cemento y 5% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas, no cumple con las especificaciones de ésta tesis, es decir, no alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm^2 , el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Por lo tanto, no se puede utilizar en el diseño de la mezcla para suelo-cemento fluido.

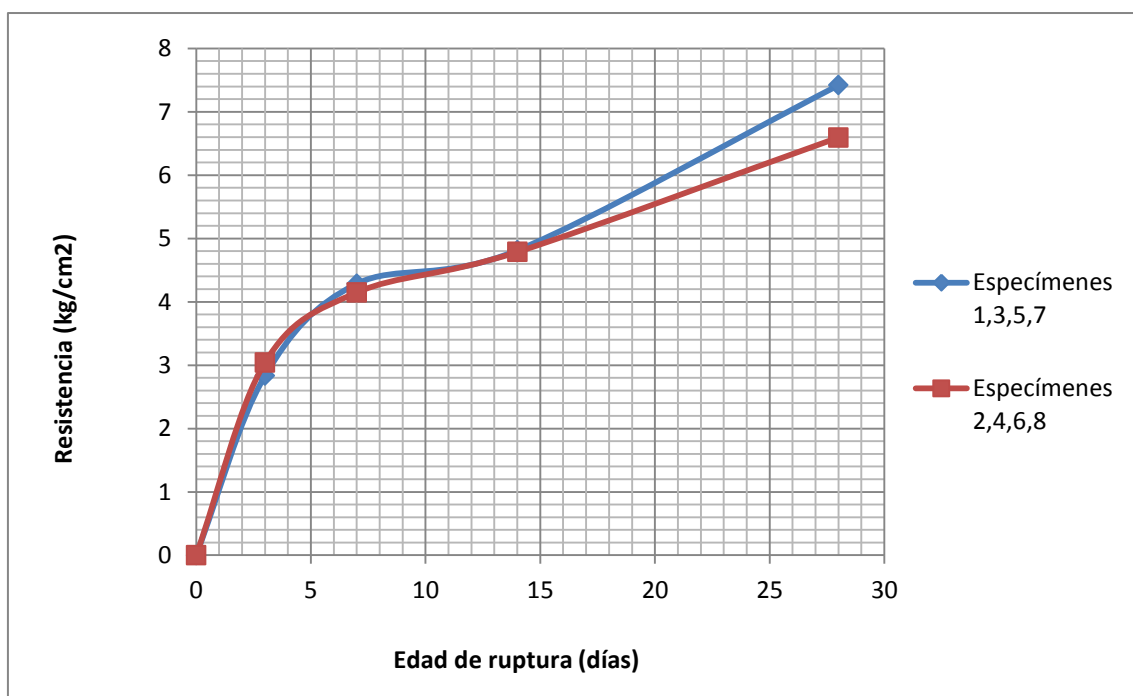
4.1.2.2.- Proporcionamiento del 15% de cemento, para condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

N° de muestra	Propor. de cemento	Propor. Maxe -h	Propor. de tepetate	Propor. de agua	Revenimiento	Fecha de colado	Fecha de ruptura	Edad	F'c	Carga	Resistencia	% de Resistencia
-	(kg)	(gr)	(kg)	(lts)	(cm)	-	-	(días)	(kg/cm ²) (MPa)	(kgf)	(kg/cm ²) (MPa)	(%)
1	2.19	72.3	14.61	6.8	12	11/11/2015	14/11/2105	3	25 (2.45)	223	2.83 (0.28)	11.33%
2	2.19	72.3	14.61	6.8	12	11/11/2015	14/11/2105	3	25 (2.45)	239	3.04 (0.30)	12.16%
3	2.19	72.3	14.61	6.8	12	11/11/2015	18/11/2015	7	25 (2.45)	337	4.28 (0.42)	17.14%
4	2.19	72.3	14.61	6.8	12	11/11/2015	18/11/2015	7	25 (2.45)	326	4.15 (0.41)	16.59%
5	2.19	72.3	14.61	6.8	12	11/11/2015	25/11/2015	14	25 (2.45)	378	4.81 (0.47)	19.25%
6	2.19	72.3	14.61	6.8	12	11/11/2015	25/11/2015	14	25 (2.45)	376	4.79 (0.47)	19.15%
7	2.19	72.3	14.61	6.8	12	11/11/2015	09/12/2015	28	25 (2.45)	583	7.42 (0.73)	29.67%
8	2.19	72.3	14.61	6.8	12	11/11/2015	09/12/2015	28	25 (2.45)	518	6.59 (0.65)	26.38%

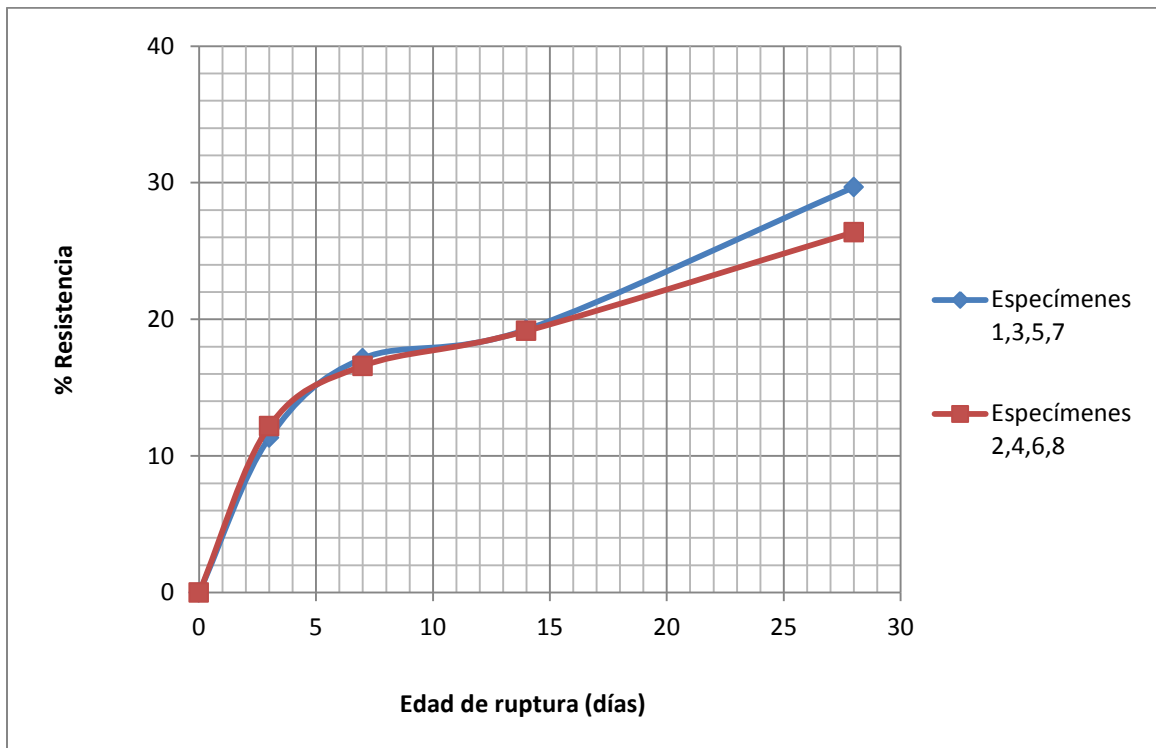
TABLA 48: Muestra las cargas soportadas, las resistencias y porcentajes de resistencias alcanzadas por los especímenes con 15% de cemento y 5% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas



GRÁFICA 30: Carga – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 15% de cemento en condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.



GRÁFICA 31: Resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 15% de cemento en condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.



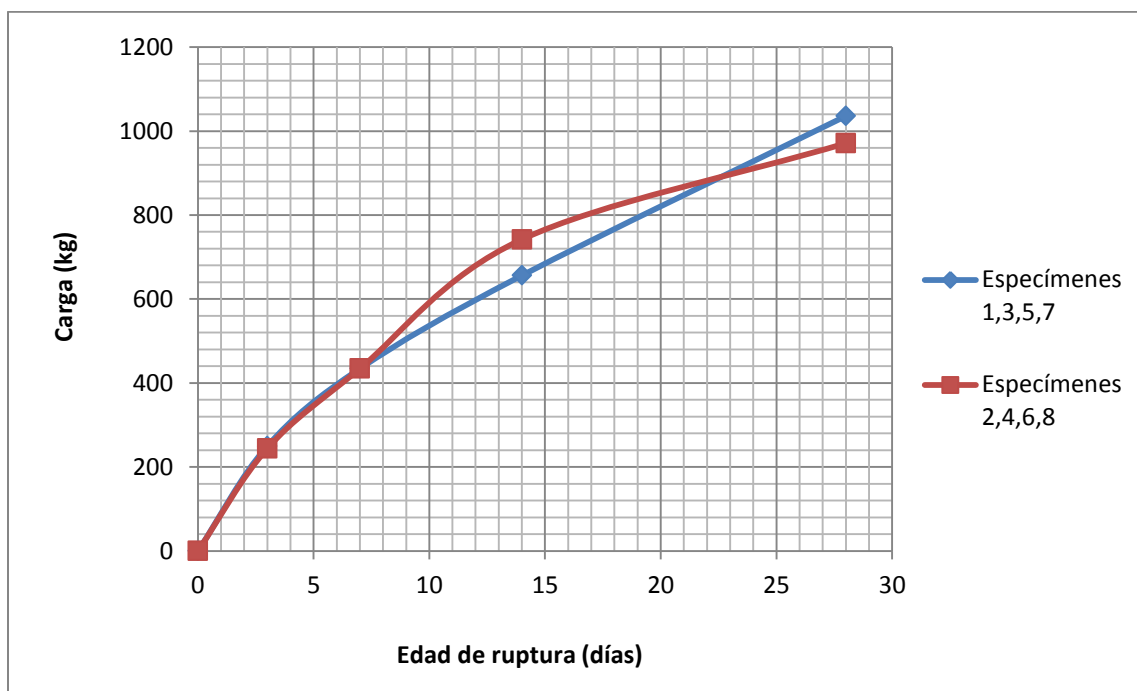
GRÁFICA 32: Por ciento de resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 15% de cemento en condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que, el proporcionamiento con 15% de cemento y 5% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas, no cumple con las especificaciones de ésta tesis, es decir, no alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm^2 y el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Por lo tanto, no se puede utilizar en el diseño de la mezcla para suelo-cemento fluido.

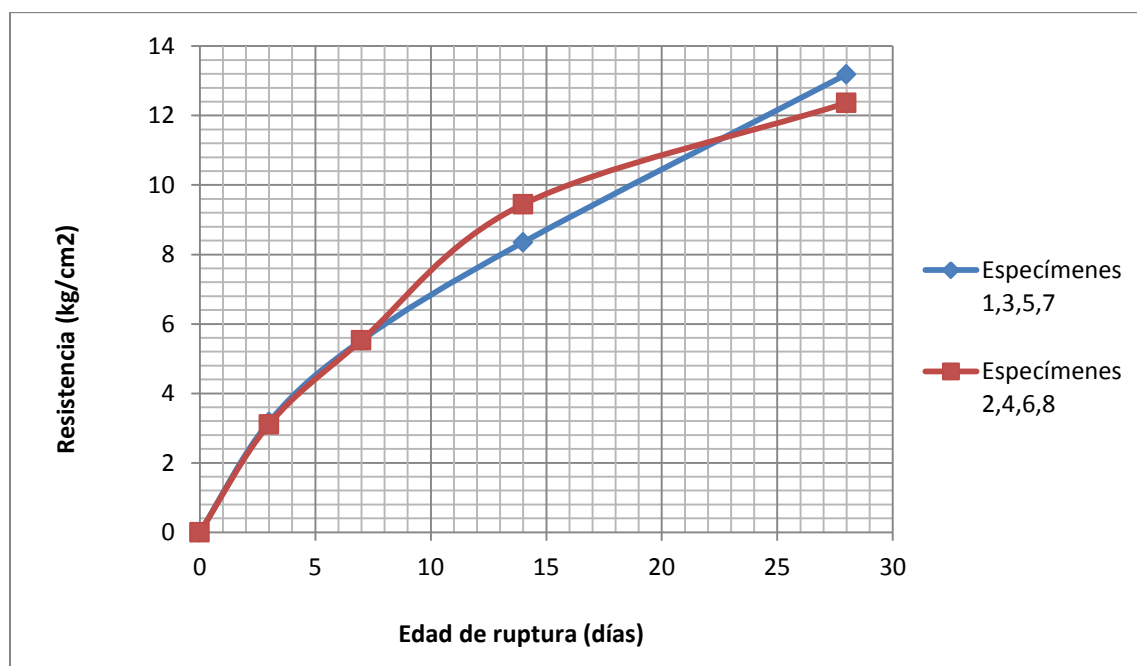
4.1.2.3.- Proporcionamiento del 20% de cemento, para condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

N° de muestra	Propor. de cemento	Propor. Maxe -h	Propor. de tepetate	Propor. de agua	Revenimiento	Fecha de colado	Fecha de ruptura	Edad	F'c	Carga	Resistencia	% de Resistencia
-	(kg)	(gr)	(kg)	(lts)	(cm)	-	-	(días)	(kg/cm ²) (MPa)	(kgf)	(kg/cm ²) (MPa)	(%)
1	2.92	72.3	14.61	6.6	9	11/11/2015	14/11/2105	3	25 (2.45)	250	3.18 (0.31)	12.72%
2	2.92	72.3	14.61	6.6	9	11/11/2015	14/11/2105	3	25 (2.45)	244	3.11 (0.30)	12.44%
3	2.92	72.3	14.61	6.6	9	11/11/2015	18/11/2015	7	25 (2.45)	434	5.53 (0.54)	22.12%
4	2.92	72.3	14.61	6.6	9	11/11/2015	18/11/2015	7	25 (2.45)	434	5.53 (0.54)	22.12%
5	2.92	72.3	14.61	6.6	9	11/11/2015	25/11/2015	14	25 (2.45)	656	8.35 (0.82)	33.41%
6	2.92	72.3	14.61	6.6	9	11/11/2015	25/11/2015	14	25 (2.45)	742	9.45 (0.93)	37.79%
7	2.92	72.3	14.61	6.6	9	11/11/2015	09/12/2015	28	25 (2.45)	1036	13.19 (1.29)	52.75%
8	2.92	72.3	14.61	6.6	9	11/11/2015	09/12/2015	28	25 (2.45)	971	12.36 (1.21)	49.46%

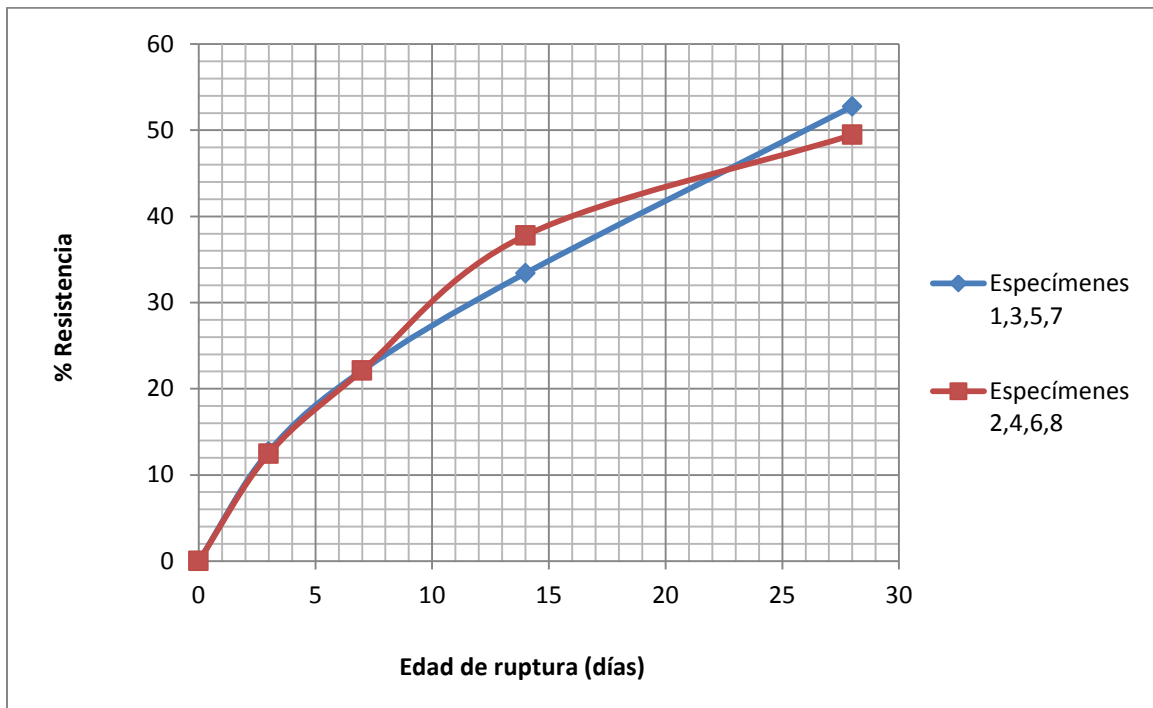
TABLA 49: Muestra las cargas soportadas, las resistencias y porcentajes de resistencias alcanzadas por los especímenes con 20% de cemento y 5% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas.



GRÁFICA 33: Carga – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 20% de cemento en condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.



GRÁFICA 34: Resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 20% de cemento en condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.



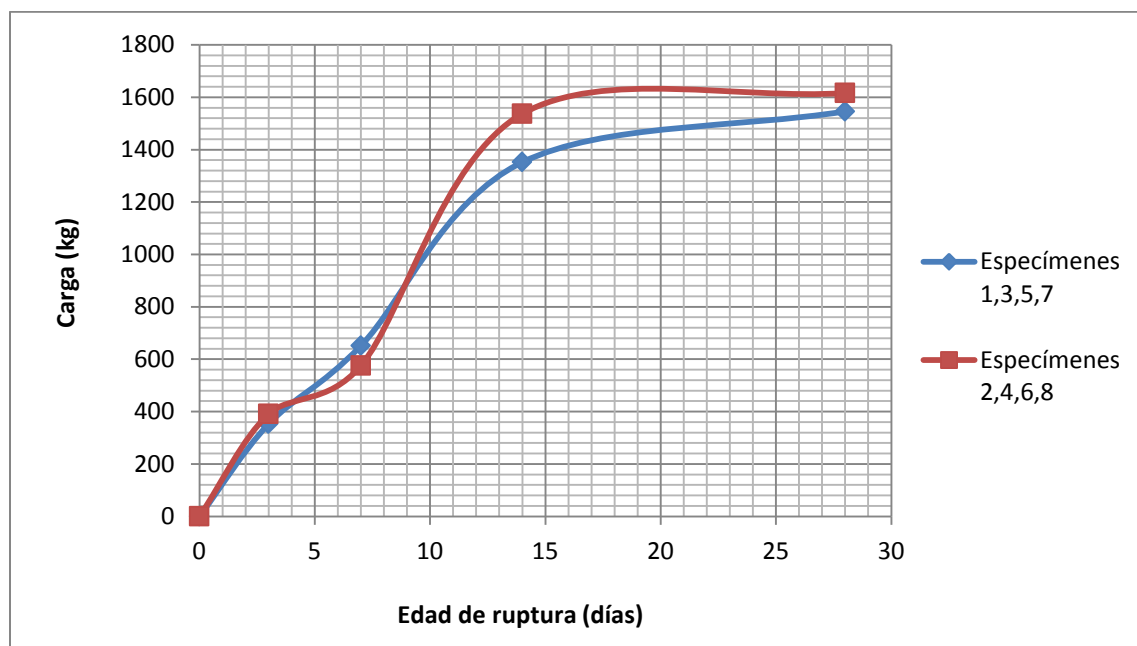
GRÁFICA 35: Por ciento de resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 20% de cemento en condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que, el proporcionamiento con 20% de cemento y 5% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas, no cumple con las especificaciones de ésta tesis, es decir, no alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm² y el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Por lo tanto, no se puede utilizar en el diseño de la mezcla para suelo-cemento fluido.

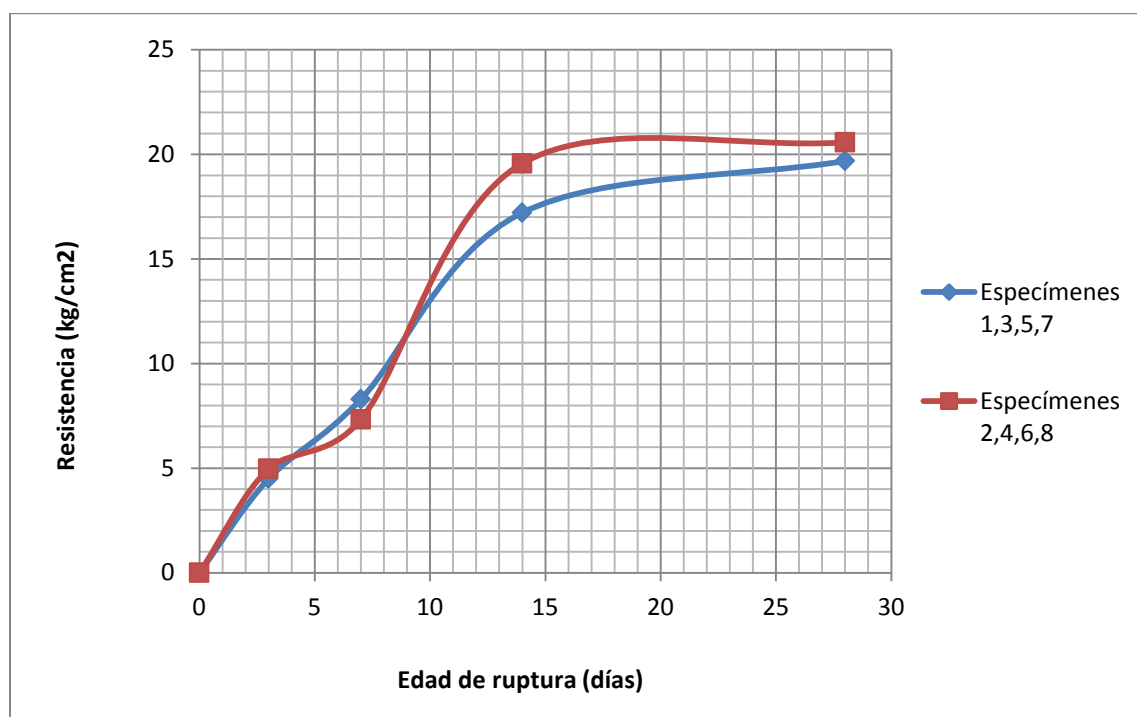
4.1.2.4.- Proporcionamiento del 30% de cemento, para condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

N° de muestra	Propor. de cemento	Propor. Maxe -h	Propor. de tepetate	Propor. de agua	Revenimiento	Fecha de colado	Fecha de ruptura	Edad	F'c	Carga	Resistencia	% de Resistencia
-	(kg)	(gr)	(kg)	(lts)	(cm)	-	-	(días)	(kg/cm2) (MPa)	(kgf)	(kg/cm2) (MPa)	(%)
1	4.38	72.3	14.61	6.3	9	13/11/2015	16/11/2015	3	25 (2.45)	353	4.49 (0.44)	17.97%
2	4.38	72.3	14.61	6.3	9	13/11/2015	16/11/2015	3	25 (2.45)	391	4.98 (0.49)	19.90%
3	4.38	72.3	14.61	6.3	9	13/11/2015	20/11/2015	7	25 (2.45)	651	8.29 (0.81)	33.17%
4	4.38	72.3	14.61	6.3	9	13/11/2015	20/11/2015	7	25 (2.45)	575	7.33 (0.72)	29.30%
5	4.38	72.3	14.61	6.3	9	13/11/2015	27/11/2015	14	25 (2.45)	1352	17.21 (1.69)	68.86%
6	4.38	72.3	14.61	6.3	9	13/11/2015	27/11/2015	14	25 (2.45)	1537	19.57 (1.92)	78.28%
7	4.38	72.3	14.61	6.3	9	13/11/2015	11/12/2015	28	25 (2.45)	1546	19.68 (1.93)	78.74%
8	4.38	72.3	14.61	6.3	9	13/11/2015	11/12/2015	28	25 (2.45)	1616	20.58 (2.02)	82.30%

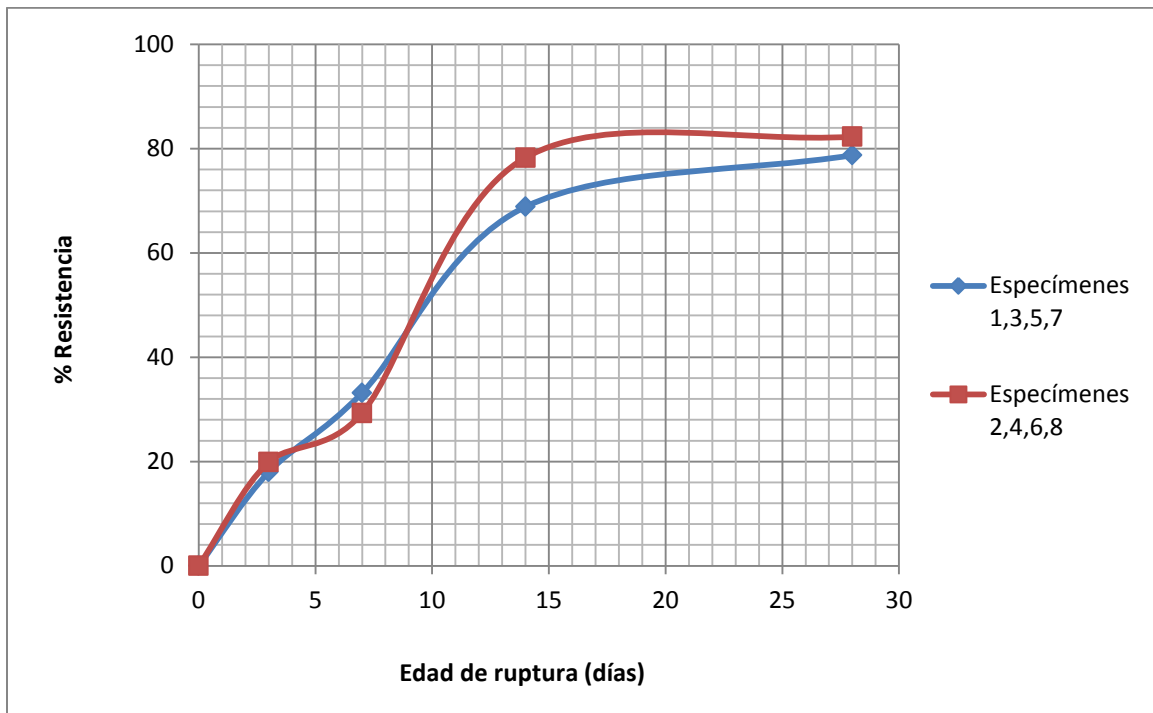
TABLA 50: Muestra las cargas soportadas, las resistencias y porcentajes de resistencias alcanzadas por los especímenes con 30% de cemento y 5% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas.



GRÁFICA 36: Carga – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 30% de cemento en condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.



GRÁFICA 37: Resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 30% de cemento en condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.



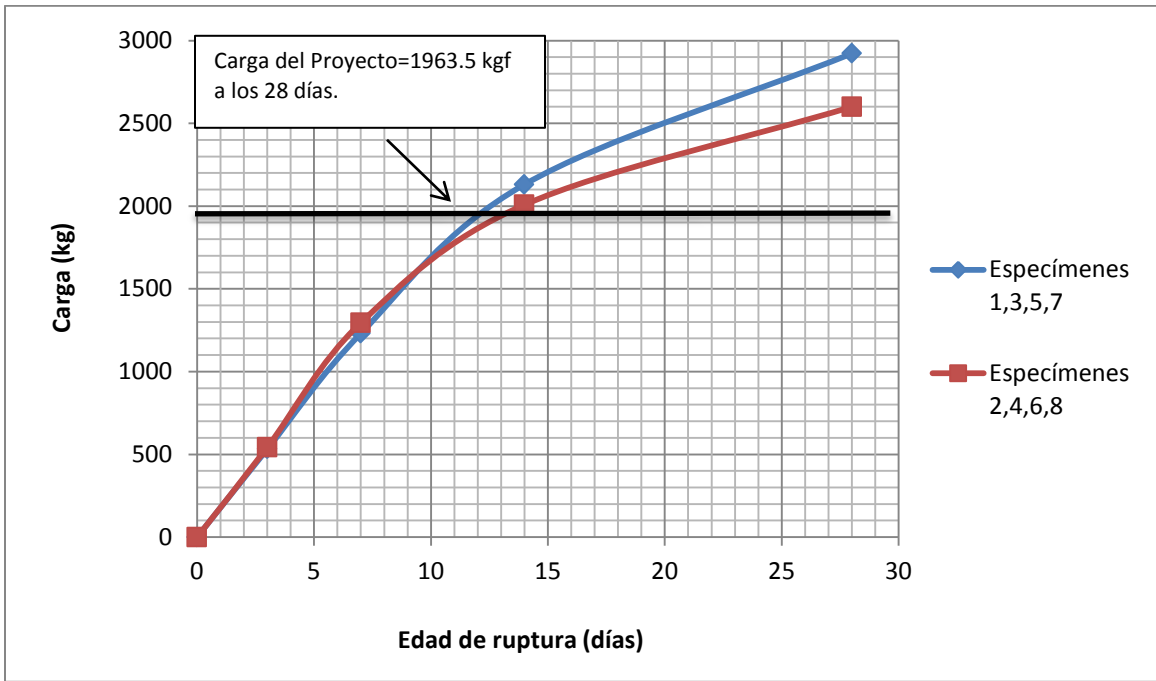
GRÁFICA 38: Por ciento de resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 30% de cemento en condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que, el proporcionamiento con 30% de cemento y 5% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas, no cumple con las especificaciones de ésta tesis, es decir, no alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm² y el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Por lo tanto, no se puede utilizar en el diseño de la mezcla para suelo-cemento fluido.

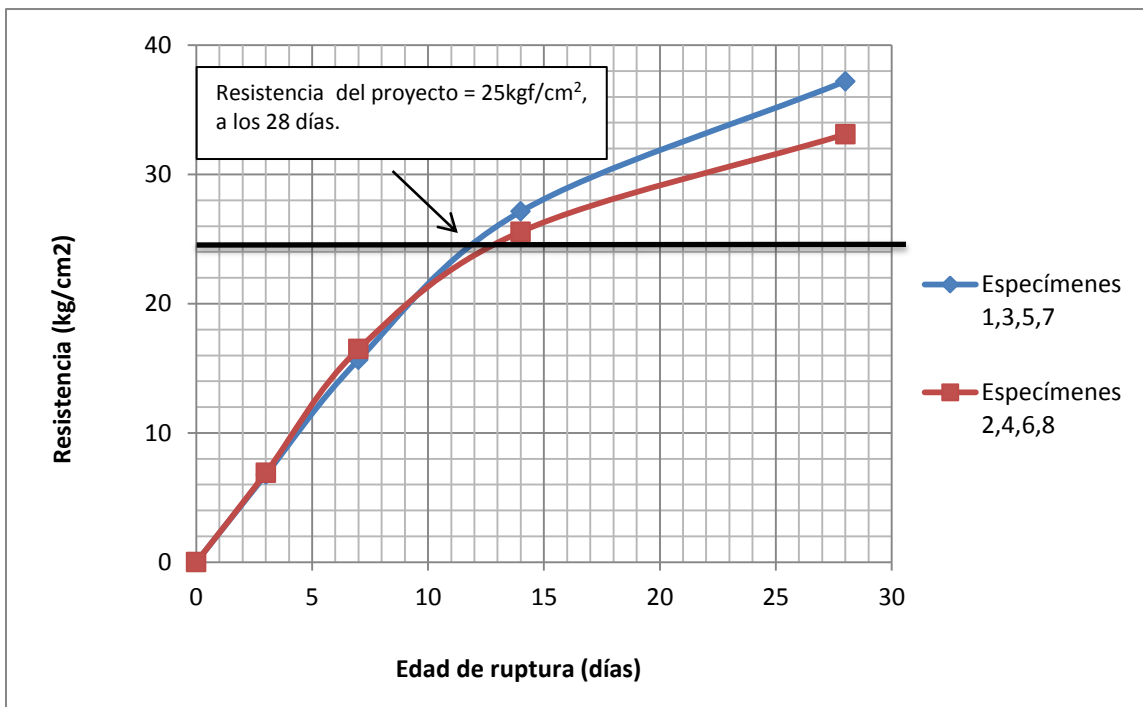
4.1.2.5.- Proporcionamiento del 40% de cemento, para condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

N° de muestra	Propor. de cemento	Propor. Maxe -h	Propor. de tepetate	Propor. de agua	Revenimiento	Fecha de colado	Fecha de ruptura	Edad	F'c	Carga	Resistencia	% de Resistencia
-	(kg)	(gr)	(kg)	(lts)	(cm)	-	-	(días)	(kg/cm ²) (MPa)	(kgf)	(kg/cm ²) (MPa)	(%)
1	5.84	72.3	14.61	6.7	10	13/11/2015	16/11/2015	3	25 (2.45)	532	6.77 (0.66)	27.09%
2	5.84	72.3	14.61	6.7	10	13/11/2015	16/11/2015	3	25 (2.45)	543	6.91 (0.68)	27.64%
3	5.84	72.3	14.61	6.7	10	13/11/2015	20/11/2015	7	25 (2.45)	1230	15.66 (1.54)	62.65%
4	5.84	72.3	14.61	6.7	10	13/11/2015	20/11/2015	7	25 (2.45)	1295	16.49 (1.62)	65.94%
5	5.84	72.3	14.61	6.7	10	13/11/2015	27/11/2015	14	25 (2.45)	2131	27.13 (2.66)	108.53%
6	5.84	72.3	14.61	6.7	10	13/11/2015	27/11/2015	14	25 (2.45)	2008	25.57 (2.51)	102.27%
7	5.84	72.3	14.61	6.7	10	13/11/2015	11/12/2015	28	25 (2.45)	2922	37.20 (3.65)	148.82%
8	5.84	72.3	14.61	6.7	10	13/11/2015	11/12/2015	28	25 (2.45)	2600	33.10 (3.25)	132.42%

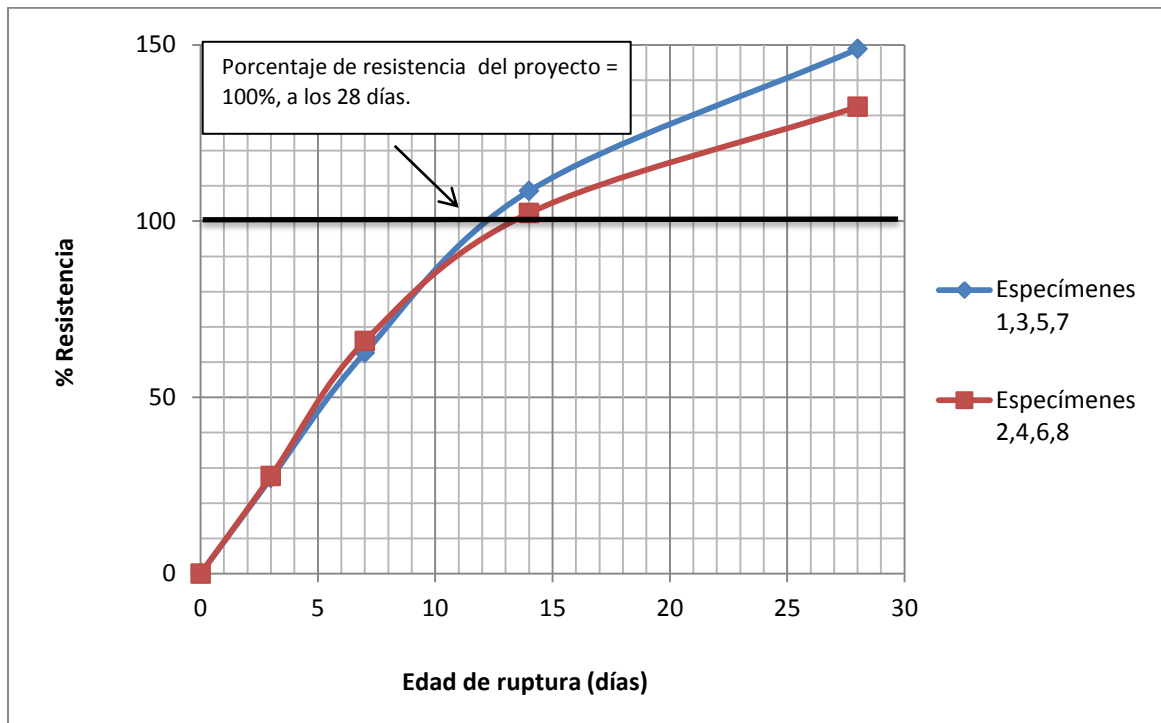
TABLA 51: Muestra las cargas soportadas, las resistencias y porcentajes de resistencias alcanzadas por los especímenes con 40% de cemento y 5% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas.



GRÁFICA 39: Carga – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 40% de cemento en condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.



GRÁFICA 40: Resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 40% de cemento en condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.



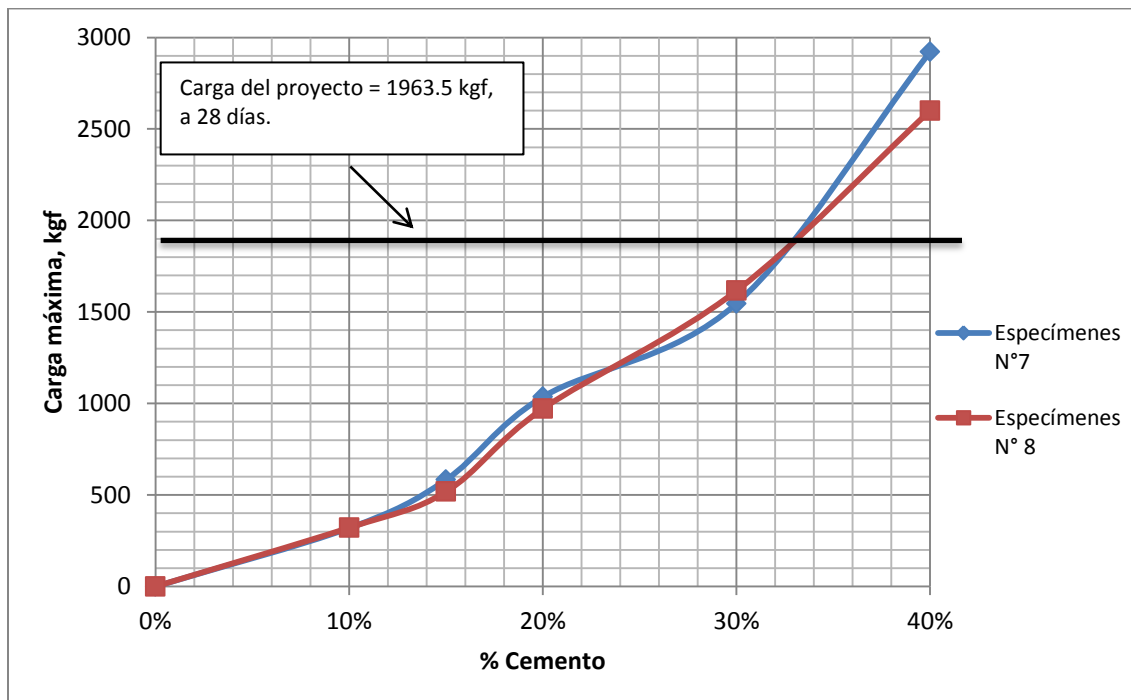
GRÁFICA 41: Por ciento de resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 40% de cemento en condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que, el proporcionamiento con 40% de cemento y 5% de aditivo Maxe-h, en condiciones saturadas, cumple con las especificaciones de ésta tesis, es decir, alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm^2 y el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Por lo tanto se puede utilizar en el diseño de la mezcla para suelo-cemento fluido.

En la tabla siguiente se muestran las cargas máximas que soportaron los especímenes a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, se muestran los resultados de los especímenes 7 (nones) y 8 (pares) para cada porcentaje de cemento (10%, 15%, 20%, 30% y 40%), así como su gráfica correspondiente.

% Cemento	Carga máxima (kgf)	
	Nones	Pares
0%	0	0
10%	319	321
15%	582	517
20%	1035	971
30%	1546	1616
40%	2922	2600

TABLA 52: Cargas máximas soportadas por los especímenes con diferentes porcentajes de cemento y 5% de aditivo, en condiciones saturadas, a los 28 días.

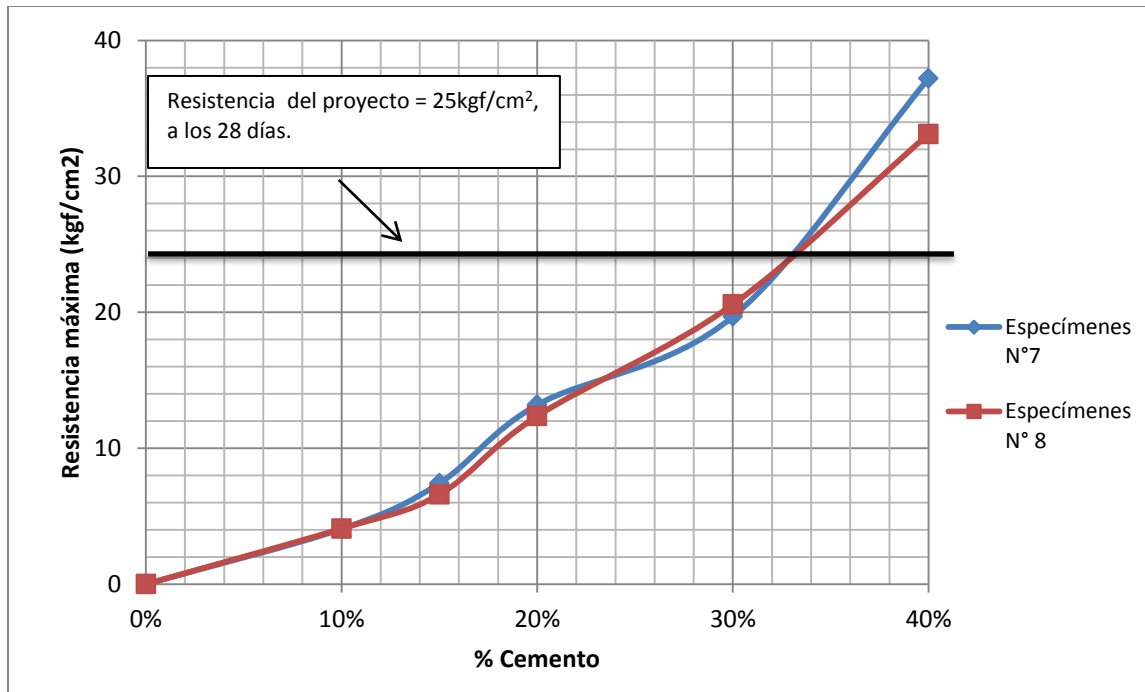


GRÁFICA 42: Carga máxima – Porcentaje de cemento, de los cilindros con 10%, 15%, 20%, 30% y 40% de cemento, a los 28 días. En condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

En la tabla siguiente se muestran las resistencias máximas que alcanzaron los especímenes a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, se muestran los resultados de los especímenes 7 (nones) y 8 (pares) para cada porcentaje de cemento (10%, 15%, 20%, 30% y 40%), así como su gráfica correspondiente.

% Cemento	Resistencia máxima (kgf/cm ²)	
	Nones	Pares
0%	0	0
10%	4.06	4.09
15%	7.42	6.59
20%	13.19	12.36
30%	19.68	20.58
40%	37.20	33.10

TABLA 53: Resistencias máximas alcanzadas por los especímenes con diferentes porcentajes de cemento y 5% de aditivo, en condiciones saturadas, a los 28 días.

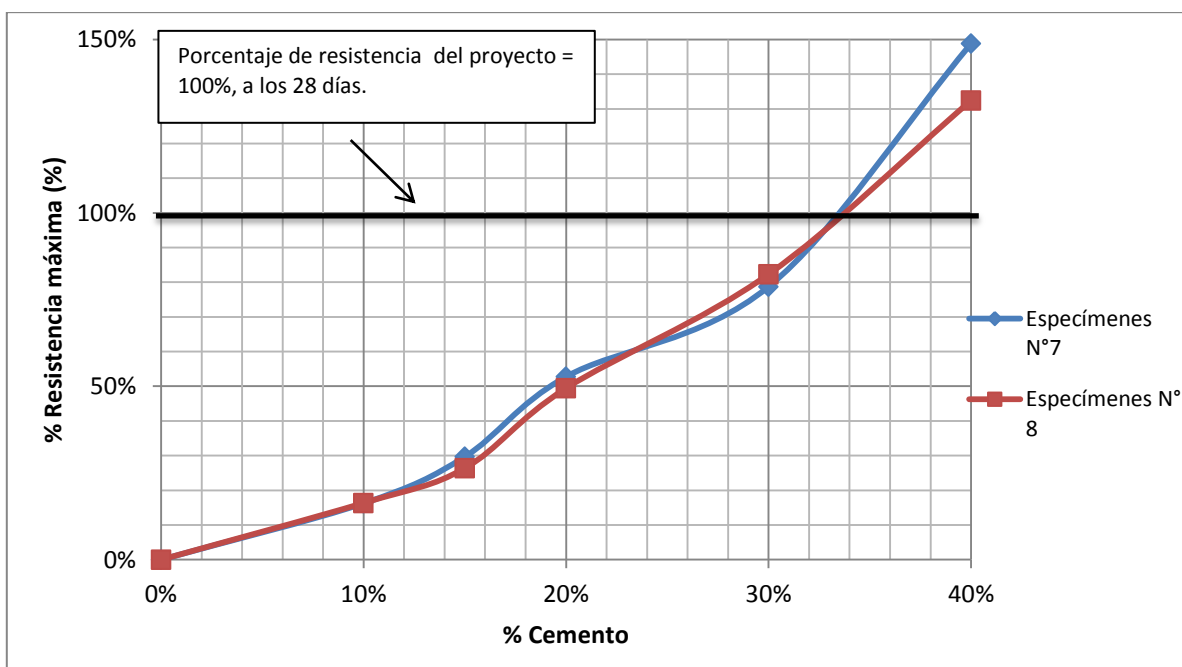


GRÁFICA 43: Resistencia máxima– Porcentaje de cemento, de los cilindros con 10%, 15%, 20%, 30% y 40% de cemento, a los 28 días. En condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

En la tabla siguiente se muestran los porcentajes de resistencias máximas que alcanzaron los especímenes a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, se muestran los resultados de los especímenes 7 (nones) y 8 (pares) para cada porcentaje de cemento (10%, 15%, 20%, 30% y 40%), así como su gráfica correspondiente.

% Cemento	% Resistencia máxima	
	Nones	Pares
0%	0.00%	0.00%
10%	16.25%	16.35%
15%	29.67%	26.38%
20%	52.75%	49.46%
30%	78.74%	82.30%
40%	148.82%	132.42%

TABLA 54: % de resistencias máximas alcanzadas por los especímenes con diferentes porcentajes de cemento y 5% de aditivo, en condiciones saturadas, a los 28 días.



GRÁFICA 44: Porcentaje de resistencia máxima– Porcentaje de cemento, de los cilindros con 10%, 15%, 20%, 30% y 40% de cemento, a los 28 días. En condiciones saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

4.1.3.- Observaciones de los especímenes en condiciones saturadas con 1% y 5% de aditivo Maxe-h.

De acuerdo con la tabla de los pesos volumétricos, se observa que al usar 5% de aditivo en las mezclas, reduce el peso volumétrico fresco y el peso volumétrico a edad de prueba, en comparación con las mezclas donde se utiliza el 1% de aditivo. En las mezclas para condiciones saturadas.

De acuerdo con las gráficas anteriores (capítulos 4.1.1 y 4.1.2), correspondientes a los especímenes en condiciones saturadas con los porcentajes de cemento (10%, 15%, 20%, 30%, 40% y 70%) con 1% de aditivo Maxe-h y los porcentajes de cemento (10%, 15%, 20%, 30% y 40%) con 5 % de aditivo Maxe-h. Se observa que el incremento del aditivo en más de 1% reduce la resistencia de los especímenes, por lo que se debe de usar la cantidad propuesta por el distribuidor, que es la de 1% de aditivo Maxe-h, o bien hacer pruebas con porcentajes de aditivo diferentes a los propuestos en ésta tesis, para encontrar un mejor resultado.

Para especímenes en condiciones saturadas con 1% de aditivo, basta con un 20% de cemento para cumplir con el objetivo de esta tesis, es decir, que se alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm^2 y el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Mientras que cuando se usa 5% de aditivo Maxe-h se utiliza hasta 40% de cemento para cumplir con el objetivo de esta tesis.

En base a lo anterior se presenta un análisis del costo para 1m^3 de mezcla de suelo-cemento fluido con las características del proporcionamiento con 20% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h para una $f'c=25\text{kg/cm}^2$, en comparación con 1m^3 de concreto con una $f'c=150\text{kg/cm}^2$. El análisis es enfocado a muros de contención en condiciones saturadas, y se muestra en la tabla siguiente (tabla 55).

En el siguiente análisis no se toma en cuenta el costo de la mano de obra, por lo que el costo del suelo-cemento fluido puede disminuir con su puesta en obra,

además de que se logran mayores avances en tiempos menores, por lo tanto, también se tiene ahorro en tiempo.

4.1.4.- Análisis del costo de 1m³ de suelo-cemento fluido con $f'c=25\text{kg/cm}^2$ y 1m³ de concreto con $f'c=150\text{kg/cm}^2$, para condiciones saturadas.

1m³ de suelo-cemento fluido con $f'c=25\text{ kg/cm}^2$	Cantidad	Costo (\$)
Bultos de cemento	4.04	485.34
Tepetate (m3)	1.00	128.57
Agua (lts)	490.00	22.05
Aditivo Maxe-h (kg)	1.00	60.00
	Suma	695.97
1m³ de concreto con $f'c=150\text{ kg/cm}^2$	Cantidad	Costo (\$)
Bultos de cemento	6.6	792.0
Botes de arena (19 lts)	28.3	103.8
Botes de grava (19 lts)	34.4	125.9
Botes de agua (19 lts)	13.3	11.4
	Suma	1033.07

TABLA 55: Muestra el costo del suelo-cemento fluido y el concreto, por m³, para condiciones saturadas.

De la tabla anterior tenemos que, se logra un ahorro de aproximadamente 33%, en la mezcla de suelo-cemento fluido con respecto a la mezcla del concreto, por cada metro cúbico.

Además del ahorro económico, se debe de considerar el costo de la mano de obra y los tiempos de ejecución, por lo que, el costo del suelo-cemento fluido colocado en las estructuras, puede disminuir aún más por cada metro cubico.

4.2.- ESPECÍMENES EN CONDICIONES NO SATURADAS (CURADOS CON BOLSAS MUY HÚMEDAS).

4.2.1.- Tablas, gráficas y resultados de los proporcionamientos para especímenes en condiciones no saturadas con 1% de aditivo Maxe-h.

TABLA DE PROPORCIONAMIENTOS, REVENIMIENTOS Y TEMPERATURAS.

Porcentaje de cemento	Cemento para 1 m3 de tepetate	Pesos y volúmenes para 8 cilindros						Revenimiento	Temperatura
		Suelo	suelo + 15% desperdicio	Cemento	Agua real	Aditivo Maxe-h	Tepetate		
(%)	(kg)	(m3)	(m3)	(kg)	(lts)	(gr)	(kg)	(cm)	°C
10%	101.1	0.0126	0.0145	1.46	6.2	14.45	14.61	9.5	22.0
15%	151.7	0.126	0.0145	2.19	6.8	14.45	14.61	11.0	22.5
20%	202.2	0.126	0.0145	2.92	7.0	14.45	14.61	12.0	23.0
30%	303.3	0.126	0.0145	4.38	6.7	14.45	14.61	10.5	22.5
40%	404.5	0.126	0.0145	5.84	7.2	14.45	14.61	12.0	24.0

TABLA 56: Muestra los resultados de los proporcionamientos, revenimientos y temperaturas de las mezclas, para condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

TABLA DE RESULTADOS DE LOS PESOS VOLUMÉTRICOS.

N° de muestra	Porcentaje de cemento	Diámetro	Área	Altura	Volumen	Peso fresco	Peso volumétrico fresco	Peso a edad de prueba	Peso vol. a edad de prueba
-	(%)	cm	cm ²	cm	m ³	kg	kg/m3	kg	kg/m ³
1	10%	10	78.54	20	0.001571	2.590	1649	2.535	1614
2	10%	10	78.54	20	0.001571	2.590	1649	2.540	1617
3	10%	10	78.54	20	0.001571	2.580	1642	2.530	1611
4	10%	10	78.54	20	0.001571	2.590	1649	2.525	1607
5	10%	10	78.54	20	0.001571	2.580	1642	2.450	1560
6	10%	10	78.54	20	0.001571	2.585	1646	2.425	1544
7	10%	10	78.54	20	0.001571	2.585	1646	2.345	1493
8	10%	10	78.54	20	0.001571	2.590	1649	2.350	1496
1	15%	10	78.54	20	0.001571	2.610	1662	2.550	1623
2	15%	10	78.54	20	0.001571	2.610	1662	2.540	1617
3	15%	10	78.54	20	0.001571	2.605	1658	2.505	1595
4	15%	10	78.54	20	0.001571	2.610	1662	2.510	1598
5	15%	10	78.54	20	0.001571	2.600	1655	2.490	1585
6	15%	10	78.54	20	0.001571	2.605	1658	2.480	1579
7	15%	10	78.54	20	0.001571	2.600	1655	2.410	1534
8	15%	10	78.54	20	0.001571	2.605	1658	2.400	1528
1	20%	10	78.54	20	0.001571	2.640	1681	2.610	1662
2	20%	10	78.54	20	0.001571	2.630	1674	2.605	1658
3	20%	10	78.54	20	0.001571	2.630	1674	2.590	1649
4	20%	10	78.54	20	0.001571	2.635	1677	2.590	1649
5	20%	10	78.54	20	0.001571	2.640	1681	2.560	1630
6	20%	10	78.54	20	0.001571	2.630	1674	2.550	1623
7	20%	10	78.54	20	0.001571	2.640	1681	2.400	1528
8	20%	10	78.54	20	0.001571	2.630	1674	2.415	1537
1	30%	10	78.54	20	0.001571	2.635	1677	2.600	1655
2	30%	10	78.54	20	0.001571	2.645	1684	2.610	1662
3	30%	10	78.54	20	0.001571	2.640	1681	2.570	1636
4	30%	10	78.54	20	0.001571	2.650	1687	2.570	1636
5	30%	10	78.54	20	0.001571	2.640	1681	2.500	1592
6	30%	10	78.54	20	0.001571	2.635	1677	2.500	1592
7	30%	10	78.54	20	0.001571	2.640	1681	2.450	1560
8	30%	10	78.54	20	0.001571	2.640	1681	2.450	1560

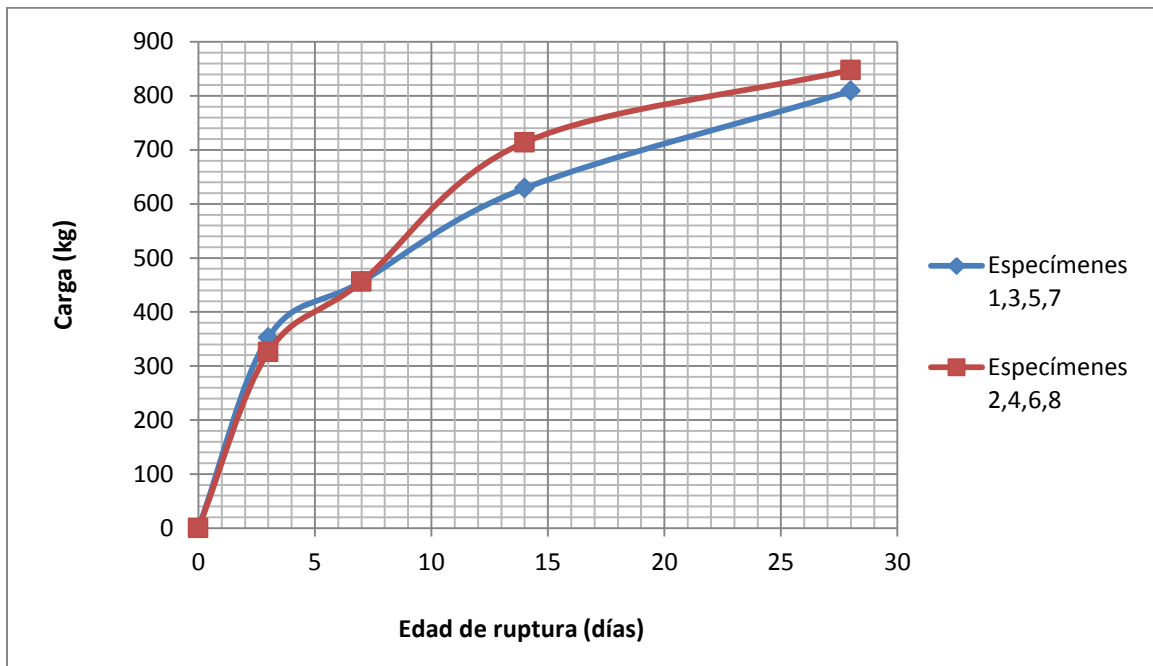
1	40%	10	78.54	20	0.001571	2.645	1684	2.610	1662
2	40%	10	78.54	20	0.001571	2.650	1687	2.625	1671
3	40%	10	78.54	20	0.001571	2.670	1700	2.590	1649
4	40%	10	78.54	20	0.001571	2.650	1687	2.595	1652
5	40%	10	78.54	20	0.001571	2.655	1690	2.580	1642
6	40%	10	78.54	20	0.001571	2.665	1697	2.575	1639
7	40%	10	78.54	20	0.001571	2.655	1690	2.500	1592
8	40%	10	78.54	20	0.001571	2.665	1697	2.505	1595

TABLA 57: Muestra los pesos volumétricos frescos y pesos volumétricos a la edad de prueba, de los especímenes en condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

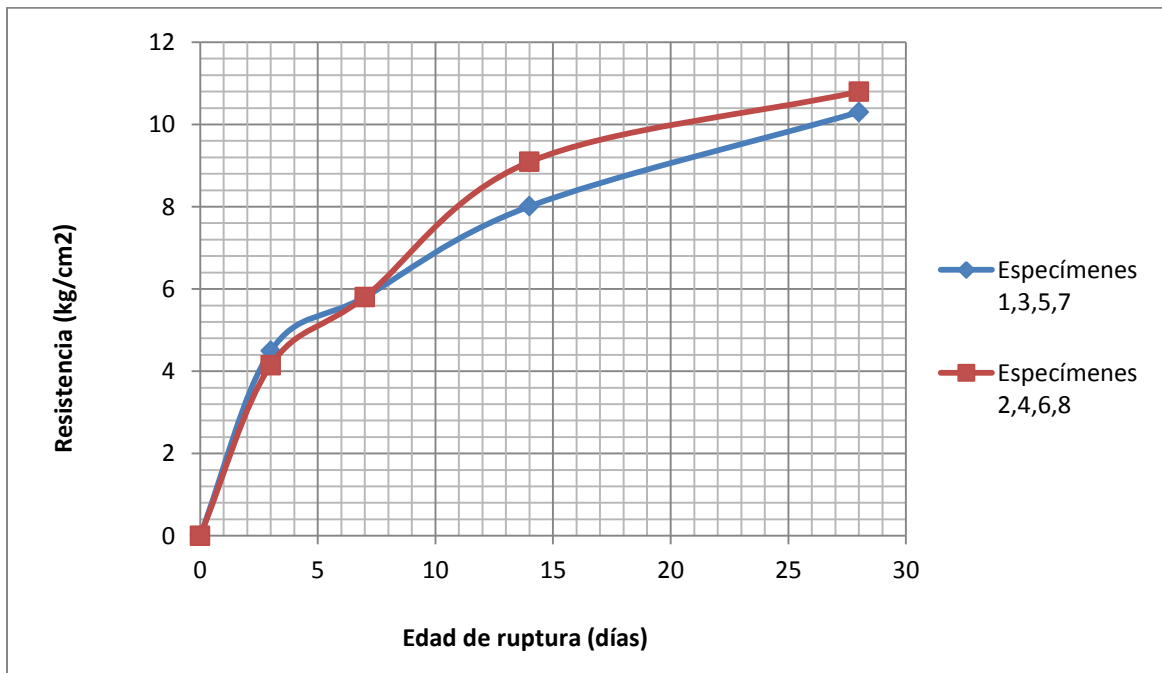
4.2.1.1.- Proporcionamiento del 10% de cemento, para condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

N° de muestra	Propor. de cemento	Propor. Maxe -h	Propor. de tepetate	Propor. de agua	Revenimiento	Fecha de colado	Fecha de ruptura	Edad	F'c	Carga	Resistencia	% de Resistencia
-	(kg)	(gr)	(kg)	(lts)	(cm)	-	-	(días)	(kg/cm2) (MPa)	(kgf)	(kg/cm2) (MPa)	(%)
1	1.46	14.45	14.61	6.2	9.5	28/10/2015	31/10/2105	3	25 (2.45)	353	4.49 (0.44)	17.97%
2	1.46	14.45	14.61	6.2	9.5	28/10/2015	31/10/2105	3	25 (2.45)	326	4.15 (0.41)	16.59%
3	1.46	14.45	14.61	6.2	9.5	28/10/2015	04/11/2015	7	25 (2.45)	456	5.81 (0.57)	23.22%
4	1.46	14.45	14.61	6.2	9.5	28/10/2015	04/11/2015	7	25 (2.45)	456	5.81 (0.57)	23.22%
5	1.46	14.45	14.61	6.2	9.5	28/10/2015	11/11/2015	14	25 (2.45)	629	8.01 (0.79)	32.03%
6	1.46	14.45	14.61	6.2	9.5	28/10/2015	11/11/2015	14	25 (2.45)	714	9.09 (0.89)	36.36%
7	1.46	14.45	14.61	6.2	9.5	28/10/2015	25/11/2015	28	25 (2.45)	809	10.30 (1.01)	41.20%
8	1.46	14.45	14.61	6.2	9.5	28/10/2015	25/11/2015	28	25 (2.45)	848	10.80 (1.06)	43.19%

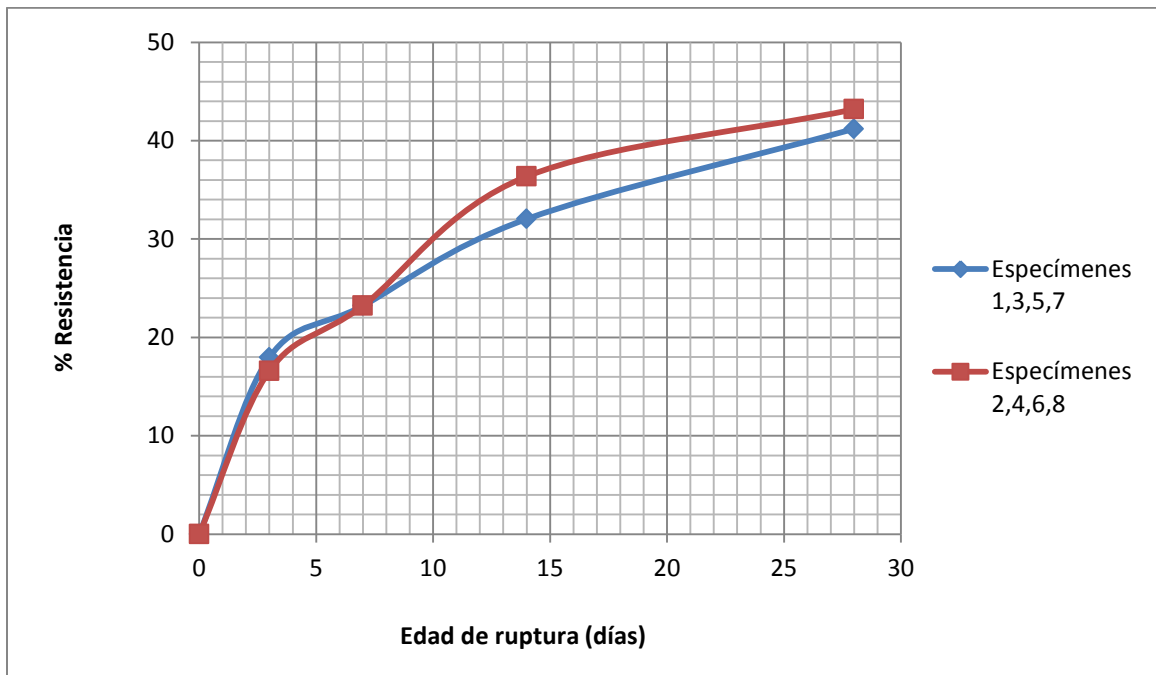
TABLA 58: Muestra las cargas soportadas, las resistencias y porcentajes de resistencias alcanzadas por los especímenes con 10% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h, en condiciones no saturadas.



GRÁFICA 45: Carga – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 10% de cemento en condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



GRÁFICA 46: Resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 10% de cemento en condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



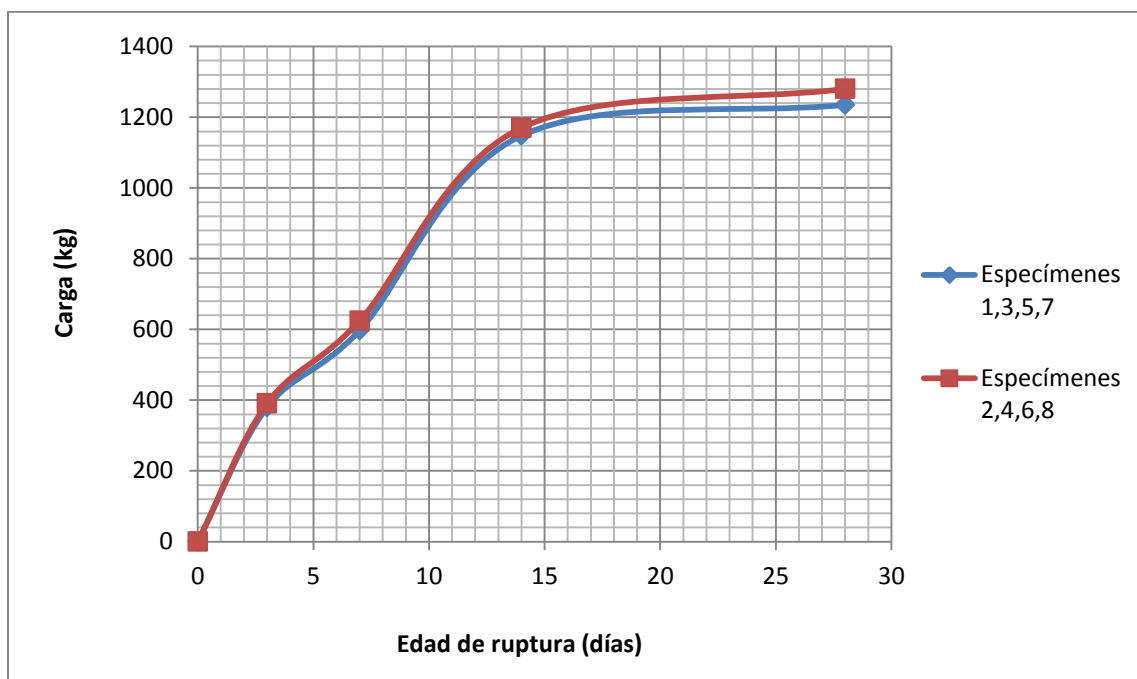
GRÁFICA 47: Por ciento de resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 10% de cemento en condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que, el proporcionamiento con 10% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h, en condiciones no saturadas, no cumple con las especificaciones de ésta tesis, es decir, no alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm^2 , el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Por lo tanto, no se puede utilizar en el diseño de la mezcla para suelo-cemento fluido.

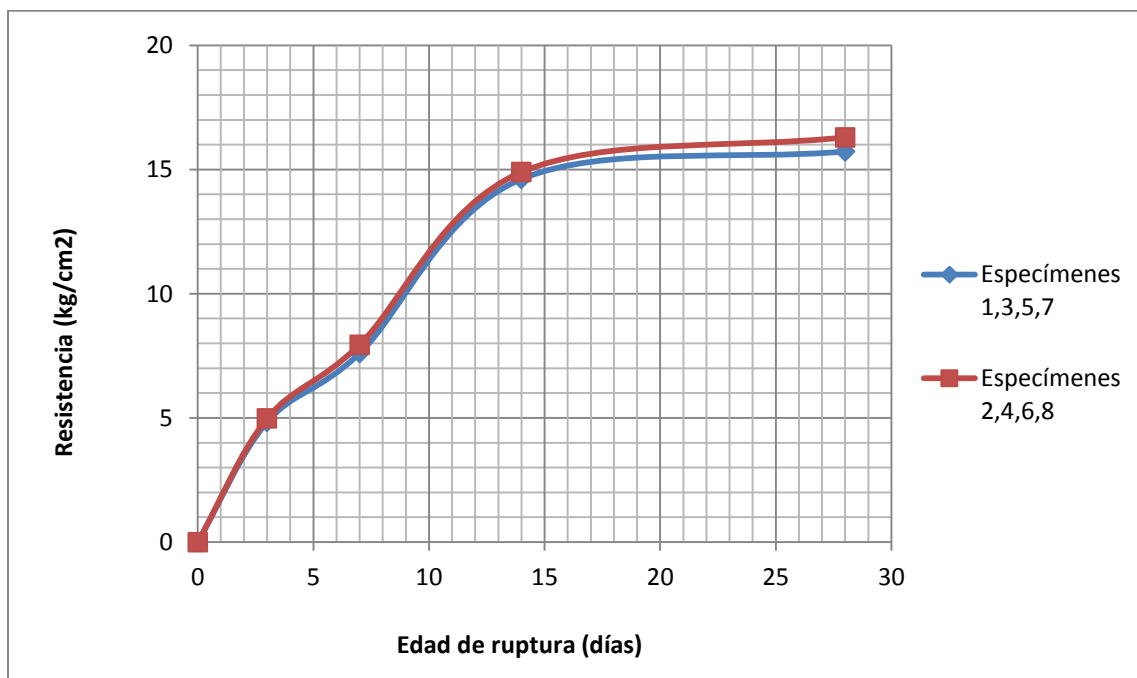
4.2.1.2.- Proporcionamiento del 15% de cemento, para condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

N° de muestra	Propor. de cemento	Propor. Maxe -h	Propor. de tepetate	Propor. de agua	Revenimiento	Fecha de colado	Fecha de ruptura	Edad	F'c	Carga	Resistencia	% de Resistencia
-	(kg)	(gr)	(kg)	(lts)	(cm)	-	-	(días)	(kg/cm2) (MPa)	(kgf)	(kg/cm2) (MPa)	(%)
1	2.19	14.45	14.61	6.8	11	28/10/2015	31/10/2105	3	25 (2.45)	380	4.84 (0.47)	19.35%
2	2.19	14.45	14.61	6.8	11	28/10/2015	31/10/2105	3	25 (2.45)	391	4.98 (0.49)	19.90%
3	2.19	14.45	14.61	6.8	11	28/10/2015	04/11/2015	7	25 (2.45)	597	7.60 (0.75)	30.41%
4	2.19	14.45	14.61	6.8	11	28/10/2015	04/11/2015	7	25 (2.45)	624	7.95 (0.78)	31.79%
5	2.19	14.45	14.61	6.8	11	28/10/2015	11/11/2015	14	25 (2.45)	1148	14.62 (1.43)	58.47%
6	2.19	14.45	14.61	6.8	11	28/10/2015	11/11/2015	14	25 (2.45)	1170	14.90 (1.46)	59.59%
7	2.19	14.45	14.61	6.8	11	28/10/2015	25/11/2015	28	25 (2.45)	1235	15.72 (1.54)	62.90%
8	2.19	14.45	14.61	6.8	11	28/10/2015	25/11/2015	28	25 (2.45)	1280	16.30 (1.60)	65.19%

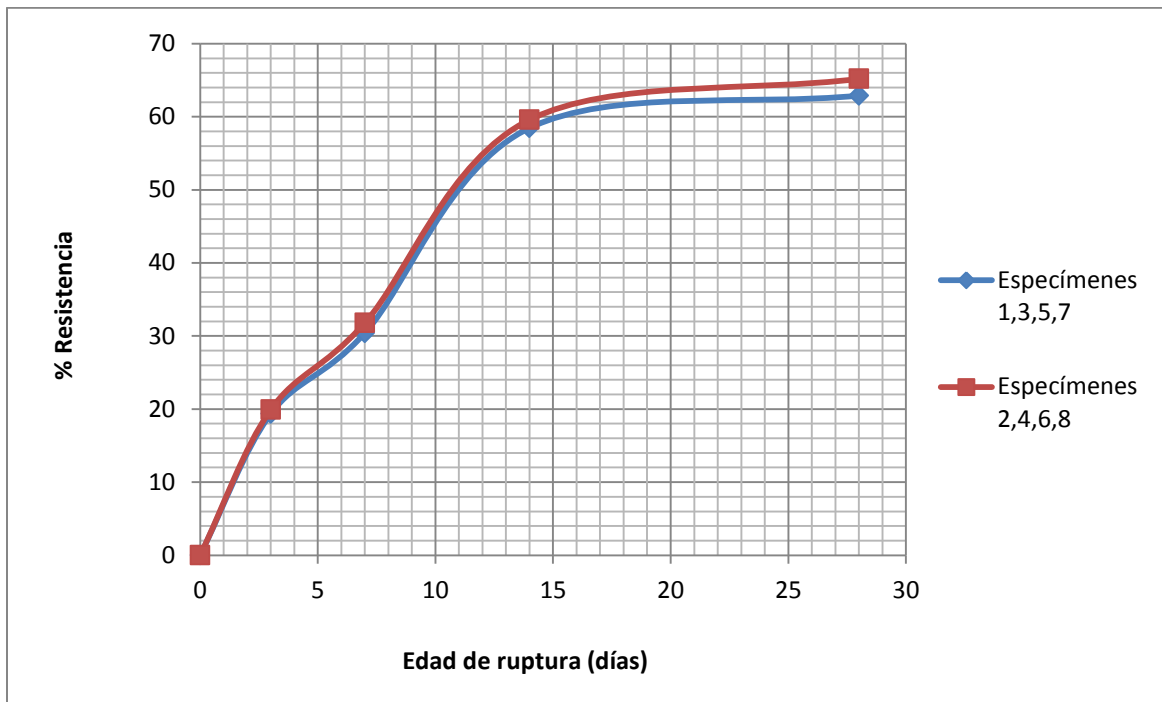
TABLA 59: Muestra las cargas soportadas, las resistencias y porcentajes de resistencias alcanzadas por los especímenes con 15% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h, en condiciones no saturadas.



GRÁFICA 48: Carga – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 15% de cemento en condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



GRÁFICA 49: Resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 15% de cemento en condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



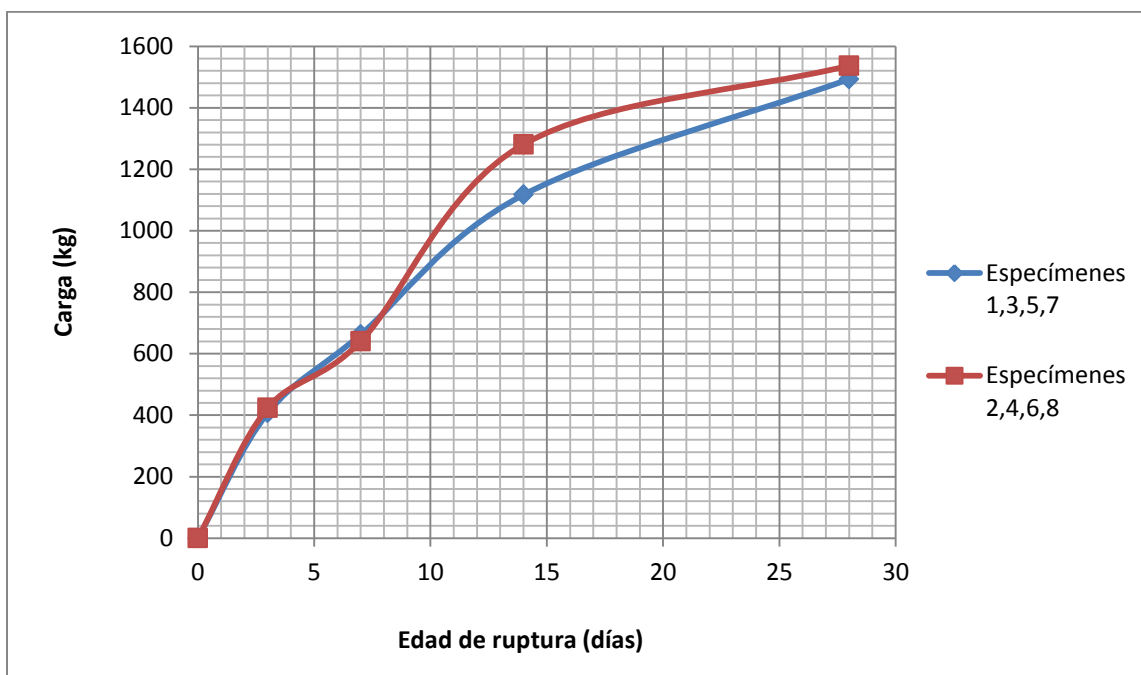
GRÁFICA 50: Por ciento de resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 15% de cemento en condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que, el proporcionamiento con 15% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h, en condiciones no saturadas, no cumple con las especificaciones de ésta tesis, es decir, no alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm^2 y el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Por lo tanto, no se puede utilizar en el diseño de la mezcla para suelo-cemento fluido.

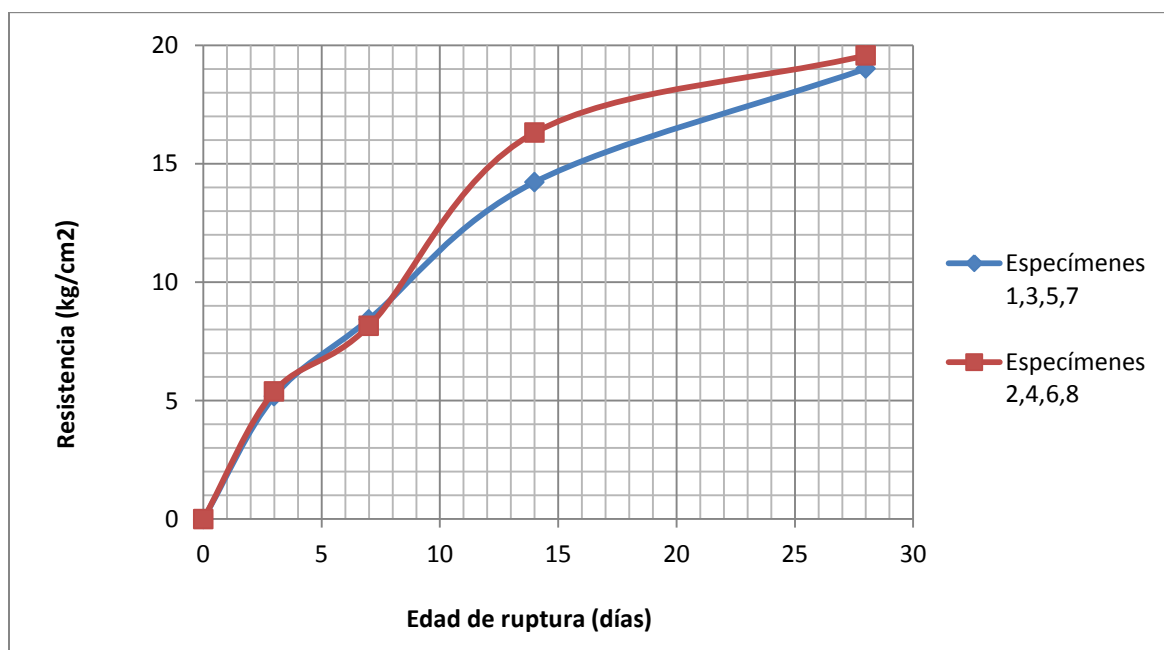
4.2.1.3.- Proporcionamiento del 20% de cemento, para condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

N° de muestra	Propor. de cemento	Propor. Maxe-h	Propor. de tepetate	Propor. de agua	Revenimiento	Fecha de colado	Fecha de ruptura	Edad	F'c	Carga	Resistencia	% de Resistencia
-	(kg)	(gr)	(kg)	(lts)	(cm)	-	-	(días)	(kg/cm ²) (MPa)	(kgf)	(kg/cm ²) (MPa)	(%)
1	2.92	14.45	14.61	7	12	28/10/2015	31/10/2105	3	25 (2.45)	407	5.18 (0.51)	20.73%
2	2.92	14.45	14.61	7	12	28/10/2015	31/10/2105	3	25 (2.45)	423	5.39 (0.53)	21.56%
3	2.92	14.45	14.61	7	12	28/10/2015	04/11/2015	7	25 (2.45)	662	8.43 (0.83)	33.73%
4	2.92	14.45	14.61	7	12	28/10/2015	04/11/2015	7	25 (2.45)	641	8.16 (0.80)	32.62%
5	2.92	14.45	14.61	7	12	28/10/2015	11/11/2015	14	25 (2.45)	1117	14.22 (1.39)	56.89%
6	2.92	14.45	14.61	7	12	28/10/2015	11/11/2015	14	25 (2.45)	1281	16.31 (1.60)	65.24%
7	2.92	14.45	14.61	7	12	28/10/2015	25/11/2015	28	25 (2.45)	1493	19.01 (1.86)	76.04%
8	2.92	14.45	14.61	7	12	28/10/2015	25/11/2015	28	25 (2.45)	1537	19.57 (1.92)	78.28%

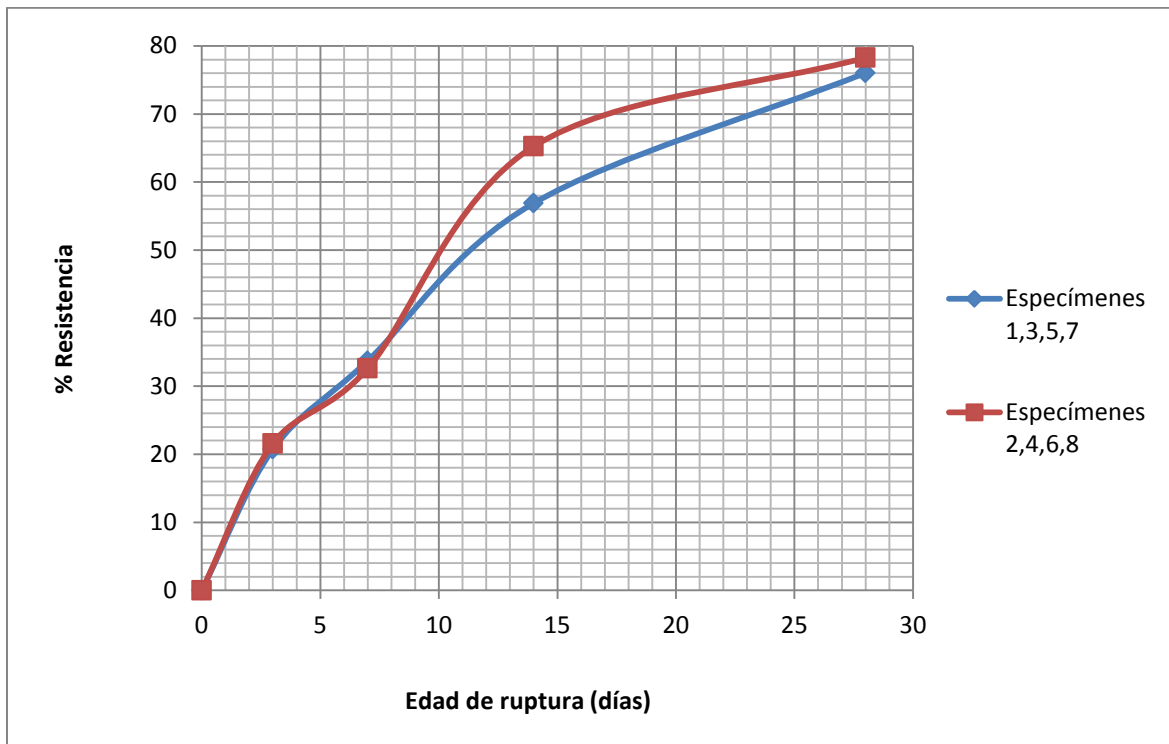
TABLA 60: Muestra las cargas soportadas, las resistencias y porcentajes de resistencias alcanzadas por los especímenes con 20% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h, en condiciones no saturadas.



GRÁFICA 51: Carga – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 20% de cemento en condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



GRÁFICA 52: Resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 20% de cemento en condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



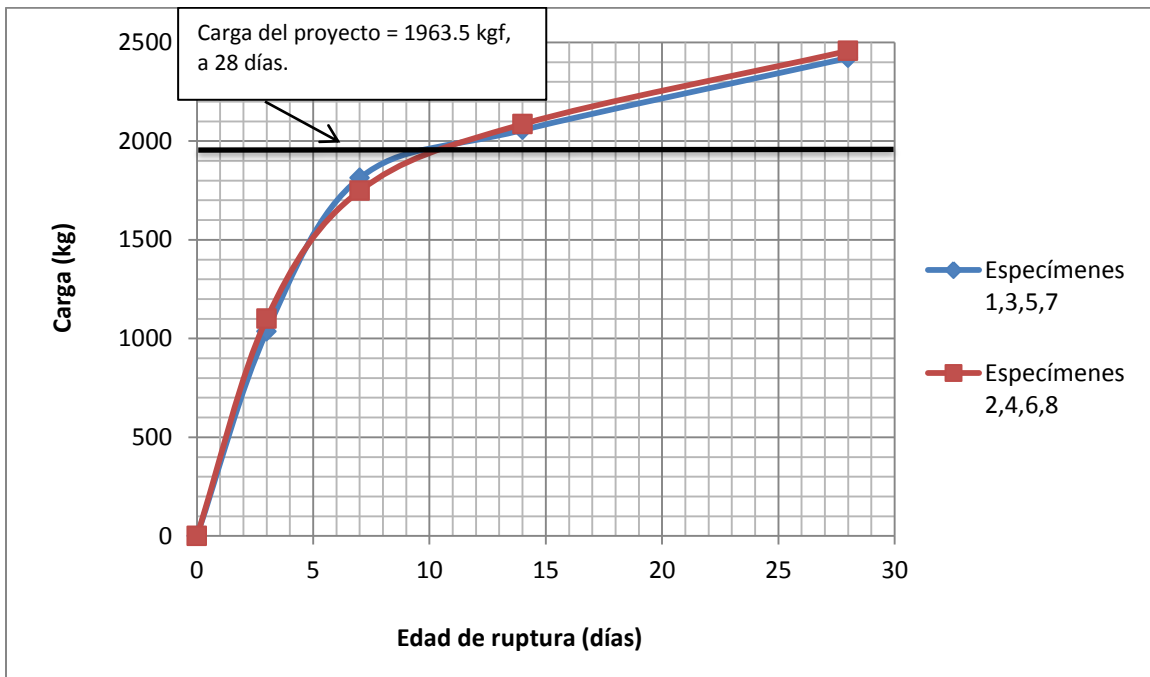
GRÁFICA 53: Por ciento de resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 20% de cemento en condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que, el proporcionamiento con 20% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h, en condiciones no saturadas, no cumple con las especificaciones de ésta tesis, es decir, no alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm² y el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Por lo tanto, no se puede utilizar en el diseño de la mezcla para suelo-cemento fluido.

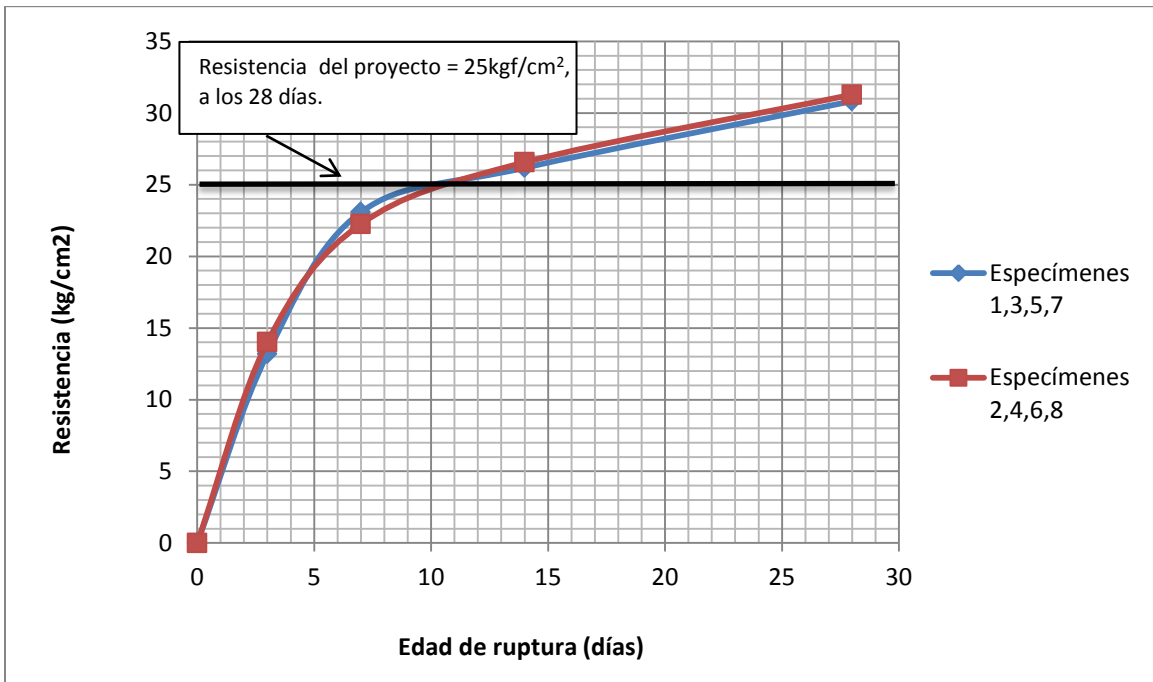
4.2.1.4.- Proporcionamiento del 30% de cemento, para condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

N° de muestra	Propor. de cemento	Propor. Maxe-h	Propor. de tepetate	Propor. de agua	Revenimiento	Fecha de colado	Fecha de ruptura	Edad	F'c	Carga	Resistencia	% de Resistencia
-	(kg)	(gr)	(kg)	(lts)	(cm)	-	-	(días)	(kg/cm2) (MPa)	(kgf)	(kg/cm2) (MPa)	(%)
1	4.38	14.45	14.61	6.7	10.5	03/11/2015	06/11/2015	3	25 (2.45)	1036	13.19 (1.29)	52.75%
2	4.38	14.45	14.61	6.7	10.5	03/11/2015	06/11/2015	3	25 (2.45)	1101	14.01 (1.37)	56.05%
3	4.38	14.45	14.61	6.7	10.5	03/11/2015	10/11/2015	7	25 (2.45)	1813	23.08 (2.26)	92.32%
4	4.38	14.45	14.61	6.7	10.5	03/11/2015	10/11/2015	7	25 (2.45)	1748	22.26 (2.18)	89.02%
5	4.38	14.45	14.61	6.7	10.5	03/11/2015	17/11/2015	14	25 (2.45)	2056	26.18 (2.57)	104.71%
6	4.38	14.45	14.61	6.7	10.5	03/11/2015	17/11/2015	14	25 (2.45)	2086	26.56 (2.60)	106.24%
7	4.38	14.45	14.61	6.7	10.5	03/11/2015	01/12/2015	28	25 (2.45)	2421	30.83 (3.02)	123.30%
8	4.38	14.45	14.61	6.7	10.5	03/11/2015	01/12/2015	28	25 (2.45)	2457	31.28 (3.07)	125.13%

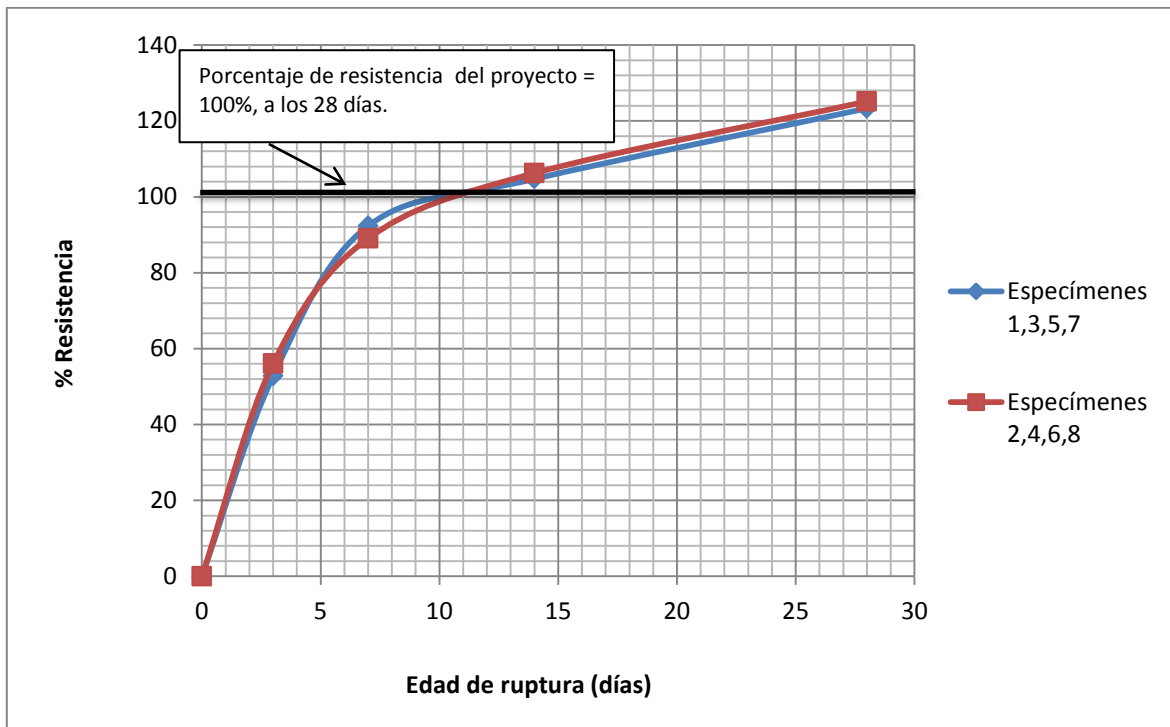
TABLA 61: Muestra las cargas soportadas, las resistencias y porcentajes de resistencias alcanzadas por los especímenes con 30% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h, en condiciones no saturadas.



GRÁFICA 54: Carga – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 30% de cemento en condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



GRÁFICA 55: Resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 30% de cemento en condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



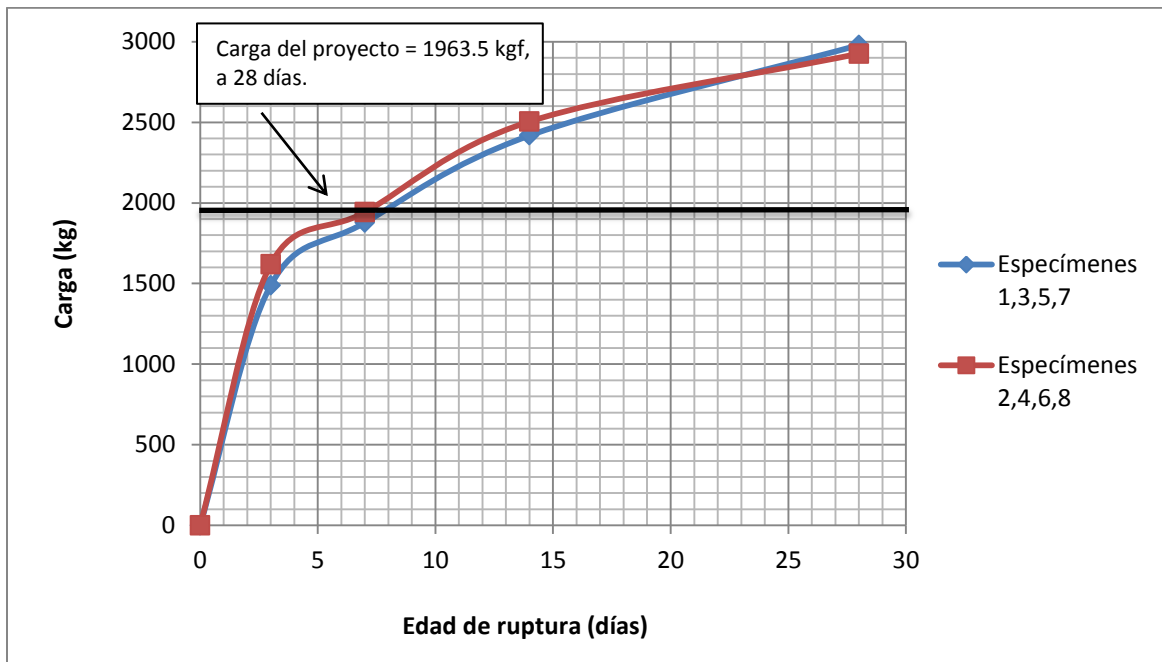
GRÁFICA 56: Por ciento de resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 30% de cemento en condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que, el proporcionamiento con 30% de cemento y 1% de aditivo, en condiciones no saturadas, cumple con las especificaciones de ésta tesis, es decir, alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm² y el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Por lo tanto, se puede utilizar en el diseño de la mezcla para suelo-cemento fluido.

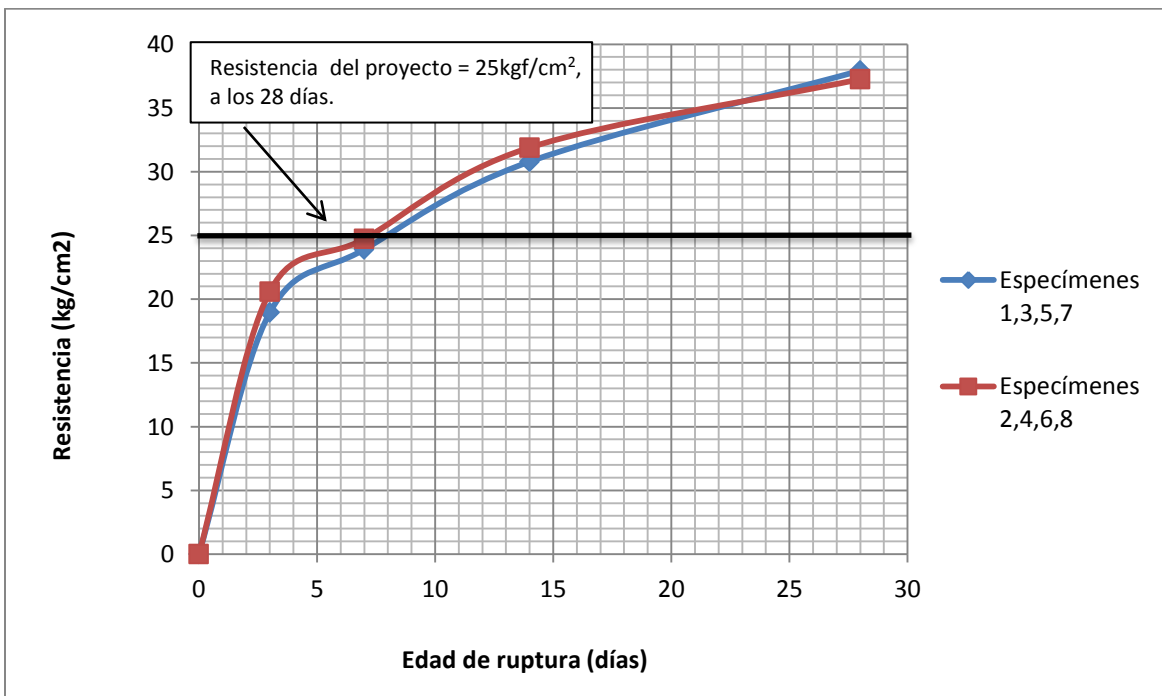
4.2.1.5.- Proporcionamiento del 40% de cemento, para condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

N° de muestra	Propor. de cemento	Propor. Maxe -h	Propor. de tepetate	Propor. de agua	Revenimiento	Fecha de colado	Fecha de ruptura	Edad	F'c	Carga	Resistencia	% de Resistencia
-	(kg)	(gr)	(kg)	(lts)	(cm)	-	-	(días)	(kg/cm ²) (MPa)	(kgf)	(kg/cm ²) (MPa)	(%)
1	5.84	14.45	14.61	7.2	12	03/11/2015	06/11/2015	3	25 (2.45)	1489	18.96 (1.86)	75.83%
2	5.84	14.45	14.61	7.2	12	03/11/2015	06/11/2015	3	25 (2.45)	1619	20.61 (2.02)	82.43%
3	5.84	14.45	14.61	7.2	12	03/11/2015	10/11/2015	7	25 (2.45)	1877	23.90 (2.34)	95.62%
4	5.84	14.45	14.61	7.2	12	03/11/2015	10/11/2015	7	25 (2.45)	1942	24.73 (2.43)	98.92%
5	5.84	14.45	14.61	7.2	12	03/11/2015	17/11/2015	14	25 (2.45)	2418	30.79 (3.02)	123.15%
6	5.84	14.45	14.61	7.2	12	03/11/2015	17/11/2015	14	25 (2.45)	2505	31.89 (3.13)	127.58%
7	5.84	14.45	14.61	7.2	12	03/11/2015	01/12/2015	28	25 (2.45)	2979	37.93 (3.72)	151.72%
8	5.84	14.45	14.61	7.2	12	03/11/2015	01/12/2015	28	25 (2.45)	2926	37.25 (3.65)	149.02%

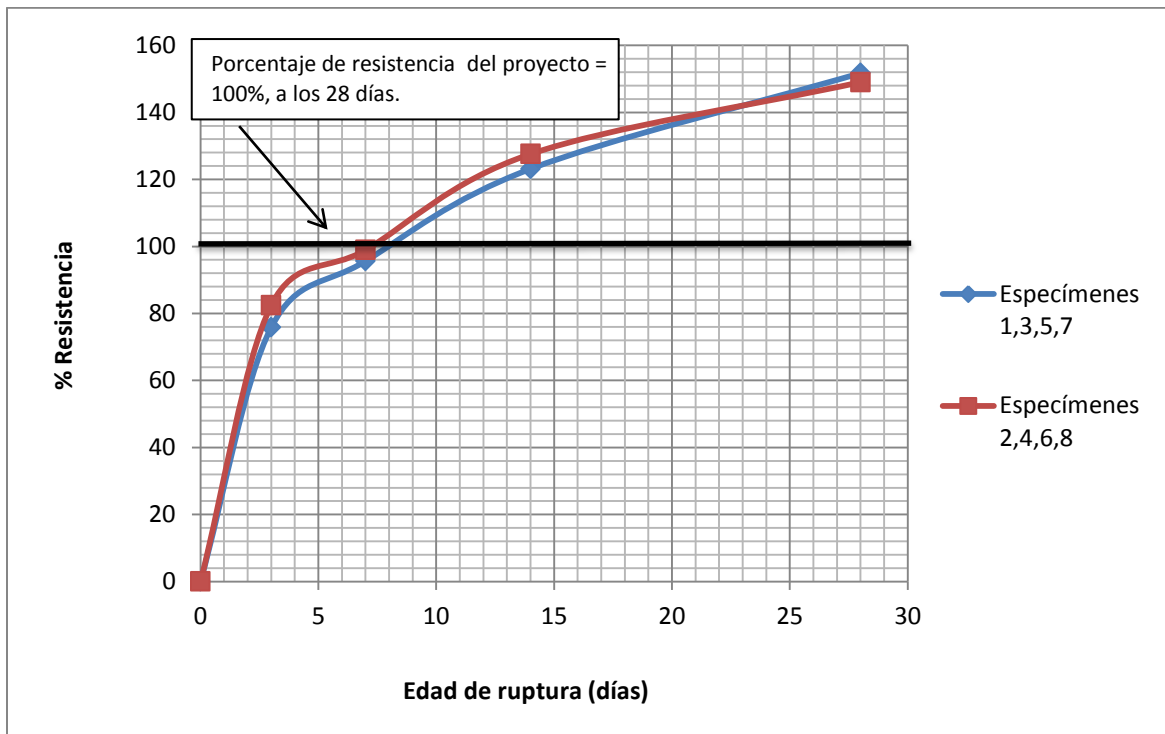
TABLA 62: Muestra las cargas soportadas, las resistencias y porcentajes de resistencias alcanzadas por los especímenes con 40% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h, en condiciones no saturadas.



GRÁFICA 57: Carga – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 40% de cemento en condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



GRÁFICA 58: Resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 40% de cemento en condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.



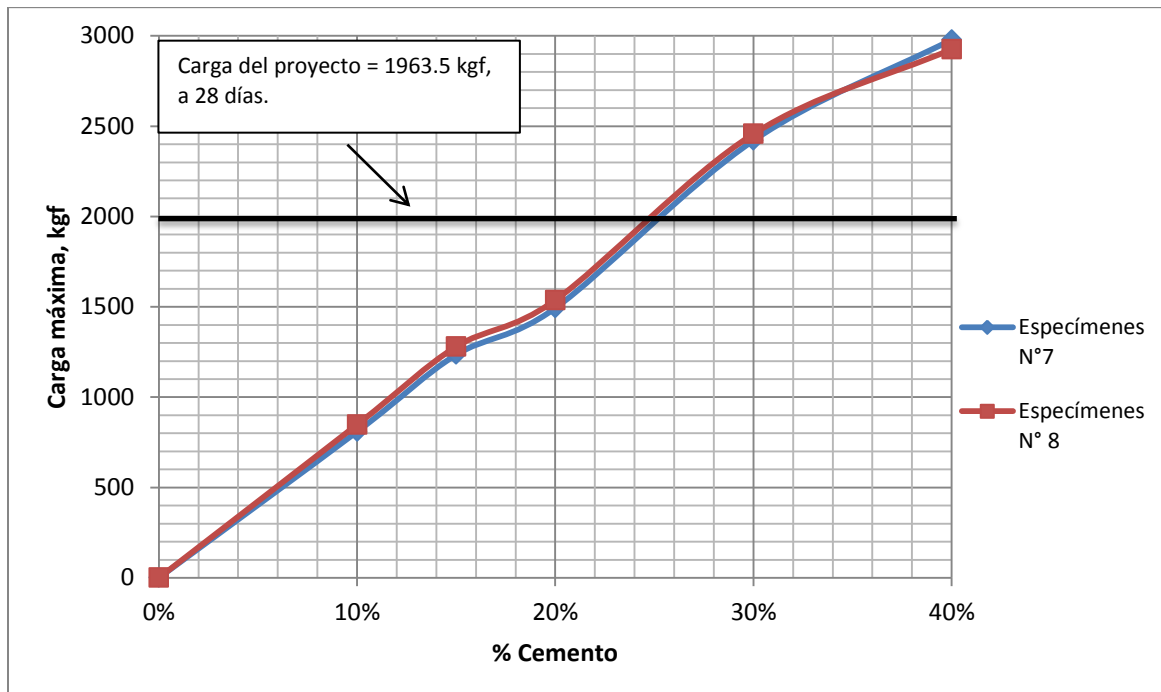
GRÁFICA 59: Porcentaje de resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 40% de cemento en condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que, el proporcionamiento con 40% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h, en condiciones no saturadas, cumple con las especificaciones de ésta tesis, es decir, alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm^2 y el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Por lo tanto, se puede utilizar en el diseño de la mezcla para suelo-cemento fluido.

En la tabla siguiente se muestran las cargas máximas que soportaron los especímenes a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, se muestran los resultados de los especímenes 7 (nones) y 8 (pares) para cada porcentaje de cemento (10%, 15%, 20%, 30% y 40%), así como su gráfica correspondiente.

% Cemento	Carga máxima (kgf)	
	Nones	Pares
0%	0	0
10%	809	848
15%	1235	1280
20%	1493	1537
30%	2421	2457
40%	2979	2926

TABLA 63: Cargas máximas soportadas por los especímenes con diferentes porcentajes de cemento y 1% de aditivo, en condiciones no saturadas, a los 28 días.

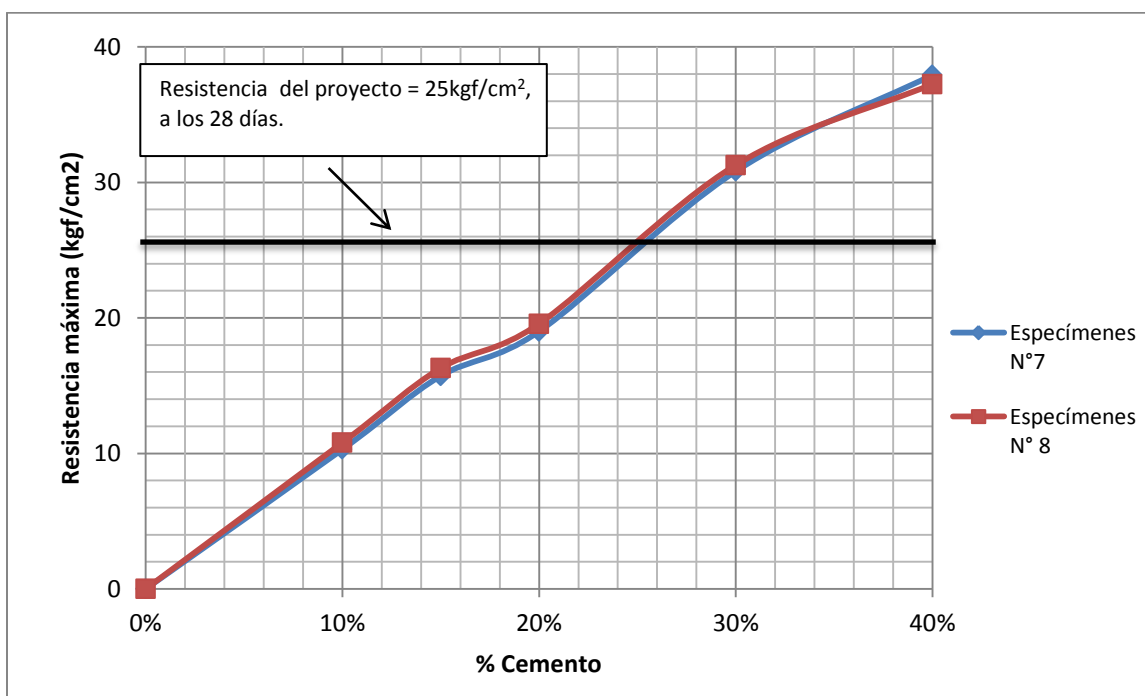


GRÁFICA 60: Carga máxima – Porcentaje de cemento, de los cilindros con 10%, 15%, 20%, 30% y 40% de cemento, a los 28 días. En condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

En la tabla siguiente se muestran las resistencias máximas que alcanzaron los especímenes a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, se muestran los resultados de los especímenes 7 (nones) y 8 (pares) para cada porcentaje de cemento (10%, 15%, 20%, 30% y 40%), así como su gráfica correspondiente.

% Cemento	Resistencia máxima (kgf/cm ²)	
	Nones	Pares
0%	0	0
10%	10.30	10.80
15%	15.72	16.30
20%	19.01	19.57
30%	30.83	31.28
40%	37.93	37.25

TABLA 64: Resistencias máximas alcanzadas por los especímenes con diferentes porcentajes de cemento y 1% de aditivo, en condiciones no saturadas, a los 28 días.

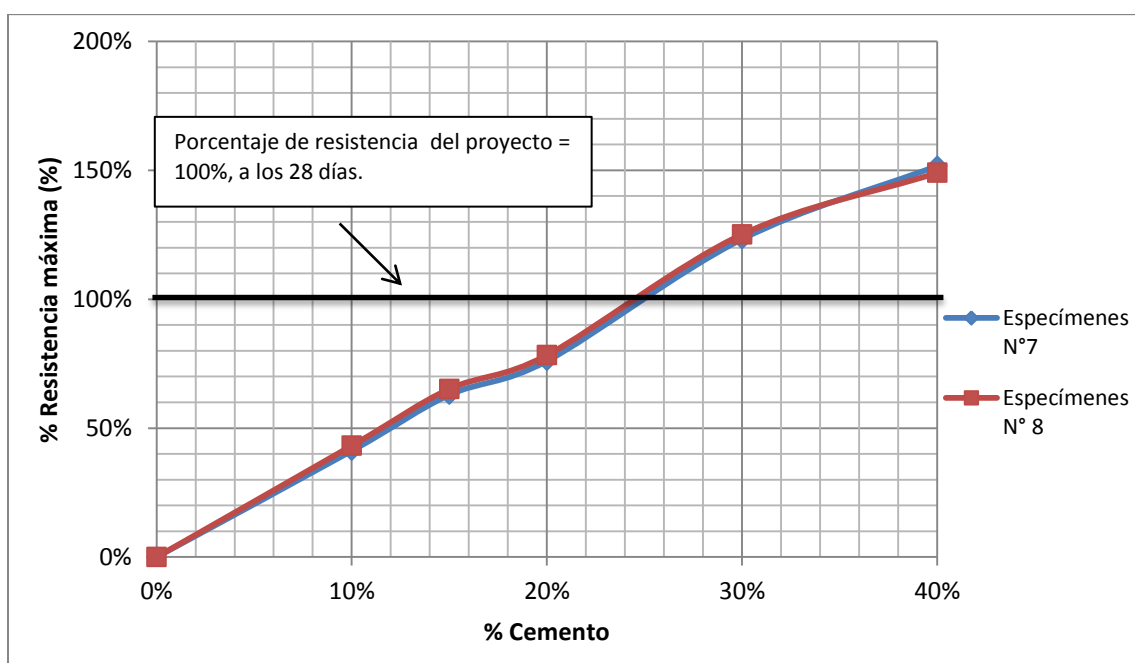


GRÁFICA 61: Resistencia máxima– Porcentaje de cemento, de los cilindros con 10%, 15%, 20%, 30% y 40% de cemento, a los 28 días. En condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

En la tabla siguiente se muestran los porcentajes de resistencias máximas que alcanzaron los especímenes a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, se muestran los resultados de los especímenes 7 (nones) y 8 (pares) para cada porcentaje de cemento (10%, 15%, 20%, 30% y 40%), así como su gráfica correspondiente.

% Cemento	% Resistencia máxima	
	Nones	Pares
0%	0.00%	0.00%
10%	41.20%	43.19%
15%	62.90%	65.19%
20%	76.04%	78.28%
30%	123.30%	125.13%
40%	151.72%	149.02%

TABLA 65: % de resistencias máximas alcanzadas por los especímenes con diferentes porcentajes de cemento y 1% de aditivo, en condiciones no saturadas, a los 28 días.



GRÁFICA 62: Porcentaje de resistencia máxima– Porcentaje de cemento, de los cilindros con 10%, 15%, 20%, 30% y 40% de cemento, a los 28 días. En condiciones no saturadas y 1% de aditivo Maxe-h.

4.2.2.- Tablas, gráficas y resultados de los proporcionamientos para especímenes en condiciones no saturadas con 5% de aditivo Maxe-h.

TABLA DE PROPORCIONAMIENTOS, REVENIMIENTOS Y TEMPERATURAS.

Porcentaje de cemento	Cemento para 1 m ³ de tepetate	Pesos y volúmenes para 8 cilindros						Revenimiento	Temperatura
		Suelo	suelo + 15% desperdicio	Cemento	Agua real	Aditivo Maxe-h	Tepetate		
(%)	(kg)	(m3)	(m3)	(kg)	(lts)	(gr)	(kg)	(cm)	°C
10%	101.1	0.0126	0.0145	1.46	6.8	14.45	14.61	12.5	20.0
15%	151.7	0.126	0.0145	2.19	7.3	14.45	14.61	14.0	20.5
20%	202.2	0.126	0.0145	2.92	6.6	14.45	14.61	9.0	22.0
30%	303.3	0.126	0.0145	4.38	6.9	14.45	14.61	11.0	21.0
40%	404.5	0.126	0.0145	5.84	7.2	14.45	14.61	13.0	22.0

TABLA 66: Muestra los resultados de los proporcionamientos, revenimientos y temperaturas de las mezclas, para condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

TABLA DE RESULTADOS DE LOS PESOS VOLUMÉTRICOS.

N° de muestra	Porcentaje de cemento	Diámetro	Área	Altura	Volumen	Peso fresco	Peso volumétrico fresco	Peso a edad de prueba	Peso vol. a edad de prueba
-	(%)	cm	cm ²	cm	m ³	kg	kg/m ³	kg	kg/m ³
1	10%	10	78.54	20	0.001571	2.570	1636	2.530	1611
2	10%	10	78.54	20	0.001571	2.565	1633	2.530	1611
3	10%	10	78.54	20	0.001571	2.570	1636	2.500	1592
4	10%	10	78.54	20	0.001571	2.570	1636	2.505	1595
5	10%	10	78.54	20	0.001571	2.560	1630	2.480	1579
6	10%	10	78.54	20	0.001571	2.565	1633	2.470	1572
7	10%	10	78.54	20	0.001571	2.570	1636	2.330	1483
8	10%	10	78.54	20	0.001571	2.580	1642	2.325	1480
1	15%	10	78.54	20	0.001571	2.580	1642	2.560	1630
2	15%	10	78.54	20	0.001571	2.585	1646	2.555	1627
3	15%	10	78.54	20	0.001571	2.590	1649	2.510	1598
4	15%	10	78.54	20	0.001571	2.590	1649	2.505	1595
5	15%	10	78.54	20	0.001571	2.590	1649	2.440	1553
6	15%	10	78.54	20	0.001571	2.600	1655	2.440	1553
7	15%	10	78.54	20	0.001571	2.590	1649	2.350	1496
8	15%	10	78.54	20	0.001571	2.585	1646	2.350	1496
1	20%	10	78.54	20	0.001571	2.610	1662	2.550	1623
2	20%	10	78.54	20	0.001571	2.610	1662	2.540	1617
3	20%	10	78.54	20	0.001571	2.605	1658	2.505	1595
4	20%	10	78.54	20	0.001571	2.610	1662	2.510	1598
5	20%	10	78.54	20	0.001571	2.600	1655	2.490	1585
6	20%	10	78.54	20	0.001571	2.605	1658	2.480	1579
7	20%	10	78.54	20	0.001571	2.600	1655	2.410	1534
8	20%	10	78.54	20	0.001571	2.605	1658	2.400	1528
1	30%	10	78.54	20	0.001571	2.640	1681	2.610	1662
2	30%	10	78.54	20	0.001571	2.630	1674	2.605	1658
3	30%	10	78.54	20	0.001571	2.630	1674	2.585	1646
4	30%	10	78.54	20	0.001571	2.635	1677	2.590	1649
5	30%	10	78.54	20	0.001571	2.640	1681	2.560	1630
6	30%	10	78.54	20	0.001571	2.630	1674	2.550	1623
7	30%	10	78.54	20	0.001571	2.640	1681	2.400	1528
8	30%	10	78.54	20	0.001571	2.630	1674	2.400	1528

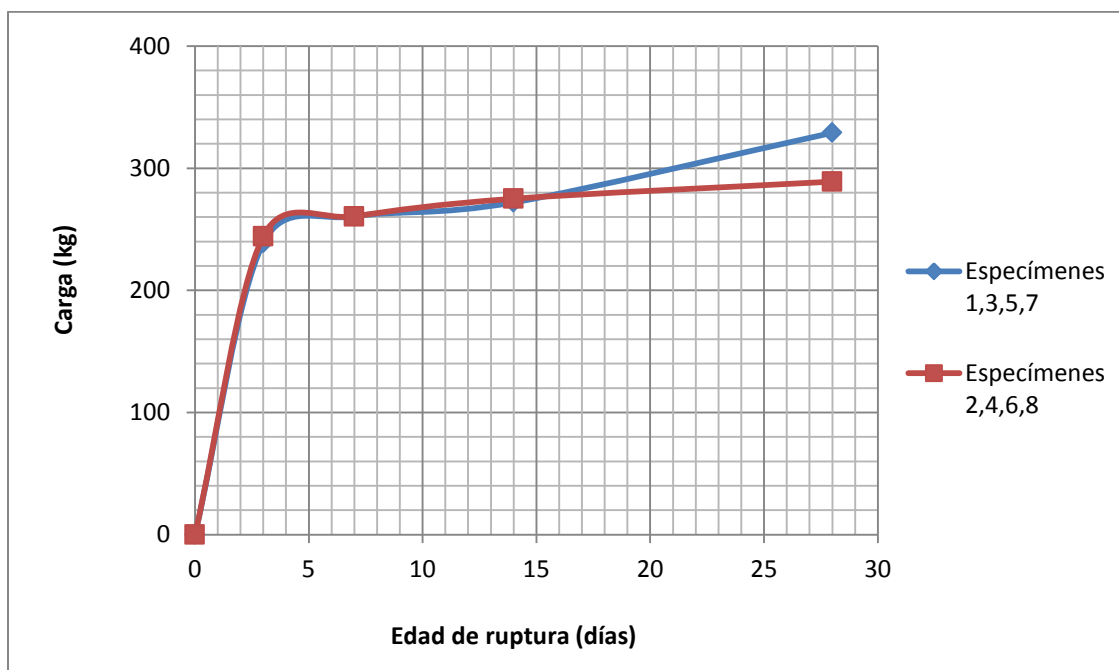
1	40%	10	78.54	20	0.001571	2.635	1677	2.600	1655
2	40%	10	78.54	20	0.001571	2.645	1684	2.610	1662
3	40%	10	78.54	20	0.001571	2.640	1681	2.570	1636
4	40%	10	78.54	20	0.001571	2.650	1687	2.570	1636
5	40%	10	78.54	20	0.001571	2.640	1681	2.500	1592
6	40%	10	78.54	20	0.001571	2.635	1677	2.500	1592
7	40%	10	78.54	20	0.001571	2.640	1681	2.440	1553
8	40%	10	78.54	20	0.001571	2.635	1677	2.445	1557

TABLA 67: Muestra los pesos volumétricos frescos y pesos volumétricos a la edad de prueba, de los especímenes en condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

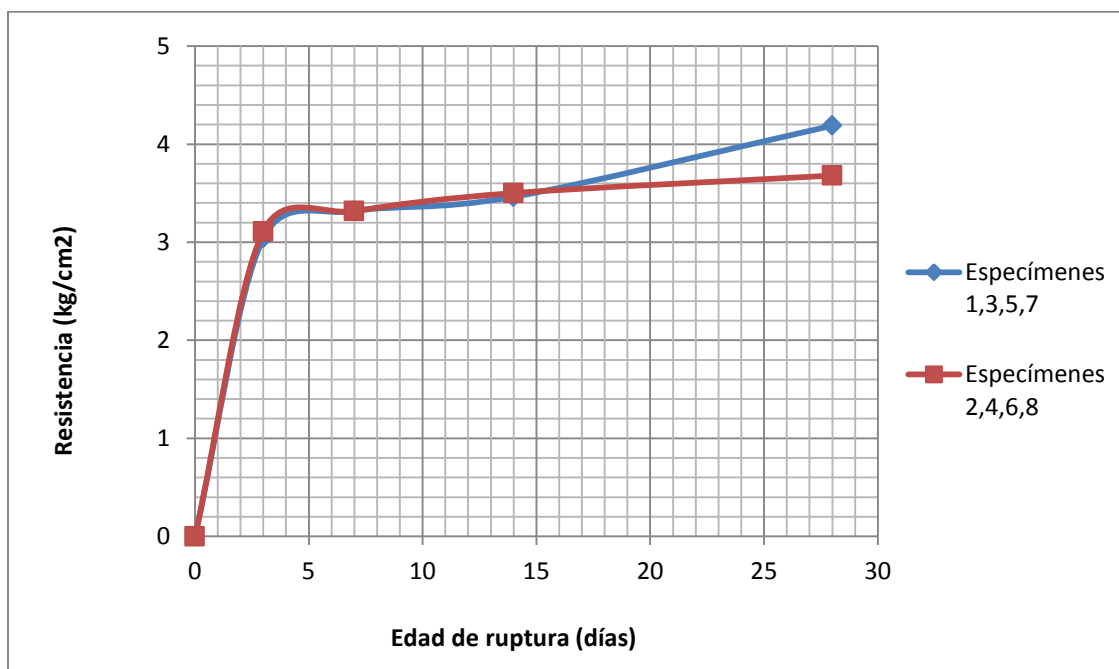
4.2.2.1.- Proporcionamiento del 10% de cemento, para condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

N° de muestra	Propor. de cemento	Propor. Maxe -h	Propor. de tepetate	Propor. de agua	Revenimiento	Fecha de colado	Fecha de ruptura	Edad	F'c	Carga	Resistencia	% de Resistencia
-	(kg)	(gr)	(kg)	(lts)	(cm)	-	-	(días)	(kg/cm2) (MPa)	(kgf)	(kg/cm2) (MPa)	(%)
1	1.46	72.3	14.61	6.8	12.5	18/11/2015	21/11/2105	3	25 (2.45)	239	3.04 (0.30)	12.16%
2	1.46	72.3	14.61	6.8	12.5	18/11/2015	21/11/2105	3	25 (2.45)	244	3.11 (0.30)	12.44%
3	1.46	72.3	14.61	6.8	12.5	18/11/2015	25/11/2015	7	25 (2.45)	261	3.32 (0.33)	13.27%
4	1.46	72.3	14.61	6.8	12.5	18/11/2015	25/11/2015	7	25 (2.45)	261	3.32 (0.33)	13.27%
5	1.46	72.3	14.61	6.8	12.5	18/11/2015	02/12/2015	14	25 (2.45)	272	3.46 (0.34)	13.85%
6	1.46	72.3	14.61	6.8	12.5	18/11/2015	02/12/2015	14	25 (2.45)	275	3.50 (0.34)	14.01%
7	1.46	72.3	14.61	6.8	12.5	18/11/2015	18/12/2015	28	25 (2.45)	329	4.19 (0.41)	16.76%
8	1.46	72.3	14.61	6.8	12.5	18/11/2015	18/12/2015	28	25 (2.45)	289	3.68 (0.36)	14.72%

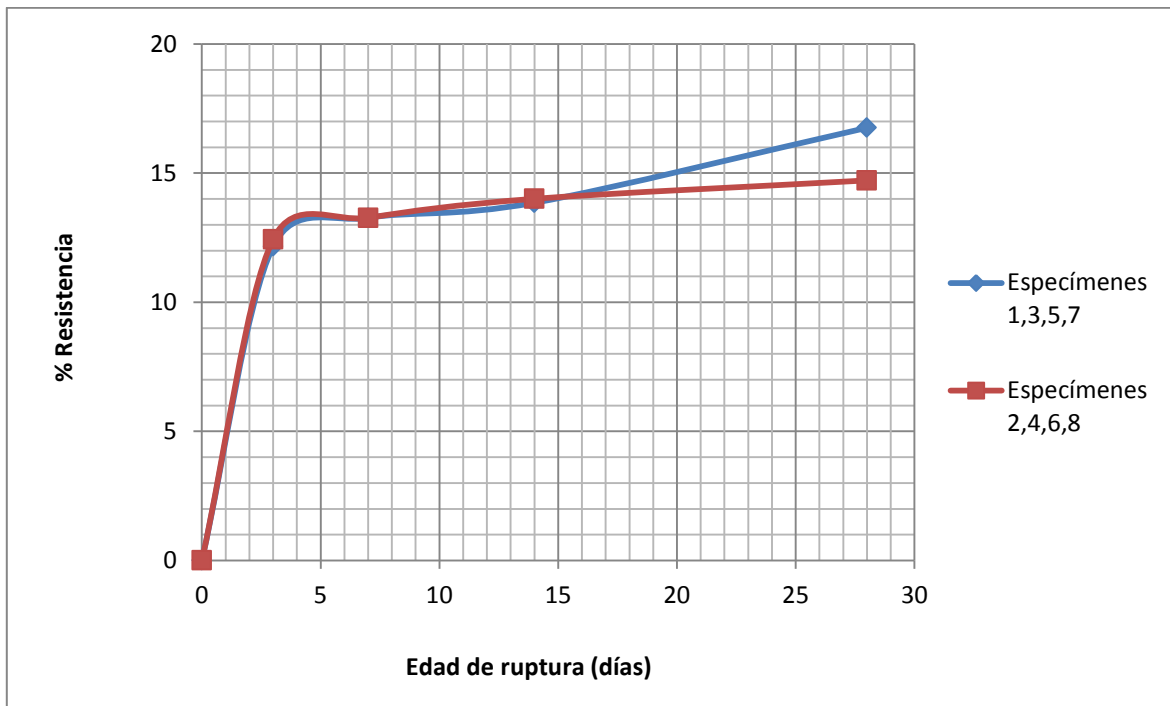
TABLA 68: Muestra las cargas soportadas, las resistencias y porcentajes de resistencias alcanzadas por los especímenes con 10% de cemento y 5% de aditivo Maxe-h, en condiciones no saturadas.



GRÁFICA 63: Carga – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 10% de cemento en condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.



GRÁFICA 64: Resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 10% de cemento en condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.



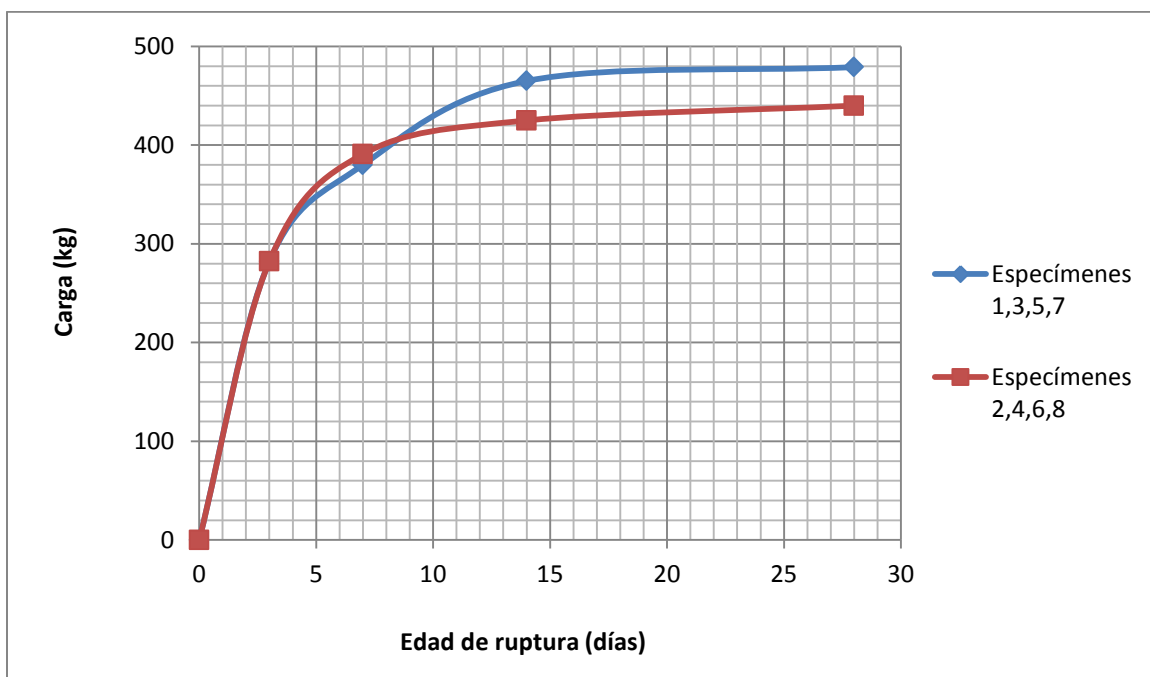
GRÁFICA 65: Por ciento de resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 10% de cemento en condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que, el proporcionamiento con 10% de cemento y 5% de aditivo Maxe-h, en condiciones no saturadas, no cumple con las especificaciones de ésta tesis, es decir, no alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm^2 y el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Por lo tanto, no se puede utilizar en el diseño de la mezcla para suelo-cemento fluido.

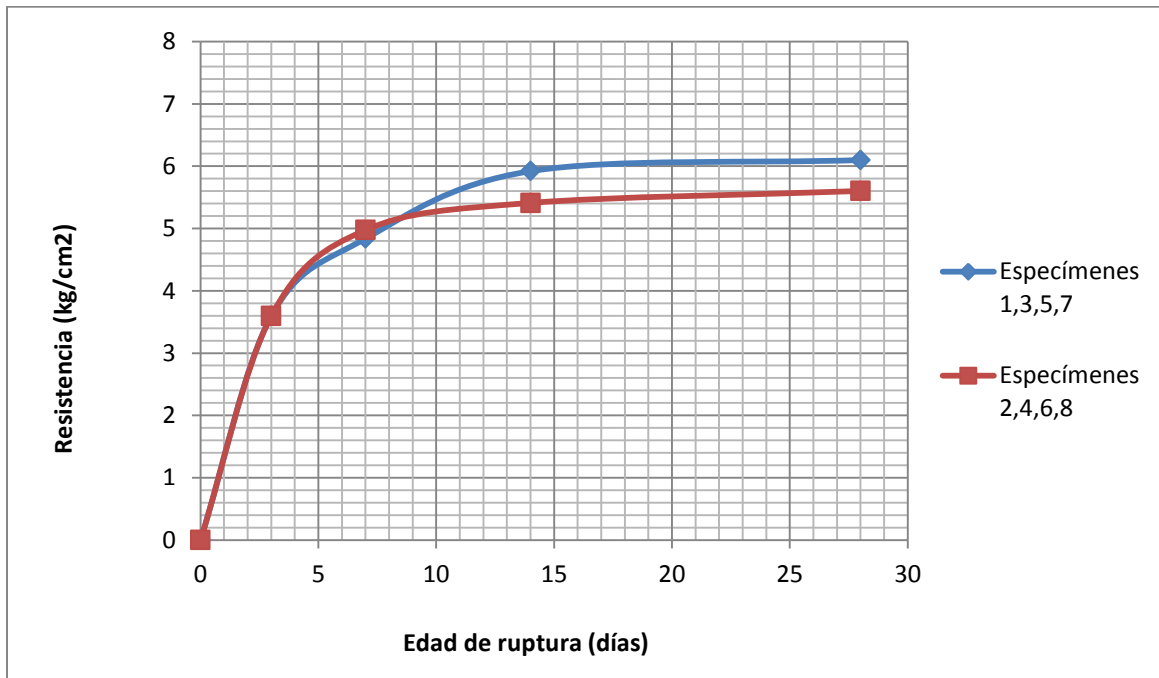
4.4.2.2.- Proporcionamiento del 15% de cemento, para condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

N° de muestra	Propor. de cemento	Propor. Maxe-h	Propor. de tepetate	Propor. de agua	Revenimiento	Fecha de colado	Fecha de ruptura	Edad	F'c	Carga	Resistencia	% de Resistencia
-	(kg)	(gr)	(kg)	(lts)	(cm)	-	-	(días)	(kg/cm ²) (MPa)	(kgf)	(kg/cm ²) (MPa)	(%)
1	2.19	72.3	14.61	7.3	14	18/11/2015	21/11/2105	3	25 (2.45)	282	3.59 (0.35)	14.38%
2	2.19	72.3	14.61	7.3	14	18/11/2015	21/11/2105	3	25 (2.45)	282	3.59 (0.35)	14.38%
3	2.19	72.3	14.61	7.3	14	18/11/2015	25/11/2015	7	25 (2.45)	380	4.84 (0.47)	19.35%
4	2.19	72.3	14.61	7.3	14	18/11/2015	25/11/2015	7	25 (2.45)	391	4.98 (0.49)	19.90%
5	2.19	72.3	14.61	7.3	14	18/11/2015	02/12/2015	14	25 (2.45)	465	5.92 (0.58)	23.68%
6	2.19	72.3	14.61	7.3	14	18/11/2015	02/12/2015	14	25 (2.45)	425	5.41 (0.53)	21.65%
7	2.19	72.3	14.61	7.3	14	18/11/2015	18/12/2015	28	25 (2.45)	479	6.10 (0.60)	24.40%
8	2.19	72.3	14.61	7.3	14	18/11/2015	18/12/2015	28	25 (2.45)	440	5.22 (0.51)	22.41%

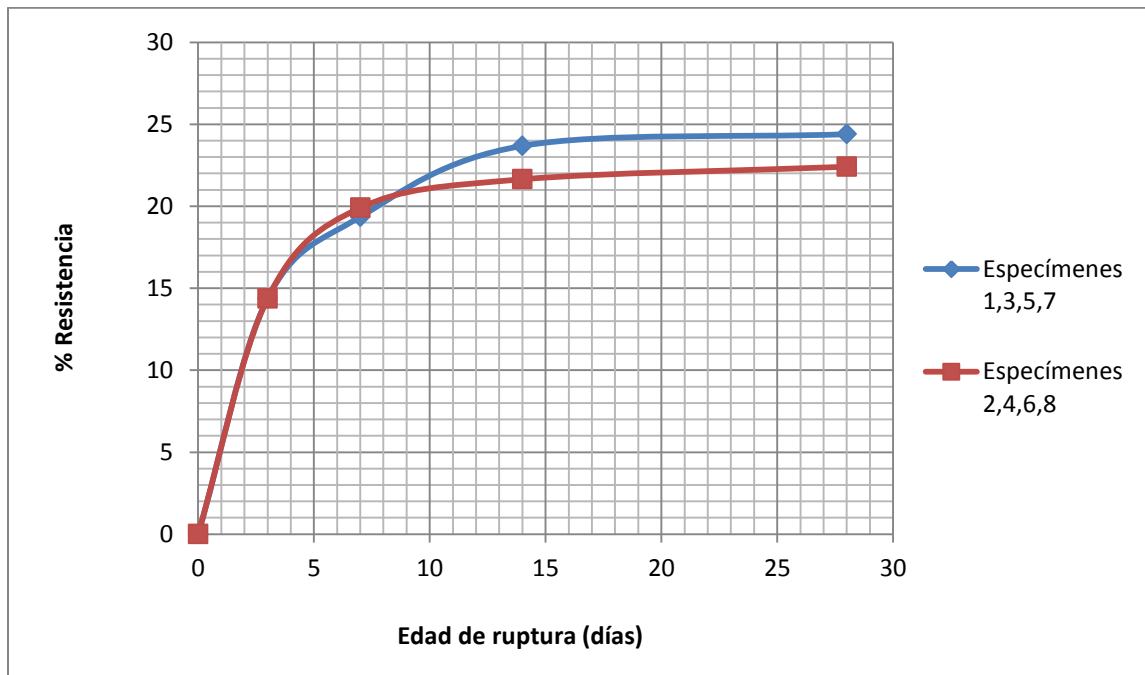
TABLA 69: Muestra las cargas soportadas, las resistencias y porcentajes de resistencias alcanzadas por los especímenes con 15% de cemento y 5% de aditivo Maxe-h, en condiciones no saturadas.



GRÁFICA 66: Carga – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 15% de cemento en condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.



GRÁFICA 67: Resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 15% de cemento en condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.



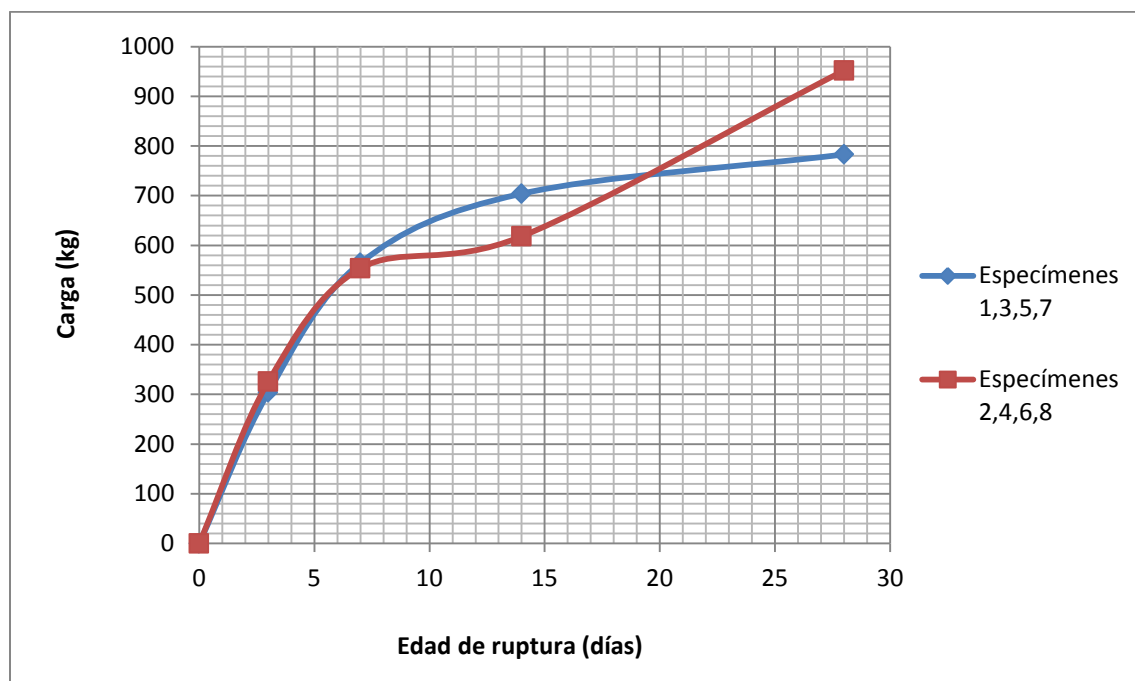
GRÁFICA 68: Por ciento de resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 15% de cemento en condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que, el proporcionamiento con 15% de cemento y 5% de aditivo Maxe-h, en condiciones no saturadas, no cumple con las especificaciones de ésta tesis, es decir, no alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm² y el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Por lo tanto, no se puede utilizar en el diseño de la mezcla para suelo-cemento fluido.

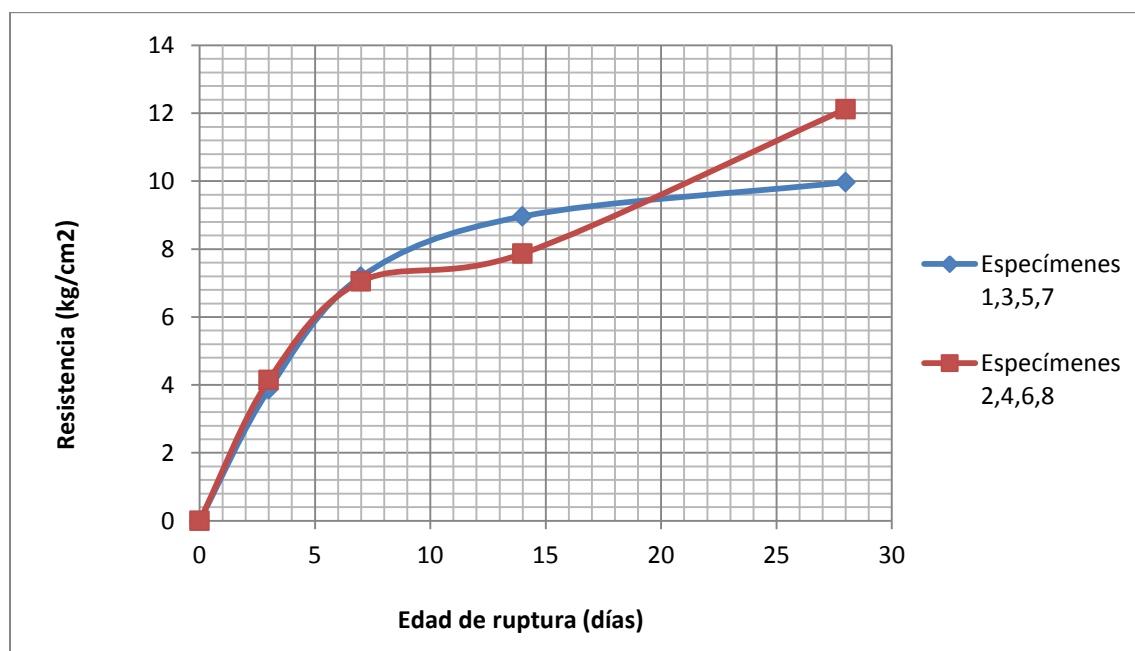
4.2.2.3.- Proporcionamiento del 20% de cemento, para condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

N° de muestra	Propor. de cemento	Propor. Maxe -h	Propor. de tepetate	Propor. de agua	Revenimiento	Fecha de colado	Fecha de ruptura	Edad	F'c	Carga	Resistencia	% de Resistencia
-	(kg)	(gr)	(kg)	(lts)	(cm)	-	-	(días)	(kg/cm2) (MPa)	(kgf)	(kg/cm2) (MPa)	(%)
1	2.92	72.3	14.61	6.6	9	18/11/2015	21/11/2105	3	25 (2.45)	304	3.87 (0.38)	15.48%
2	2.92	72.3	14.61	6.6	9	18/11/2015	21/11/2105	3	25 (2.45)	326	4.15 (0.41)	16.59%
3	2.92	72.3	14.61	6.6	9	18/11/2015	25/11/2015	7	25 (2.45)	565	7.19 (0.70)	28.75%
4	2.92	72.3	14.61	6.6	9	18/11/2015	25/11/2015	7	25 (2.45)	554	7.05 (0.69)	28.20%
5	2.92	72.3	14.61	6.6	9	18/11/2015	02/12/2015	14	25 (2.45)	704	8.96 (0.88)	35.85%
6	2.92	72.3	14.61	6.6	9	18/11/2015	02/12/2015	14	25 (2.45)	618	7.87 (0.77)	31.47%
7	2.92	72.3	14.61	6.6	9	18/11/2015	18/12/2015	28	25 (2.45)	783	9.97 (0.98)	39.88%
8	2.92	72.3	14.61	6.6	9	18/11/2015	18/12/2015	28	25 (2.45)	952	14.64 (1.44)	48.48%

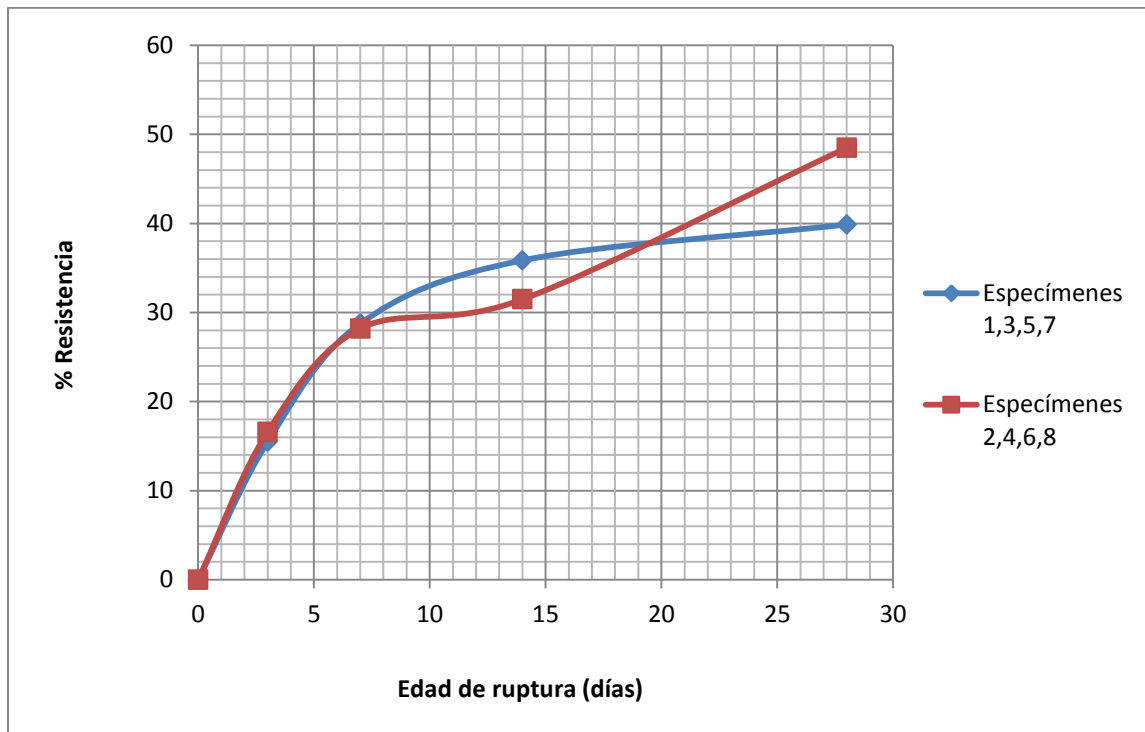
TABLA 70: Muestra las cargas soportadas, las resistencias y porcentajes de resistencias alcanzadas por los especímenes con 20% de cemento y 5% de aditivo Maxe-h, en condiciones no saturadas.



GRÁFICA 69: Carga – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 20% de cemento en condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.



GRÁFICA 70: Resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 20% de cemento en condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.



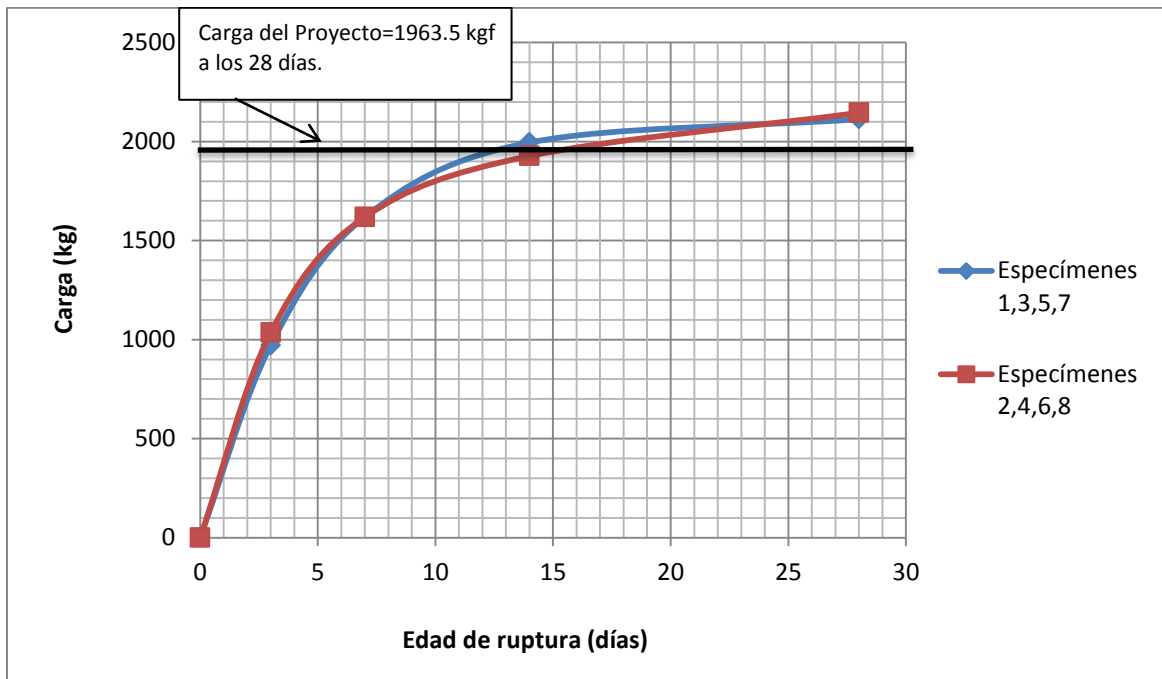
GRÁFICA 71: Por ciento de resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 20% de cemento en condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que, el proporcionamiento con 20% de cemento y 5% de aditivo Maxe-h, en condiciones no saturadas, no cumple con las especificaciones de ésta tesis, es decir, no alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm^2 y el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Por lo tanto, no se puede utilizar en el diseño de la mezcla para suelo-cemento fluido.

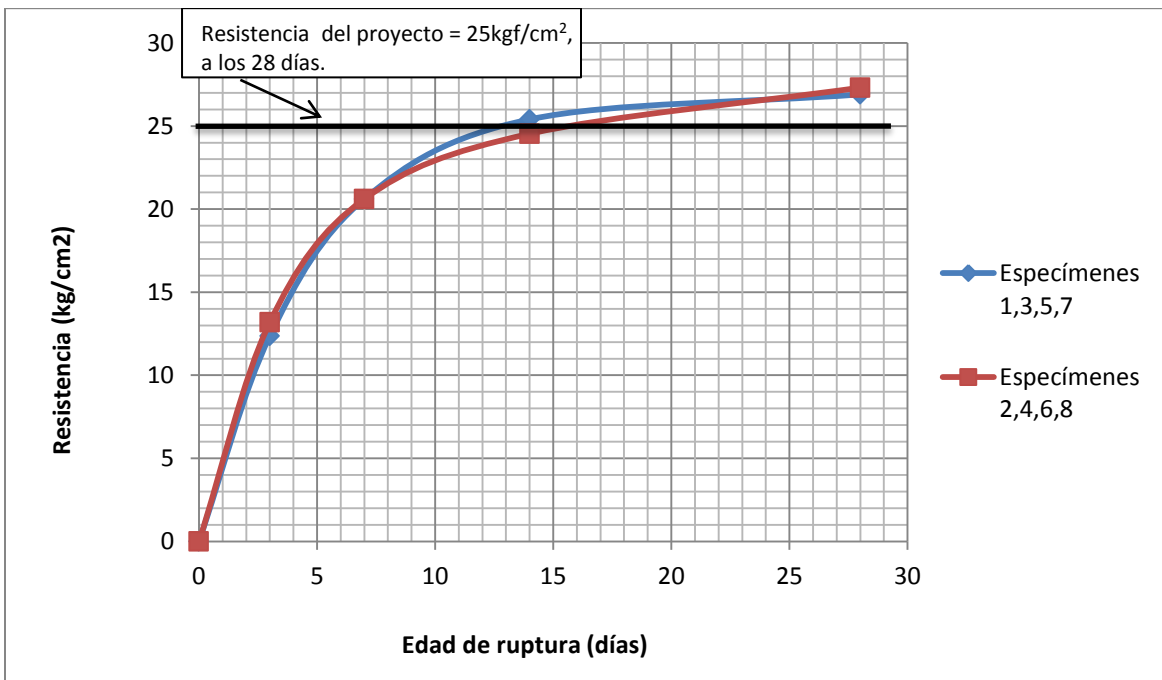
4.2.2.4.- Proporcionamiento del 30% de cemento, para condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

N° de muestra	Propor. de cemento	Propor. Maxe -h	Propor. de tepetate	Propor. de agua	Revenimiento	Fecha de colado	Fecha de ruptura	Edad	F'c	Carga	Resistencia	% de Resistencia
-	(kg)	(gr)	(kg)	(lts)	(cm)	-	-	(días)	(kg/cm ²) (MPa)	(kgf)	(kg/cm ²) (MPa)	(%)
1	4.38	72.3	14.61	6.9	11	20/11/2015	23/11/2015	3	25 (2.45)	971	12.36 (1.21)	49.46%
2	4.38	72.3	14.61	6.9	11	20/11/2015	23/11/2015	3	25 (2.45)	1036	13.19 (1.29)	52.75%
3	4.38	72.3	14.61	6.9	11	20/11/2015	27/11/2015	7	25 (2.45)	1619	20.61 (2.02)	82.43%
4	4.38	72.3	14.61	6.9	11	20/11/2015	27/11/2015	7	25 (2.45)	1619	20.61 (2.02)	82.43%
5	4.38	72.3	14.61	6.9	11	20/11/2015	04/11/2015	14	25 (2.45)	1995	25.40 (2.49)	101.60%
6	4.38	72.3	14.61	6.9	11	20/11/2015	04/11/2015	14	25 (2.45)	1927	24.54 (2.41)	98.14%
7	4.38	72.3	14.61	6.9	11	20/11/2015	18/12/2015	28	25 (2.45)	2113	26.90 (2.64)	107.61%
8	4.38	72.3	14.61	6.9	11	20/11/2015	18/12/2015	28	25 (2.45)	2145	27.31 (2.68)	109.24%

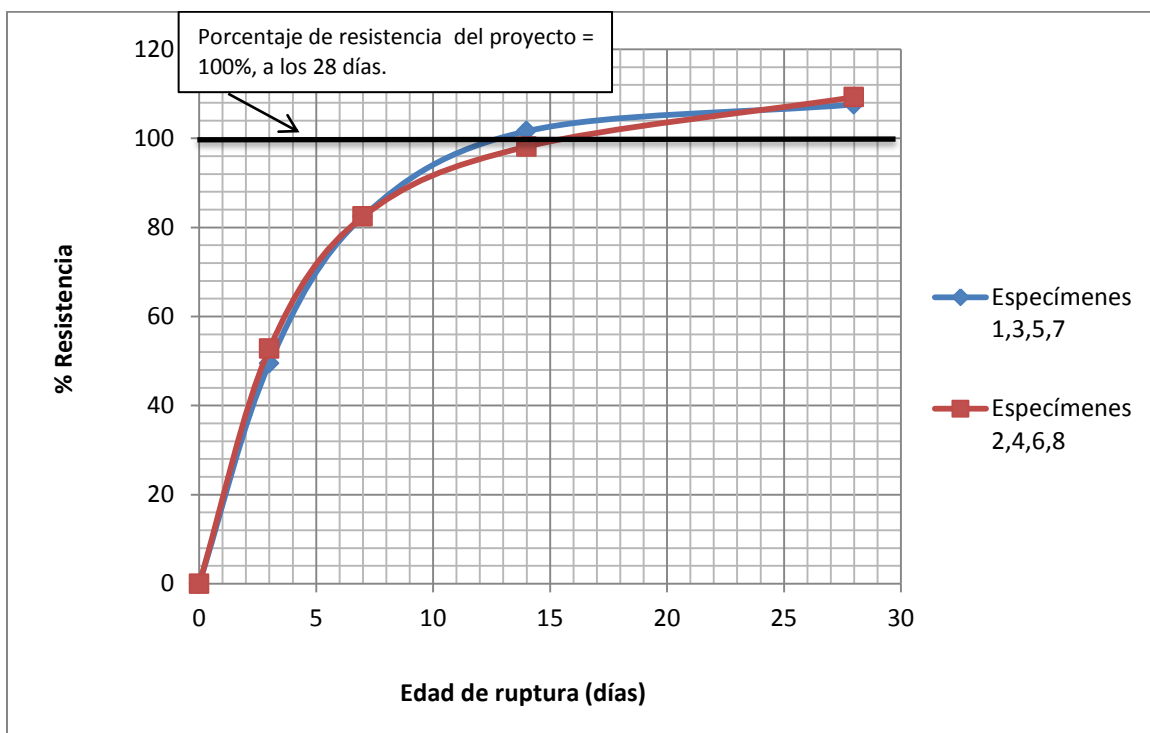
TABLA 71: Muestra las cargas soportadas, las resistencias y porcentajes de resistencias alcanzadas por los especímenes con 30% de cemento y 5% de aditivo Maxe-h, en condiciones no saturadas.



GRÁFICA 72: Carga – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 30% de cemento en condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.



GRÁFICA 73: Resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 30% de cemento en condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.



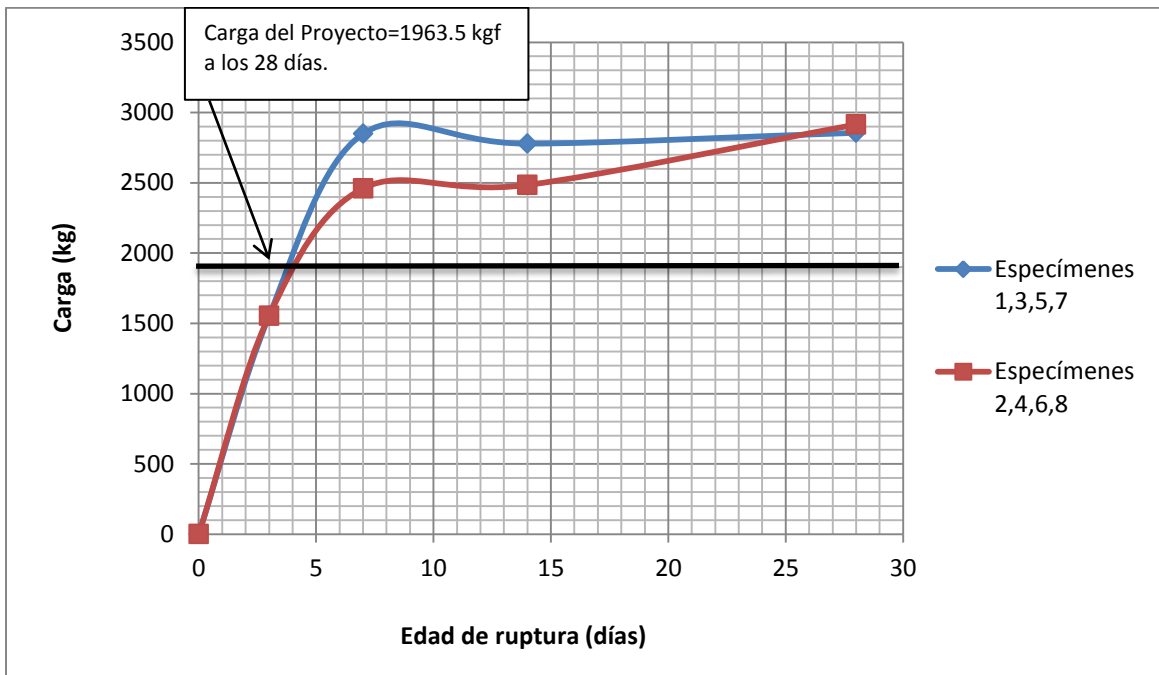
GRÁFICA 74: Por ciento de resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 30% de cemento en condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que, el proporcionamiento con 30% de cemento y 5% de aditivo Maxe-h, en condiciones no saturadas, cumple con las especificaciones de ésta tesis, es decir, alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm^2 y el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Por lo tanto, se puede utilizar en el diseño de la mezcla para suelo-cemento fluido.

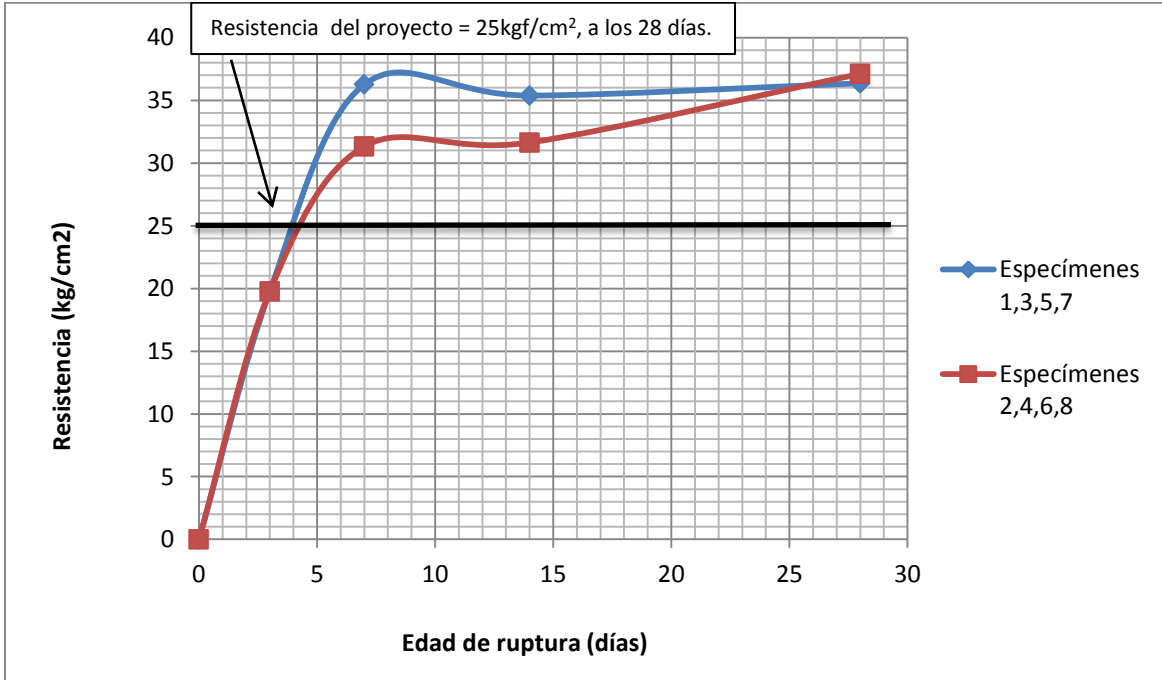
4.2.2.5.- Proporcionamiento del 40% de cemento, para condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

N° de muestra	Propor. de cemento	Propor. de Maxe -h	Propor. de tepetate	Propor. de agua	Revenimiento	Fecha de colado	Fecha de ruptura	Edad	F'c	Carga	Resistencia	% de Resistencia
-	(kg)	(gr)	(kg)	(lts)	(cm)	-	-	(días)	(kg/cm2) (MPa)	(kgf)	(kg/cm2) (MPa)	(%)
1	5.84	72.3	14.61	7.2	13.0	20/11/2015	23/11/2015	3	25 (2.45)	1554	19.78 (1.94)	79.13%
2	5.84	72.3	14.61	7.2	13.0	20/11/2015	23/11/2015	3	25 (2.45)	1554	19.78 (1.94)	79.13%
3	5.84	72.3	14.61	7.2	13.0	20/11/2015	27/11/2015	7	25 (2.45)	2849	36.27 (3.56)	145.08%
4	5.84	72.3	14.61	7.2	13.0	20/11/2015	27/11/2015	7	25 (2.45)	2460	31.32 (3.07)	125.29%
5	5.84	72.3	14.61	7.2	13.0	20/11/2015	04/11/2015	14	25 (2.45)	2779	35.38 (3.47)	141.53%
6	5.84	72.3	14.61	7.2	13.0	20/11/2015	04/11/2015	14	25 (2.45)	2485	31.64 (3.10)	126.56%
7	5.84	72.3	14.61	7.2	13.0	20/11/2015	18/12/2015	28	25 (2.45)	2856	36.64 (3.71)	145.45%
8	5.84	72.3	14.61	7.2	13.0	20/11/2015	18/12/2015	28	25 (2.45)	2915	37.11 (3.79)	148.46%

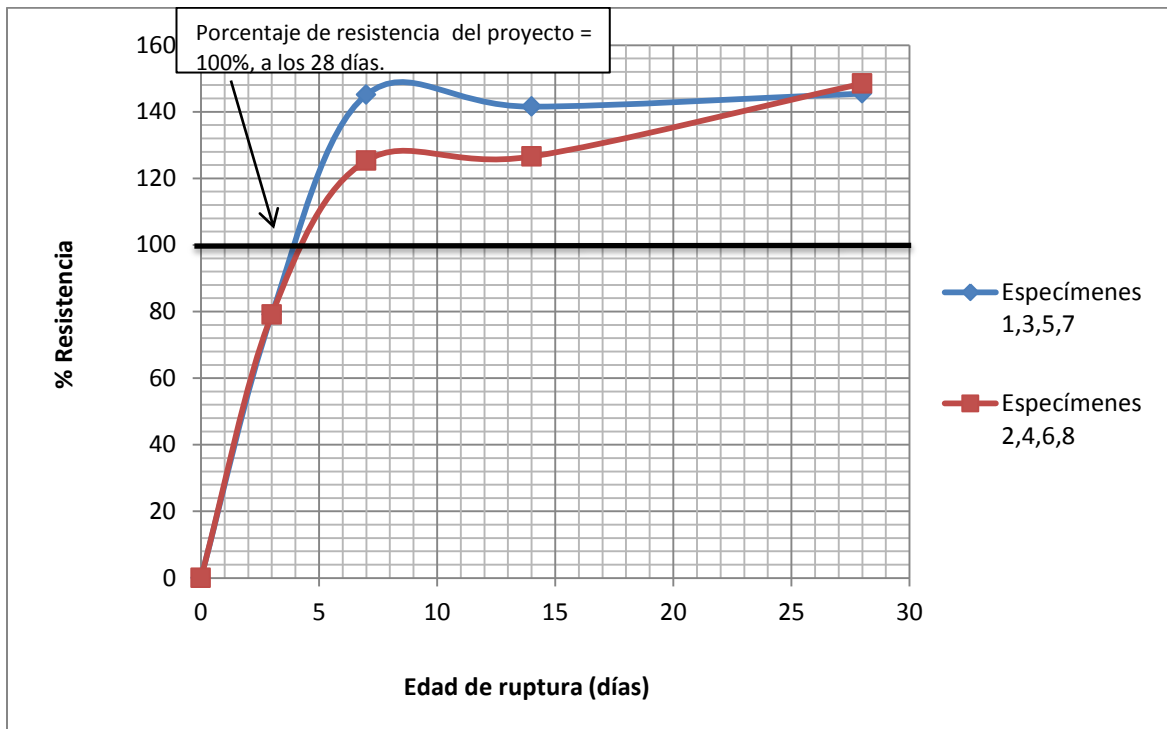
TABLA 72: Muestra las cargas soportadas, las resistencias y porcentajes de resistencias alcanzadas por los especímenes con 40% de cemento y 5% de aditivo Maxe-h, en condiciones no saturadas.



GRÁFICA 75: Carga – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 40% de cemento en condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.



GRÁFICA 76: Resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 40% de cemento en condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.



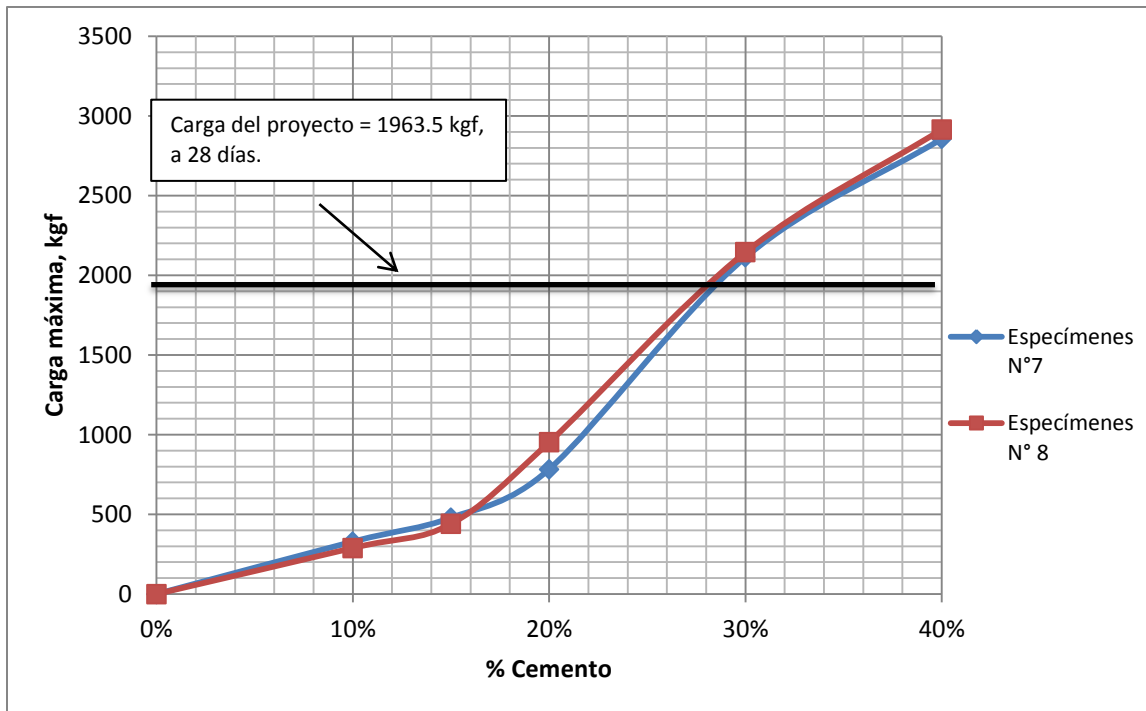
GRÁFICA 77: Por ciento de resistencia – Edad de ruptura en días, de los especímenes con 40% de cemento en condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que, el proporcionamiento con 40% de cemento y 5% de aditivo Maxe-h, en condiciones no saturadas, cumple con las especificaciones de ésta tesis, es decir, alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm² y el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Por lo tanto, se puede utilizar en el diseño de la mezcla para suelo-cemento fluido.

En la tabla siguiente se muestran las cargas máximas que soportaron los especímenes a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, se muestran los resultados de los especímenes 7 (nones) y 8 (pares) para cada porcentaje de cemento (10%, 15%, 20%, 30% y 40%), así como su gráfica correspondiente.

% Cemento	Carga máxima (kgf)	
	Nones	Pares
0%	0	0
10%	329	289
15%	479	440
20%	783	952
30%	2113	2145
40%	2856	2915

TABLA 73: Cargas máximas soportadas por los especímenes con diferentes porcentajes de cemento y 5% de aditivo, en condiciones no saturadas, a los 28 días.

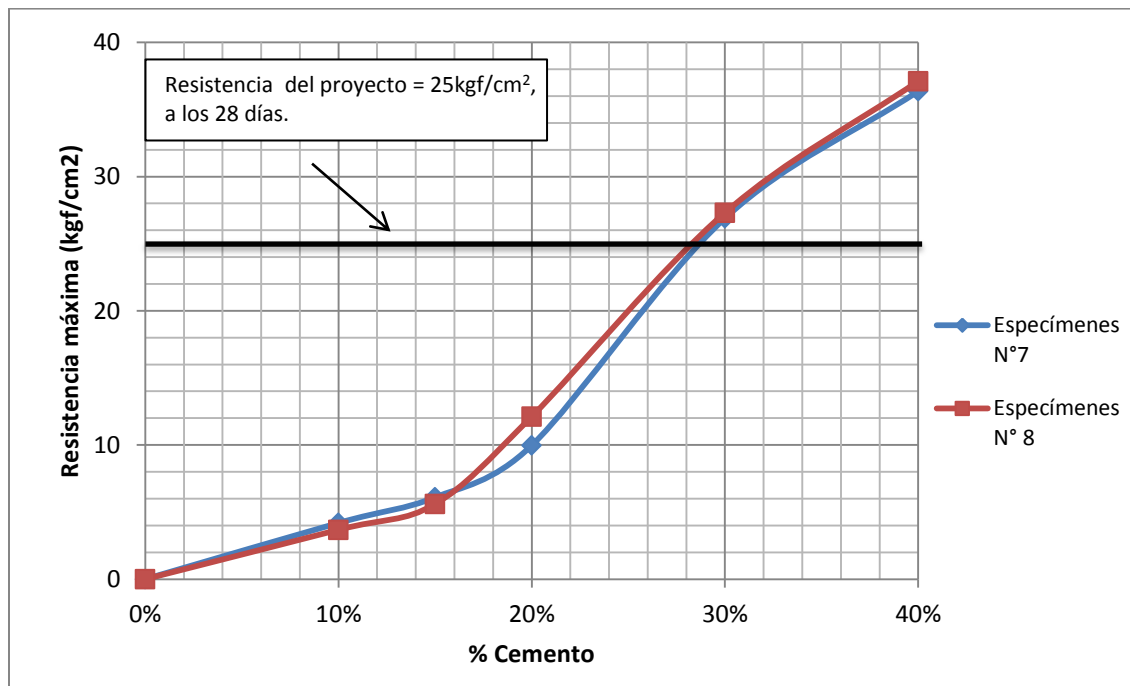


GRÁFICA 78: Carga máxima – Porcentaje de cemento, de los cilindros con 10%, 15%, 20%, 30% y 40% de cemento, a los 28 días. En condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

En la tabla siguiente se muestran las resistencias máximas que alcanzaron los especímenes a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, se muestran los resultados de los especímenes 7 (nones) y 8 (pares) para cada porcentaje de cemento (10%, 15%, 20%, 30% y 40%), así como su gráfica correspondiente.

% Cemento	Resistencia máxima (kgf/cm ²)	
	Nones	Pares
0%	0	0
10%	4.19	3.68
15%	6.10	5.60
20%	9.97	12.12
30%	26.90	27.31
40%	36.36	37.11

TABLA 74: Resistencias máximas alcanzadas por los especímenes con diferentes porcentajes de cemento y 5% de aditivo, en condiciones no saturadas, a los 28 días.

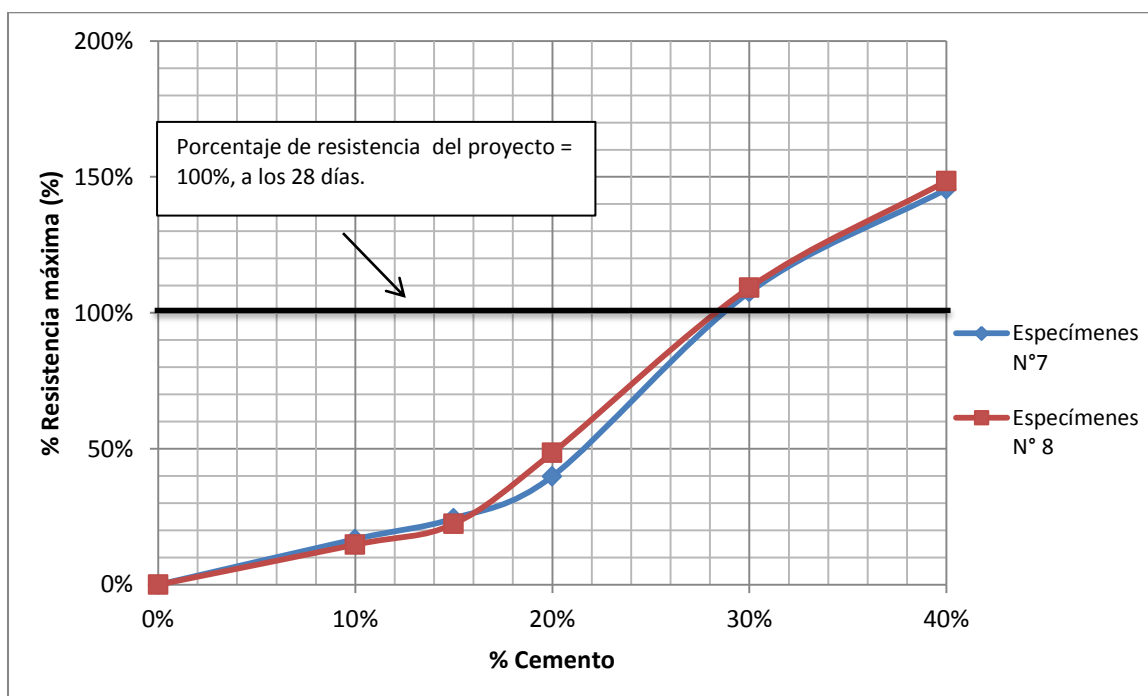


GRÁFICA 79: Resistencia máxima– Porcentaje de cemento, de los cilindros con 10%, 15%, 20%, 30% y 40% de cemento, a los 28 días. En condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

En la tabla siguiente se muestran los porcentajes de resistencias máximas que alcanzaron los especímenes a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, se muestran los resultados de los especímenes 7 (nones) y 8 (pares) para cada porcentaje de cemento (10%, 15%, 20%, 30% y 40%), así como su gráfica correspondiente.

% Cemento	% Resistencia máxima	
	Nones	Pares
0%	0.00%	0.00%
10%	16.76%	14.72%
15%	24.40%	22.41%
20%	39.88%	48.48%
30%	107.61%	109.24%
40%	145.45%	148.46%

TABLA 75: % de resistencias máximas alcanzadas por los especímenes con diferentes porcentajes de cemento y 5% de aditivo, en condiciones no saturadas, a los 28 días.



GRÁFICA 80: Porcentaje de resistencia máxima– Porcentaje de cemento, de los cilindros con 10%, 15%, 20%, 30% y 40% de cemento, a los 28 días. En condiciones no saturadas y 5% de aditivo Maxe-h.

4.2.3.- Observaciones de los especímenes en condiciones no saturadas con 1% y 5% de aditivo Maxe-h.

De acuerdo con la tabla de los pesos volumétricos de los especímenes en condiciones no saturadas, se observa que al usar 5% de aditivo en las mezclas reduce el peso volumétrico fresco y el peso volumétrico a edad de prueba, en comparación con las mezclas donde se utiliza el 1% de aditivo. En las mezclas para condiciones no saturadas.

De acuerdo con las gráficas anteriores (capítulos 4.2.1 y 4.2.2), correspondientes a los especímenes en condiciones no saturadas con los mismos porcentajes de cemento (10%, 15%, 20%, 30% y 40%) y diferentes porcentajes de aditivo Maxe-h (1% y 5%). Se observa que el incremento del aditivo en más de 1% reduce la resistencia de los especímenes, por lo que se debe de usar la cantidad propuesta por el distribuidor, que es la de 1% de aditivo Maxe-h, o bien hacer pruebas con diferentes porcentajes de aditivo para encontrar un mejor resultado.

Para especímenes en condiciones no saturadas con 1% y 5% de aditivo Maxe-h, basta con un 30% de cemento para cumplir con el objetivo de la tesis, es decir, que se alcanzó: la carga de 1963.5kg, la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm² y el 100% de la resistencia, a los 28 días de edad. Aunque la resistencia a los 28 días de edad de los especímenes con 5% de aditivo disminuyó en comparación con los que contienen 1% de aditivo Maxe-h.

En base a lo anterior se presenta un análisis del costo por 1m² en muro de 20cm de espesor a base de suelo-cemento fluido con las características del proporcionamiento con 30% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h (es el más apropiado) para una $f'c=25\text{kg/cm}^2$, en comparación con 1m² de muro elaborado con tabique de barro rojo recocido y mortero tipo I. El análisis es enfocado a muros de carga de casa-habitación, y se muestra en la tabla siguiente (tabla 76). Además se presenta el análisis de costo para 1m³ de suelo-cemento fluido con

$f'c=25\text{kg/cm}^2$, en comparación con 1m^3 de concreto con $f'c=150\text{kg/cm}^2$, enfocado a muros de contención, con el mismo proporcionamiento (tabla 77).

El siguiente análisis no toma en cuenta el costo de la mano de obra, por lo que el costo del suelo-cemento fluido, puede disminuir más con su puesta en obra, además de que se logran mayores avances en tiempos menores, por lo tanto, también se tiene ahorro en tiempo.

4.2.4.- Análisis del costo de 1m^2 de muro de suelo-cemento fluido con $f'c=25\text{kg/cm}^2$ y 1m^2 de muro elaborado con tabique de barro rojo recocido y mortero tipo I, para condiciones no saturadas.

1m^2 en muro de suelo-cemento fluido con $f'c=25\text{ kg/cm}^2$	Cantidad	Costo (\$)
Bultos de cemento	1.21	145.60
Tepetate (m3)	0.20	25.71
Agua (lts)	92.40	4.16
Aditivo Maxe-h (kg)	0.20	12.00
	Total	187.48
1m^2 de muro de tabique rojo recocido, mortero tipo 1	Cantidad	Costo (\$)
Tabique (pza)	56.0	112.00
Botes de agua para humedecer tabique (19 lts)	2.0	1.71
Botes de mortero	1.5	40.00
	Total	153.71

TABLA 76: Muestra el costo por m^2 en muro, elaborado con suelo-cemento fluido o tabique de barro rojo recocido.

De la tabla anterior tenemos que, el costo en materiales para 1m^2 en muro de suelo-cemento fluido es aproximadamente 18% más caro, comparado con el costo de materiales para 1m^2 en muro elaborado con tabique de barro rojo recocido con mortero tipo I. Sin embargo, el costo de la mano de obra, así como los tiempos de ejecución, son sin duda alguna de mayor magnitud en la construcción de muros con tabique de barro rojo recocido, por lo tanto, dependerá de los constructores hacer un análisis costo-beneficio sobre este nuevo material (suelo-cemento fluido), y decidir si es apropiado o no para su utilización en muros de carga de casa-habitación.

4.2.5.- Análisis del costo de 1m^3 de suelo-cemento fluido con $f'c=25\text{kg/cm}^2$ y 1m^3 de concreto con $f'c=150\text{kg/cm}^2$, para condiciones no saturadas.

1m^3 de suelo-cemento fluido con $f'c=25\text{ kg/cm}^2$	Cantidad	Costo (\$)
Bultos de cemento	6.07	728.02
Tepetate (m3)	1.0	128.57
Agua (lts)	462.1	20.79
Aditivo Maxe-h (kg)	1.0	60.00
	Suma	937.38
1m^3 de concreto con $f'c=150\text{ kg/cm}^2$	Cantidad	Costo (\$)
Bultos de cemento	6.6	792.0
Botes de arena (19 lts)	28.3	103.8
Botes de grava (19 lts)	34.4	125.9
Botes de agua (19 lts)	13.3	11.4
	Suma	1033.07

TABLA 77: Muestra el costo del suelo-cemento fluido y el concreto, por m^3 , para condiciones no saturadas.

De la tabla anterior tenemos que, usando un 30% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h para 1m^3 de suelo-cemento fluido se tiene un ahorro de aproximadamente el 9%, en comparación con 1m^3 de concreto. De igual manera que en los análisis anteriores, debe de considerarse el costo de la mano de obra y los tiempos de ejecución, para determinar las ventajas que tiene el emplear suelo-cemento fluido en muro de contención, en condiciones no saturadas.

NOTA: Los precios de los materiales para los análisis de los costos anteriores, tanto para condiciones saturadas y no saturadas, son precios de materiales puestos a pie de obra e incluyen IVA, además corresponden a la fecha de elaboración de ésta tesis.

Cabe mencionar que los análisis hechos anteriormente solo son comparaciones, para tener una representación del costo del suelo-cemento fluido frente a otros materiales. Por lo tanto, se debe de hacer un análisis costo-beneficio más a fondo para obtener las ventajas y desventajas de usar uno u otro material, lo cual dependerá del ingeniero constructor. Sin embargo, se pretende demostrar que el costo del suelo-cemento fluido es más económico comparado con otros materiales, utilizados para el mismo fin.

4.3.- TABLA COMPARATIVA PROPORCIONADA POR MAXE-h TERRACRETO.

A continuación se presenta una tabla comparativa realizada por el distribuidor Maxe-h Terracreto, del costo por m² de un sistema tradicional (pavimento flexible) y el costo por m² de suelo-cemento fluido, ambos aplicados en estacionamientos.

TABLA COMPARATIVA DE COSTOS PARA ESTACIONAMIENTO							
SISTEMA TRADICIONAL				MAXEh			
1.- PARA SOLUCIÓN DE DISEÑOS EN RELLENOS:				1.- PARA SOLUCIÓN DE DISEÑOS EN RELLENOS:			
DESCRIPCIÓN	ESPESOR	UNIDAD	COSTO	DESCRIPCIÓN	ESPESOR	UNIDAD	COSTO
1.- CAPA DE ASFALTO	5 CM	M2	\$400.00	1.- CAPA DE SUPERFICIE DE RODAMIENTO	5 CM	M2	\$200.00
2.- CAPA BASE	15 CM	M2	\$42.00	2.- CAPA BASE ESTABILIZADA CON MAXEh	15 CM	M2	\$72.00
3.- CAPA SUB-BASE	15 CM	M2	\$39.00	3.- CAPA SUB-RASANTE	15 CM	M2	\$22.50
4.- CAPA SUB-RASANTE	30 CM	M2	\$45.00				
SUB-T= \$526.00				SUB-T= \$294.50			
				2.- PARA SOLUCIÓN DE DISEÑOS EN CORTES:			
DESCRIPCIÓN	ESPESOR	UNIDAD	COSTO	DESCRIPCIÓN	ESPESOR	UNIDAD	COSTO
1.- CAPA DE SUPERFICIE DE RODAMIENTO	5 CM	M2	\$200.00	1.- CAPA DE SUPERFICIE DE RODAMIENTO	5 CM	M2	\$200.00
2.- CAPA BASE ESTABILIZADA CON MAXEh	15 CM	M2	\$72.00	2.- CAPA BASE ESTABILIZADA CON MAXEh	15 CM	M2	\$72.00
				SUB-T= \$272.00			

TABLA 78: Comparación del costo de 1m² de suelo-cemento fluido y 1m² de pavimento flexible, aplicado en estacionamientos.

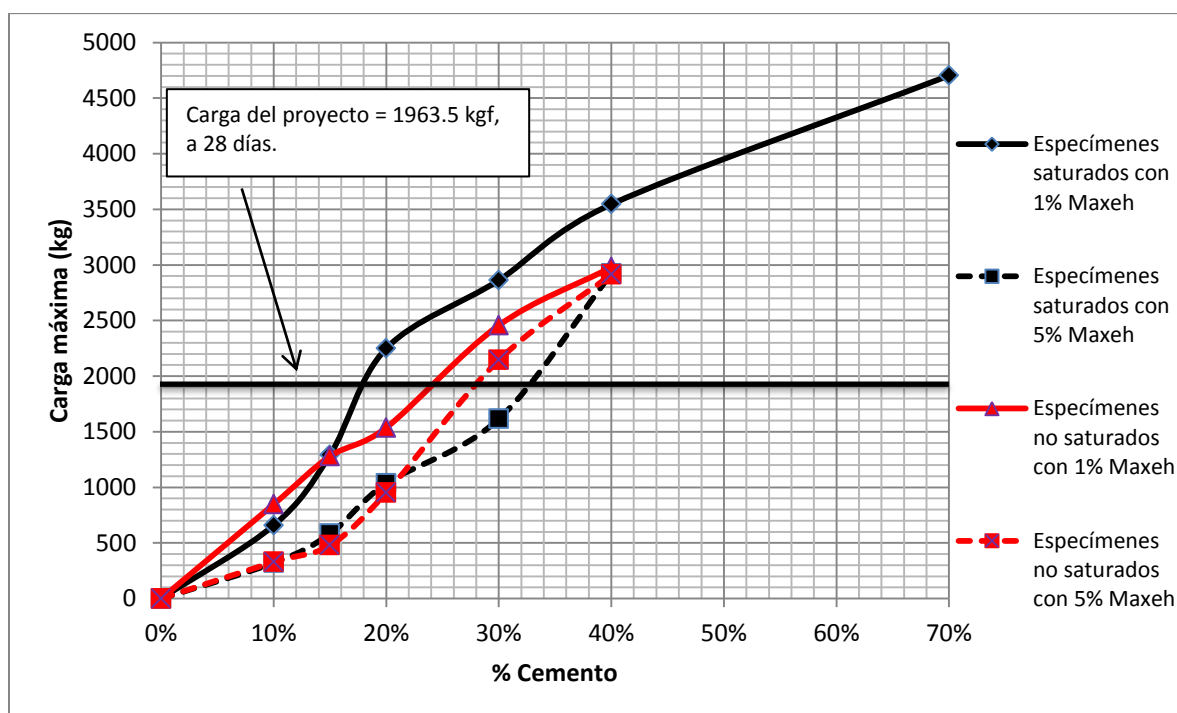
4.4.- RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS ESPECÍMENES SATURADOS Y NO SATURADOS, CON 1% Y 5% DE ADITIVO MAXE-H.

En la tabla siguiente se muestran las cargas máximas que soportaron los especímenes saturados y no saturados a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, usando 1% y 5% de aditivo Maxe-h en ambas condiciones, se muestran los cargas máximas soportadas por los especímenes con cada uno de

los diferentes porcentajes de cemento, es decir, se tomó el valor más elevado en cada proporcionamiento, además se muestra su gráfica correspondiente.

% Cemento	Carga máxima (kgf)			
	Saturados, 1% Maxe-h	Saturados, 5% Maxe-h	No saturados, 1% Maxe-h	No saturados, 5% Maxe-h
0%	0	0	0	0
10%	659	321	848	329
15%	1291	583	1280	479
20%	2250	1036	1537	952
30%	2863	1616	2457	2145
40%	3546	2922	2979	2915
70%	4703	-	-	-

TABLA 79: Cargas máximas soportadas por los especímenes con diferentes porcentajes de cemento, con 1% y 5% de aditivo, en condiciones saturadas y no saturadas, a los 28 días.

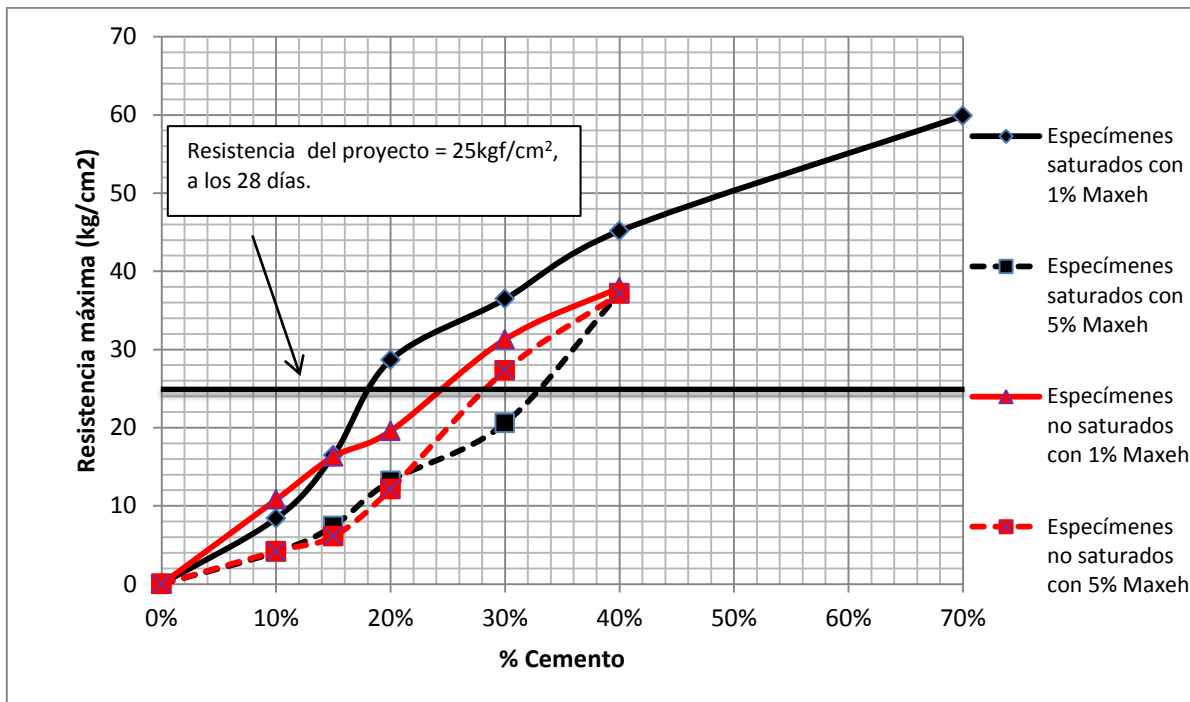


GRÁFICA 81: Carga máxima – Porcentaje de cemento, de los cilindros con 10%, 15%, 20%, 30%, 40% y 70% de cemento, a los 28 días. En condiciones saturadas y no saturadas, con 1% y 5% de aditivo Maxe-h.

En la tabla siguiente se muestran las resistencias máximas alcanzadas por los especímenes saturados y no saturados a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, usando 1% y 5% de aditivo Maxe-h en ambas condiciones, se muestran las resistencias máximas alcanzadas por los especímenes con cada uno de los diferentes porcentajes de cemento, es decir, se tomó el valor más elevado en cada proporcionamiento, además se muestra su gráfica correspondiente.

% Cemento	Resistencia máxima (kgf/cm ²)			
	Saturados, 1% Maxe-h	Saturados, 5% Maxe-h	No saturados, 1% Maxe-h	No saturados, 5% Maxe-h
0%	0	0	0	0
10%	8.39	4.09	10.80	4.19
15%	16.44	7.42	16.30	6.10
20%	28.65	13.19	19.57	12.12
30%	36.45	20.58	31.28	27.31
40%	45.15	37.20	37.93	37.11
70%	59.88	-	-	-

TABLA 80: Resistencias máximas alcanzadas por los especímenes con diferentes porcentajes de cemento, con 1% y 5% de aditivo, en condiciones saturadas y no saturadas, a los 28 días.

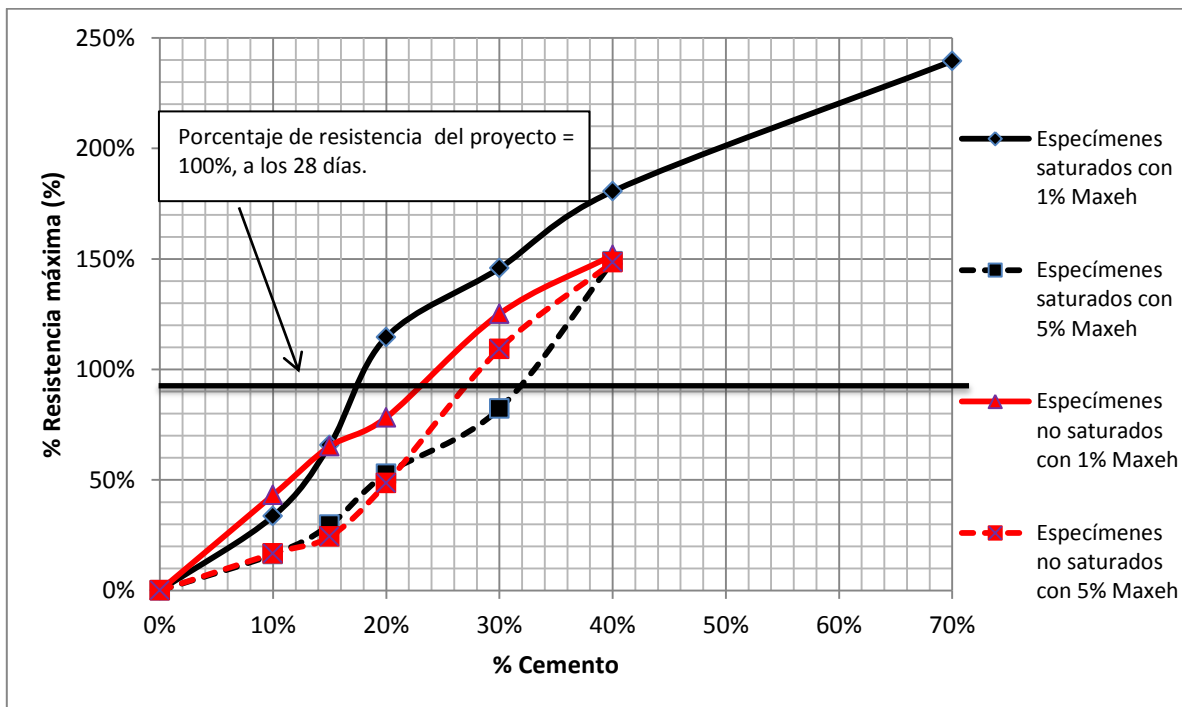


GRÁFICA 82: Resistencia máxima – Porcentaje de cemento, de los cilindros con 10%, 15%, 20%, 30%, 40% y 70% de cemento, a los 28 días. En condiciones saturadas y no saturadas, con 1% y 5% de aditivo Maxe-h.

En la tabla siguiente se muestran los porcentajes de resistencias máximas alcanzados por los especímenes saturados y no saturados a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, usando 1% y 5% de aditivo Maxe-h en ambas condiciones, se muestran los porcentajes de resistencias máximas alcanzados por los especímenes con cada uno de los diferentes porcentajes de cemento, es decir, se tomó el valor más elevado en cada proporcionamiento, además se muestra su gráfica correspondiente.

% Cemento	% Resistencia máxima			
	Saturados, 1% Maxe-h	Saturados, 5% Maxe-h	No saturados, 1% Maxe-h	No saturados, 5% Maxe-h
0%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
10%	33.56%	16.35%	43.19%	16.76%
15%	65.75%	29.67%	65.19%	24.40%
20%	114.59%	52.75%	78.28%	48.48%
30%	145.81%	82.30%	125.13%	109.24%
40%	180.60%	148.82%	151.72%	148.46%
70%	239.52%	-	-	-

TABLA 81: Porcentajes de resistencias máximas alcanzados por los especímenes con diferentes porcentajes de cemento, con 1% y 5% de aditivo, en condiciones saturadas y no saturadas, a los 28 días.



GRÁFICA 83: Por ciento de resistencia máxima – Porcentaje de cemento, de los cilindros con 10%, 15%, 20%, 30%, 40% y 70% de cemento, a los 28 días. En condiciones saturadas y no saturadas, con 1% y 5% de aditivo Maxe-h.

5.- CONCLUSIONES.

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta tesis, el suelo (tepetate) proveniente del banco de material Torreón Nuevo, presenta una plasticidad media según se determinó en los ensayos de laboratorio. Se clasifica como una arena arcillosa (SC), por lo tanto, en base a la investigación realizada, entre menos inerte sea un suelo requiere más cemento para poder ser estabilizado, es decir, su resistencia y propiedades dependen de la plasticidad que presente. En relación a lo anterior, es decir, a los resultados obtenidos para el suelo (tepetate), se decidió usar los porcentajes de 10%, 15%, 20, 30% y 40% (70% únicamente en condiciones saturadas con 1% de aditivo) de cemento, así como 1% y 5% de aditivo Maxe-h, y buscar cual sería el proporcionamiento más adecuado para el diseño de la mezcla de suelo-cemento fluido, tanto en condiciones saturadas, como no saturadas.

Como se observa en las tablas de los proporcionamientos, la cantidad de materiales (cemento, suelo, agua) dependen del PVSS del suelo (tepetate) y de la humedad actual que el suelo presenta a la hora de elaborar la mezcla. Incrementando la cantidad en peso de suelo y cemento, si incrementa la humedad actual del suelo y viceversa, y disminuyendo la cantidad en volumen de agua si la humedad actual del suelo incrementa y viceversa. Sin duda alguna el PVSS con la humedad actual, son factores importantes en la determinación de los proporcionamientos para las mezclas de suelo-cemento fluido.

El factor temperatura tiene suma importancia a la hora de elaborar las mezclas, ya que para lograr un revenimiento igual a diferentes temperaturas, se tienen que usar diferentes cantidades de agua, necesitándose más agua si la temperatura ambiental es mayor y menos agua si ésta disminuye.

El incrementar la cantidad de agua para lograr mayor fluidez, disminuye la resistencia del suelo-cemento fluido, por lo cual, se tiene que lograr el

revenimiento sugerido, que es de 8 a 14 cm. Al menos que el diseño lo especifique se pueden usar revenimientos diferentes a los utilizados en ésta tesis.

El cemento empleado en las mezclas de suelo cemento fluido para ésta tesis fue: Cemento Cemex Tolteca Extra CPC 30R, por lo que, si se desea utilizar otro tipo de cemento, es necesario hacer las pruebas correspondientes de laboratorio para verificar su comportamiento.

En las tablas de pesos volumétricos frescos y pesos volumétricos a edad de prueba, se observa que el incremento de aditivo reduce el peso volumétrico frescos de las mezclas y por ende los pesos volumétricos a edad de prueba también, lo cual es obvio por tratarse de un aditivo inclusor de aire. Por lo tanto, puede ser conveniente el incremento de aditivo en más de 1% para utilizarlo en suelo-cemento fluido aplicado a muros de carga de casa-habitación, por el hecho de obtener muros más ligeros, pero considerando que, su resistencia se ve disminuida y el factor costo incrementado. Para muros de contención no es conveniente la disminución del peso volumétrico de la mezcla, debido a que sus dimensiones tienen una amplia relación con la densidad del suelo-cemento fluido. En conclusión no se recomienda el incremento del aditivo Maxe-h en más de 1% para los fines de ésta tesis, según los resultados obtenidos.

Para el caso de los especímenes elaborados con 10%, 15%, 20%, 30%, 40% y 70% de cemento con 1% de aditivo Maxe-h y de igual forma los especímenes con los mismos porcentajes de cemento (excepto el de 70%) pero con 5% de aditivo Maxe-h, ambos casos en condiciones saturadas. Como se observa en las tablas, gráficas y resultados de estos especímenes con diferentes porcentajes de cemento y 1% de aditivo, basta con un 20% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h para cumplir con el objetivo de la tesis, es decir, lograr una resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm^2 para la elaboración de muros de contención en condiciones saturadas para la región de Morelia, además el costo por m^3 de suelo-cemento fluido es menor en comparación con 1m^3 de concreto, sin considerar el

costo de la mano de obra y los tiempos de ejecución. Mientras que para los especímenes con los diferentes porcentajes de cemento y 5% de aditivo, se logra el objetivo de la tesis con un 40% de cemento, por lo que su costo resulta muy elevado y por lo tanto se descarta para el diseño de suelo-cemento fluido, aplicado a muros de contención en condiciones saturadas. En conclusión se tiene que para el diseño de la mezcla de suelo cemento fluido en condiciones saturadas, aplicada a muros de contención, basta con un 20% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h para cada metro cúbico de suelo (tepetate) y el agua necesaria es aproximadamente de 490 litros (considerando la humedad actual de 9.47% que presenta el suelo a la hora de realizar las mezclas), para obtener un revenimiento entre 8 y 14 cm y lograr la resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm^2 .

Para el caso de los especímenes elaborados con 10%, 15%, 20%, 30% y 40% de cemento con 1% de aditivo Maxe-h y de igual forma los especímenes con los mismos porcentajes de cemento pero con 5% de aditivo Maxe-h, en condiciones no saturadas (secas). Como se observa en las tablas, gráficas y resultados de estos especímenes con diferentes porcentajes de cemento y 1% de aditivo, basta con un 30% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h para cumplir con el objetivo de esta tesis, es decir, lograr una resistencia mínima a la compresión simple de 25kgf/cm^2 para la elaboración de muros de carga en condiciones no saturadas (secas) para casa-habitación en la región de Morelia. Sin embargo, el costo por m^2 de muro de suelo-cemento fluido con espesor de 20 cm es mayor (18% más caro) en comparación con 1m^2 de muro elaborado con tabique de barro rojo recocido y mortero, más no se considera el costo de la mano de obra y los tiempos de ejecución, por lo que, el ingeniero constructor debe hacer un análisis completo de costo-beneficio y decidir si es viable o no la aplicación del suelo-cemento fluido en muros de carga. Con el mismo proporcionamiento anterior, es decir, utilizando 30% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h en condiciones no saturadas (secas), se cumple el objetivo de la tesis de lograr una resistencia a la compresión mínima de

25kgf/cm² para aplicar en muros de contención, en este caso si se presenta un ahorro económico del 9% utilizando suelo-cemento fluido en lugar de concreto. De igual forma para los especímenes con los diferentes porcentajes de cemento y 5% de aditivo, se logra el objetivo de la tesis con un 30% de cemento, sin embargo, su resistencia disminuyó en comparación que cuando se utiliza 1% de aditivo en las mezclas y su costo se ve incrementado por el uso del aditivo. Por lo tanto, debe de realizarse un análisis completo para saber si es factible o no utilizar el suelo-cemento fluido para muros de carga en casa-habitación, a pesar de que si se cumplió el objetivo de esta tesis, de lograr una resistencia mínima a la compresión de 25kgf/cm², para muros de casa-habitación en la región de Morelia, con un proporcionamiento de 30% de cemento y 1% de aditivo Maxe-h. En conclusión, los contenidos óptimos de cemento y aditivo Maxe-h para la mezcla de suelo-cemento fluido en condiciones no saturadas es de 30% de cemento y 1% de aditivo, descartándose nuevamente la aplicación de 5% de aditivo Maxe-h en las mezclas de suelo-cemento fluido, debido a que disminuye la resistencia del suelo-cemento fluido y disminuye el peso volumétrico.

En las gráficas del subcapítulo 4.4 (RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS ESPECÍMENES SATURADOS Y NO SATURADOS, CON 1% Y 5% DE ADITIVO MAXE-H), se puede apreciar claramente el comportamiento de los especímenes con diferentes porcentajes de cemento, diferentes porcentajes de aditivo Maxe-h y diferentes condiciones de curados y fraguado, a la edad de 28 días. Se observa que el incremento del aditivo de 1% a 5%, tanto en condiciones saturadas como no saturadas, disminuye la resistencia del suelo-cemento fluido, afectando en forma más agresiva a las mezclas en condiciones saturadas.

Con relación a los 3 párrafos anteriores, se debe de considerar la importancia que tiene el realizar los ensayos de laboratorio a cualquier aditivo antes de su puesta en obra, para conocer su comportamiento. En ocasiones un aditivo puede traer efectos secundarios que pueden perjudicar las estructuras en lugar de beneficiarlas.

Cada tipo de suelo se comporta de manera diferente, para este trabajo de investigación el suelo analizado presenta mejor comportamiento en condiciones saturadas en particular utilizando 1% de aditivo Maxe-h, por eso la importancia de hacer los ensayos de laboratorio.

Ahora se conocen los resultados del suelo (tepetate) del banco Torreón Nuevo, y algunas de las aplicaciones que éste puede tener en obras civiles, para la región de Morelia. El suelo que se analizó en ésta tesis, no es de calidad excelente, sin embargo se logró el objetivo de la tesis. Aunque faltan retos por superar sobre la investigación de este nuevo material “suelo-cemento fluido”, espero que pueda ser útil este trabajo de investigación para trabajos posteriores dentro de la región de Morelia.

6.- BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.

- La ingeniería de suelo en las vías terrestres. Rico y del castillo. Vol. 1
- La ingeniería de suelo en las vías terrestres. Rico y del castillo. Vol. 2
- Normas Técnicas Complementarias Para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería., (2015).
- ACI 229R-99, "Controlled low strength materials", Materials and general properties of concrete, Manual of concrete practice, Part 1, ACI, Farmington Hills, (2000).
- Braja, M D, "Fundamentos de ingeniería geotécnica", Ed. Thomson Learning, México D.F., (2001).
- Cemex Concretos, "Relleno fluido", Catalogo de fichas técnicas, México D.F., (2003).
- Cemex Concretos, "Relleno fluido", Construcción y tecnología, IMCYC, Revista no. 147, Vol. 13, México D.F., (2000).
- De la Fuente, L E, "Suelo cemento", IMCYC, México, (1995).
- De la Cruz, R M, "Materiales de baja resistencia controlada (relleno fluido)", Tesis Licenciatura, UAEM FI, México, 2001.
- DDF, "Normas de construcción", Calidad de los materiales, Libro 4, T 1.
- Norma Mexicana NMX-C-161-1997-ONNCCE. Industria de la construcción. Concreto fresco-muestreo.
- Norma Mexicana NMX-C-073-2004-ONNCCE. Industria de la construcción. Agregados. Masa volumétrica. Método de prueba.
- Norma Mexicana NMX-C-159-2004-ONNCCE. Industria de la construcción. Concreto. Elaboración y curado de especímenes en el laboratorio.
- Norma Mexicana NMX-C-109-2013-ONNCCE. Industria de la construcción. Concreto hidráulico. Cabeceo de especímenes.
- Norma Mexicana NMX-C-061-2010-ONNCCE. Industria de la construcción. Cementos hidráulicos. Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos.

- Concretos de cemento Pórtland Thomas D. Larson. Enciclopedia de Tecnología Química Kirk- Othmer Edit. UTEHA
- Jaramillo, P D, “Relleno fluido, el nuevo material que reemplaza las bases granulares”, Asocreto, Revista no. 51, Colombia, pp. 64-67, (1999).
- Juárez, B y Rico, R, “Mecánica de suelos”, Ed. Limusa, 2ª ed, T-2, México D.F., pp. 117 – 157, (2000).
- Manual de mecánica de suelos, séptimo semestre, facultad de ingeniería civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo., (2008).
- <http://www.maxeh-mx.blogspot.mx>
- <http://www.maxehterracreto.com.mx>
- Tesis Profesional “Caracterización de suelo-cemento para muros de contención mediante resistencia a compresión simple o uniaxial”. UNIVERSIDAD LATINA DE AMERICA. Elaborada por Alberto Jesús Cázarez Cortés., (2015).
- Tesis Profesional “DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO PARA SUELO-CEMENTO FLUIDO, PARA LA REGIÓN DE SAN MIGUEL DE ALLENDE, GUANAJUATO”. UMSNH. Elaborada por Carlos Orlando Gaona Rauda., (2015).