



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO.**
Facultad de ingeniería civil.

**“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO PARA
SUELO-CEMENTO FLUIDO, PARA LA REGIÓN DE SAN
MIGUEL DE ALLENDE, GUANAJUATO”.**

TESIS PROFESIONAL.

Presenta:
Carlos Orlando Gaona Rauda.

Asesor:
M.I. Felipe de Jesús Jerónimo Rodríguez.

Co-Asesor:
M.A. Wilfrido Martínez Molina.

**Morelia, Michoacán.
Septiembre 2015.**





AGRADECIMIENTOS.

Agradezco primeramente a **DIOS** por la oportunidad que me ha brindado de cumplir esta meta y por acompañarme durante el largo camino de esta carrera y de la vida, por dejar a mi lado a las personas que más he necesitado, por ser la luz en momentos de tristeza y de desánimo. A ti señor te agradezco infinitamente por darme esta vida llena de experiencias, aprendizajes y felicidad. GRACIAS DIOS MÍO POR QUE ME HAS AYUDADO A SALIR ADELANTE.

A mis padres **CARLOS GAONA NAMBO Y ROSA ELVIRA RAUDA LÓPEZ** les doy infinitas gracias por traerme a la vida y siempre estar a mi lado apoyándome con sus consejos, por todo lo que me han dado, por los valores que me inculcaron y la educación que me brindaron, mil gracias porque nunca me dejaron solo, por enseñarme que las cosas se ganan con esfuerzo y con perseverancia, por enseñarme a valorar cada cosa que gracias a Dios tengo en esta vida, por darme la gran familia que tengo, y por ser ese gran ejemplo a seguir que siempre han sido. MUCHAS GRACIAS.

A mis hermanos que siempre estuvieron conmigo, por ser siempre parte de mi vida, por el apoyo que siempre me dieron y la motivación que representan para mí, les agradezco infinitamente **KARLA MÓNICA GAONA RAUDA** por todo el apoyo que me has dado, porque nunca me has dejado solo, siempre has estado cuando te he necesitado y por todas tus palabras de aliento que me has brindado y **GAMALIEL GAONA RAUDA** por apoyarme y ser parte de este largo caminar. MUCHAS GRACIAS.



A mis amigos de toda la vida **MIGUEL ÁNGEL BRAN VARGAS, NICASIO AGUILAR TORRES, JAIRO ABRAM RODRÍGUEZ RAUDA, IRVING AGUILAR AGUILAR, SALVADOR RINCÓN GAONA**, les agradezco por siempre creer en mí, por siempre estar a mi lado para apoyarme en cualquier cosa y por brindarme sus palabras de ánimo para salir adelante. A un amigo especial **P. JAIME NÚÑEZ GALVÁN** por su amistad y apoyo brindado. MUCHAS GRACIAS

A mis amigos universitarios **PAUL JOVANI HERNÁNDEZ POSADAS, OSCAR OMAR CERDA CHÁVEZ e ISAAC ROSALES PONCE**, les agradezco por hacer de esto una etapa hermosa e inolvidable. Así como a todos esos amigos y compañeros de quien pude aprender algo de ellos en cada aula y a todas esas personas que un día me brindaron una palabra de aliento. MUCHAS GRACIAS.

Agradezco a mis profesores la confianza, el apoyo, la dedicación y la paciencia que siempre tuvieron hacia mí y sobre todo por haber compartido conmigo sus conocimientos, su amistad y su tiempo. MUCHAS GRACIAS.

Gracias **M.I. FELIPE DE JESÚS JERÓNIMO RODRÍGUEZ** por darme la oportunidad de realizar mi tesis profesional en el laboratorio de MECÁNICA DE SUELOS, por creer en mí y ayudarme a salir adelante con este trabajo, por todo el apoyo que me ofreció. Por darme la oportunidad de crecer profesionalmente, aprender cosas nuevas y por permitirme lograr el objetivo que me planteé para esta tesis. Gracias a todo el laboratorio de materiales por permitirme realizar mi tesis en ese espacio. MUCHAS GRACIAS.

Gracias a todo el personal del laboratorio de mecánica de suelos por permitirme realizar mi tesis ahí y por todo el apoyo brindado siempre y más a la hora de realizar mis pruebas, a los compañeros de servicio social y en especial a los técnicos: **M.I. ERNESTO NÚÑEZ, ING. ISRAEL BOCANEGRA, e ING. PABLO GARCÍA**. Por el apoyo, por permitirme convivir con ellos y hacer muy ameno el espacio de trabajo a la hora de realizar esta tesis y sobre todo por la amistad brindada. MUCHAS GRACIAS.



A toda mi familia que siempre me apoyo, tíos, primos, abuelos, sobrinos, todos mis parientes, gracias por creer en mí y siempre saber conducirme por el camino de la vida en especial a mis tíos: **MARÍA DE LA PAZ GAONA NAMBO, VÍCTOR HUGO GAONA NAMBO, OLEGARIO GAONA NAMBO, MANUEL BOTELLO RODRÍGUEZ, MIRIAM GAONA NAMBO, SILVIA RAUDA LÓPEZ, ELVA GAITÁN LÓPEZ** y a mi abuelo **OLEGARIO GAONA MANDUJANO** que siempre estuvieron ahí para cuando los necesite brindándome todo su apoyo y dándome sus consejos. De igual forma agradezco a todos los que ya no están conmigo en este mundo, a mi tía **EDELINA GAONA NAMBO**, a mis abuelitas **AUREA** y **EPIFANÍA**; y mi vuelito **ROSENDO** y en especial a mi tío **CARLOS RAUDA LÓPEZ** que sé que me observa y me cuida desde el cielo. MUCHAS GRACIAS

CON TODOS USTEDES ESTOY MUY AGRADECIDO Y CONTENTO POR AYUDARME A CUMPLIR MIS METAS.



ÍNDICE.

1.- INTRODUCCIÓN.....	11
1.1.- OBJETIVOS.	12
1.1.1.- Objetivo general.	12
1.1.2.- Objetivo concreto.	12
1.2.- ANTECEDENTES.	13
1.2.1.- Antecedentes específicos.....	18
1.3.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	30
1.3.1.- Pregunta de investigación.	30
1.3.2.- Justificación.....	30
1.4.- HIPÓTESIS.	31
2.- MARCO TEÓRICO.....	32
2.1.- SUELOS.	32
2.1.1.- Suelos finos.....	33
2.1.2.- Suelos gruesos.....	33
2.2.- CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS.....	34
2.2.1.- Suelos aptos para mezclas de suelo-cemento.....	34
2.3.- CARACTERÍSTICAS DEL SUELO CEMENTO.....	36
2.4.- COMPOSICIÓN EN ESTADO FLUIDO.....	39
2.5.- LIMITES DE PLASTICIDAD.	41
2.6.- METODOLOGÍA EMPLEADA.	44
2.7.- LA PRUEBA DE REVENIMIENTO.....	47
2.8.- ADITIVOS.....	48
2.9.- ADITIVO MAXE-H.....	50
2.10.- MUROS DE CONTENCIÓN.....	51
2.11.- APLICACIONES EN OBRA SOBRE MUROS DE CONTENCIÓN.	52
2.11.1.- Altura libre del muro.	53
2.11.2.- Pendientes de la base.....	53
2.11.3.- Inclinación de las caras del muro.....	54
2.11.4.- Ancho de la corona.....	56
2.11.5.- Desplante de zapatas sobre el muro de suelo-cemento.....	56



2.11.6.- Profundidad de despalme.....	58
2.11.7.- Procedimiento constructivo.	59
2.11.8.- Cimbra.	61
2.12.- FABRICACIÓN DEL SUELO-CEMENTO PARA APLICARSE EN MUROS DE CONTENCIÓN.....	63
2.12.1.- Anclaje de bardas o mallas ciclónicas.....	65
2.12.2.- Control de calidad durante el colado.	68
2.12.3.- Juntas constructivas.	69
2.12.4.- Varillas ancla.	69
2.12.5.- Filtro o sistema de drenaje del muro.	70
2.13.- COMPORTAMIENTO ESTÁTICO DE MUROS DE CONTENCIÓN.....	72
2.14.- METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	76
2.14.1.- Construcción.....	76
2.14.2.- Resistencia mecánica.	77
2.14.3.- Costos de conservación.	77
2.14.4.- Formulación.	78
2.15.- CEMENTO.	78
2.15.1.- Clasificación.....	79
2.16.- TIPOS DE CEMENTOS.	80
2.17.- SUELO.....	86
2.18.- AGUA.	86
2.19.- ADITIVO MAXE-H.....	87
2.20.- VENTAJAS COMPARATIVAS.....	87
3.- PROCEDIMIENTO Y ENSAYES REALIZADOS.	89
3.1.- MUESTREO DEL MATERIAL.	89
3.1.1.- Banco de materiales.....	89
3.2.- GRANULOMETRÍA.....	91
3.3.- LÍMITES DE CONSISTENCIA.	96
3.3.1.- Determinación del límite líquido.....	96
3.3.2.- Determinación del límite plástico.....	101
3.3.3.- Determinación del índice plástico.....	102
3.3.4.- Determinación de la contracción lineal.	103



3.3.5.- Determinación de la contracción volumétrica.....	107
3.4.- DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SUELO SUELTO (P.V.S.S).	110
3.5.- SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	114
3.6.- DENSIDAD DE SÓLIDOS.	115
3.7.- PRUEBA DE COMPACTACIÓN PROCTOR.....	120
3.8.- PRUEBA DE COMPACTACIÓN PORTER ESTÁNDAR.	130
3.9.- VALOR RELATIVO DE SOPORTE ESTÁNDAR (VRS).	139
3.10.- RESUMEN DE RESULTADOS.....	145
4.- CÁLCULOS PARA REALIZACIÓN DE ESPECÍMENES.	147
4.1.- CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE LA RESISTENCIA.....	147
4.2.- CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE CEMENTO.	147
4.3.- CÁLCULOS PARA EL VOLUMEN DE LOS CILINDROS.....	148
4.4.- CÁLCULOS PARA LOS PROPORCIONAMIENTOS.....	149
4.4.1.- Proporcionamiento para el 5% de cemento (69 kg).	149
4.4.2.- Proporcionamiento para el 7.5% de cemento (103.5 kg).	150
4.4.3.- Proporcionamiento para el 10% de cemento (138 kg).	151
4.4.4.- Proporcionamiento para el 12.5% de cemento (165.6 kg).	152
4.4.5.- Proporcionamiento para el 15% de cemento (207 kg).	153
5.- PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES.	154
5.1.- PESO DE LOS MATERIALES.	154
5.2.- MEZCLA DE MATERIALES.	157
5.3.- HOMOGENIZACIÓN DE LOS MATERIALES.	158
5.4.- COLOCACIÓN DE AGUA.....	159
5.5.- TEMPERATURA EN LA MEZCLA.	160
5.6.- REVENIMIENTO.	161
5.7.- ESPECÍMENES.....	165
6.- PRUEBA DE COMPRESIÓN SIMPLE EN ESPECÍMENES.	173
6.1.- ESPECÍMENES SIN SATURAR.....	173
6.1.1.- Preparación de los especímenes para probar a compresión simple.....	173
6.2.- PRUEBA A COMPRESIÓN SIMPLE.	176
6.2.1.- Reporte fotográfico.	180



6.3.- ESPECÍMENES PROBADOS CON MAQUINA UNIVERSAL “FORNEY” .	187
6.3.1.- Reporte fotográfico.	191
7.- ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RESULTADOS.	198
7.1.- RESULTADOS DE ESPECÍMENES SIN SATURAR.	198
7.1.1.- Tablas, gráficas y resultados de los proporcionamientos.	198
8.- ESPECÍMENES CURADOS MEDIANTE LA SATURACIÓN EN AGUA.	221
8.1.- PRUEBA A COMPRESIÓN SIMPLE DE LOS ESPECÍMENES SATURADOS....	226
8.1.1.- Reporte fotográfico.	229
8.2.- ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE RESULTADOS.	249
8.2.1.- tablas, gráficas y resultados de los proporcionamientos de los especímenes saturados en agua.	249
9.- OBSERVACIONES Y COMPARACIONES ENTRE ESPECÍMENES CURADOS CON BOLSA HÚMEDA Y ESPECÍMENES SATURADOS EN AGUA.	272
10.- CONCLUSIONES.	287
11.- BIBLIOGRAFIA.	291



RESUMEN.

Primeramente se realizó un estudio de investigación para conocer todo sobre el suelo-cemento fluido, posteriormente ya que se conocía toda la teoría sobre el material mencionado como lo es sus características, las cuales son: los materiales que lo componen, el aspecto y apariencia que presentan así como sus características de resistencia a la compresión y de igual manera sus orígenes, sus antecedentes, su variedad de aplicaciones y su costo, entre otras. Después se llevó a cabo el objetivo de esta tesis, el cual es conocer el porcentaje óptimo de la mezcla de suelo con una relación agua/cemento que presente una resistencia mayor a 25Kg/cm^2 a 28 días de edad del material para las arenas limosas (tepetate) encontradas en la región de San Miguel de Allende Guanajuato.

Para esto se realizaron varias pruebas en el laboratorio en las cuales incluyen todas las necesarias para la caracterización del material como lo son límites de consistencia, granulometrías, densidad, entre otras; para conocer si el material con el que contábamos cumplía los requerimientos para utilizarse en una mezcla de suelo-cemento fluido. Ya que se tenía caracterizado el material y que sabíamos que era apto para usarse en la mezcla se procedió a realizar especímenes para probarlos a compresión simple y darnos cuenta como trabajaría el material, se elaboraron varios especímenes con diferentes porcentajes de cemento para así saber cuál era el óptimo, se realizaron mezclas con proporcionamientos del 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% de cemento de acuerdo a su peso volumétrico seco suelto (P.V.S.S.). Los especímenes se probaron a la edad de 3, 7, 14 y 28 días después de ser descimbrados y utilizando la maquinaria del laboratorio para realizar pruebas a compresión simple se conocieron los resultados. En este mismo estudio se realizó una comparación para las dos formas de curar el material, las cuales fueron con bolsas húmedas y saturados en agua. Los resultados fueron, que el porcentaje óptimo fue el del 15% de cemento para los curados con bolsa húmeda ya que los saturados no alcanzaron el objetivo con ninguno de los porcentajes de cemento.

1. Investigación. 2. Material. 3. Eficiencia. 4. Resistencia. 5. Resultados.



ABSTRACT.

Primarily a research study was conducted to know everything about the suelo-cemento fluido. And then the whole theory of the material mentioned is known as its characteristics, which are: the component materials, the look and feel as well as presenting its resistance to compression and likewise its origins, its history, its range of applications and cost, among others. After just it took the objective of this thesis, which is to determine the optimal percentage of the soil mixture with a water / cement ratio that present greater resistance to 25Kgf / cm² at 28 days of age of the material for silty sands found in the region San Miguel de Allende, Guanajuato.

For this several tests in the laboratory which includes all necessary for the characterization of material like consistency limits, grain size, density, among others they were made; to know if the material with which we had satisfied the requirements for use in a mixture of suelo-cemento fluido. As it had characterized the material and we knew it was suitable for use in the mixture proceeded to make specimens to test a simple compression and realize as work material, several specimens were prepared with different percentages of cement and to know what the optimum, mixtures were made with the proportioning 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% Cement according to their dry density loose. The specimens were tested at the age of 3, 7, 14 and 28 days after uncentered and using laboratory equipment for testing simple compression results are met. In this same study a comparison to the two ways of curing the material is made, which were saturated with moist and water bags. The results were that the optimum percentage was 15% of the cured cement bag as wet saturated not reached the target with any of the percentages of cement.



1.- INTRODUCCIÓN.

Con el trabajo realizado en esta tesis se ha logrado conocer el comportamiento del material de suelo de la región de San Miguel de Allende Guanajuato, con el cual se ha diseñado la mezcla de suelo cemento fluido y se ha podido apreciar la forma en que esta trabaja a condiciones de tiempo de fraguado y de una carga axial determinada. Se realizaron una serie de pruebas o ensayos de laboratorio al material analizado dentro del área de mecánica de suelos y con los resultados de los materiales se realizó una caracterización de su comportamiento. Es decir se determinó las calidades de los materiales, mediante las propiedades índices y se definió el porcentaje de cemento óptimo para la mezcla (suelo-cemento).

El suelo-cemento fluido es el resultado de una mezcla de suelo pulverizado, disgregado, principalmente un agregado fino que mediante una relación agua/cemento determinada más un aditivo Maxeh, 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. En concreto encontraremos el porcentaje adecuado, que sea el que trabaje mucho mejor y que tenga los mejores resultados en la mezcla de un suelo fino con una relación agua/cemento para el material de suelo que se tiene dentro de la región de San Miguel de Allende, Guanajuato.



1.1.- OBJETIVOS.

1.1.1.- Objetivo general.

El objetivo general del tema de investigación es conocer el porcentaje óptimo de la mezcla de suelo con una relación agua/cemento que sea el que mejores resultados presente para las arenas limosas (tepetate) encontradas en la región de San Miguel de Allende Guanajuato.

1.1.2.- Objetivo concreto.

El objetivo concreto de esta investigación es realizar la investigación necesaria para conocer lo que se apuntaba en el objetivo general para lo cual se realizara lo necesario dentro de lo que es la parte teórica y práctica del tema como conocer todos los antecedentes de este material, el por qué se utiliza dentro de la construcción y conocer todas sus propiedades índices de este material mediante todas las pruebas de laboratorio necesarias para así poder conocer que tan apto es este material para realizar el diseño de suelo-cemento fluido el cual es muy utilizado en estructuras de ingeniería civil, y finalmente conoceremos los resultados del estudio conociendo el porcentaje óptimo de la mezcla de suelo con una relación agua/cemento que sea el que mejores resultados presente para las arenas limosas (tepetate) encontradas en la región de San Miguel de Allende Guanajuato.



1.2.- ANTECEDENTES.

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 convertido en un importante material de construcción, tanto para viviendas como en obras viales, donde ha tenido un significativo uso.

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 VII y VI 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 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 urbanístico 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.

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, 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.

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.



1.2.1.- Antecedentes específicos.

San Miguel de Allende es una ciudad del estado mexicano de Guanajuato. Se encuentra en una ubicación de 20°54'55"N. 100°44'38"O. Altitud de 1910 m y está situada a 274 km, de la Ciudad de México, a 97 km de la ciudad de Guanajuato y a 157 Km de León Guanajuato. Es parte de la macro región del Bajío.

El 7 de julio de 2008 fue inscrita por la Unesco en el Patrimonio cultural de la Humanidad. Bajo el título de Villa Protectora de San Miguel el Grande y Santuario de Jesús Nazareno de Atotonilco, la distinción se otorgó debido a su aporte cultural y arquitectónico al Barroco mexicano y a su importancia en la lucha de Independencia de México de España.

El 1 de noviembre de 2013 fue nombrada por la revista Cond Nast Traveler como la mejor ciudad del mundo junto con otras 24 ciudad que son reconocidas por su gran aportación cultural, belleza arquitectónica, y lugares de diversión.

Anteriormente fue parte del proyecto de "pueblos mágicos", pero debido a esta última distinción de la Unesco, fue cambiada su designación.



FIGURA 1. Localización de San Miguel de Allende, Guanajuato en el país de México.



FIGURA 2. Localización de San Miguel de Allende, estado de Guanajuato.

San Miguel de Allende pertenece al Corredor Turístico Dolores Hidalgo C.I.N-Guanajuato-San Miguel de Allende 7 de Las 50 Maravillas de Guanajuato, Los 4 municipios que encabezan la lista son: Dolores Hidalgo Cuna de la Independencia Nacional(14), San Miguel de Allende* (7), Guanajuato (6) y León Guanajuato (3). San Miguel cuenta con un museo turístico del juguete nacional en México el cual está en la calle de Núñez esquina con San Francisco, ahí se puede apreciar la forma en la que México ha florecido en el ámbito de sus artesanías.

De acuerdo a la vigésimo sexta edición de los Readers' Choice Awards, realizados el 13 de octubre de 2013 y promocionados por la revista Condé Nast Traveler, San Miguel de Allende es considerada como la mejor ciudad turística del mundo.



Población de la ciudad en 2010: 69 811 hab.

Población total del municipio: 160 359 hab.

La ciudad fue fundada en 1542 por el monje franciscano **Fray Juan de San Miguel**, quien bautizó el asentamiento como San Miguel el Grande. Era un punto de paso importante del Antiguo Camino Real, parte de la ruta de plata que se conectaba con los aztecas.

El pueblo se destacó prominentemente durante la Guerra de Independencia de México. Ignacio Allende, nativo de San Miguel, fue un líder clave en la guerra contra la dominación española. Capturado cuando marchaba hacia Estados Unidos en busca de armas, fue juzgado en Chihuahua, sentenciado y fusilado. Su cabeza fue expuesta en uno de los ángulos de la Alhóndiga de Granaditas en Guanajuato junto a las de Miguel Hidalgo, Juan Aldama y Mariano Jiménez. La población de San Miguel el Grande fue elevada a ciudad el 8 de marzo de 1826 y cambió el nombre por "San Miguel de Allende" en honor al héroe nacional.



FIGURA 3. Fachada de iglesia en San Miguel de Allende.



Para la década de 1900, San Miguel de Allende estuvo a punto de convertirse en un pueblo fantasma. En 1926 fue declarado monumento histórico por el Gobierno mexicano, por lo que desde entonces el desarrollo en el distrito histórico está restringido para conservar el carácter colonial del pueblo.



FIGURA 4. Esta torre es una muestra de la arquitectura barroca de San Miguel de Allende.

Durante la década de 1950, San Miguel de Allende se convirtió en un lugar turístico conocido por su bella arquitectura colonial y sus fuentes termales. Después de la Segunda Guerra Mundial, San Miguel comenzó a revivir sus atractivos turísticos cuando muchos soldados norteamericanos fuera de servicio descubrieron que los servicios educativos de instituciones de EE.UU. Acreditaban al Instituto Allende (fundado en 1950), por lo que se garantizaba la educación de su familia, dado lo cual empezaron a pasar largas temporadas en esta ciudad.

El lugar es famoso a nivel mundial por su clima templado, los ojos de agua termal y su arquitectura. San Miguel de Allende ha atraído una gran comunidad de residentes extranjeros, que componen gran parte de la población.

San Miguel cuenta con numerosas iglesias católicas con fachadas hermosas de cantera, pero la más espectacular, la Parroquia de San Miguel Arcángel, Convertida en el símbolo de la ciudad; esta interesante mole de cantera rosa, fue construida en



el siglo XVIII con una portada en estilo barroco. Hacia 1880 se le sobrepuso la nueva fachada neogótica, realizada por el maestro Ceferino Gutiérrez, en la que sorprende la genial disposición de arcos ojivales, columnas y nichos con esculturas estilizadas. El interior del templo, de planta de cruz latina y decorado al estilo neoclásico, conserva algunos lienzos con temas religiosos que han sido atribuidos a los hermanos Juan y Nicolás Rodríguez Juárez. Se localiza frente a la Plaza Principal. El municipio se encuentra localizado en la zona centro-este del territorio de Guanajuato, tiene límites territoriales al noroeste con el municipio de Dolores Hidalgo, al norte con el municipio de San Luis de la Paz, al noroeste con el municipio de San José Iturbide, al sureste con el municipio de Apaseo el Grande, al sur con el municipio de Comonfort, al suroeste con el municipio de Santa Cruz de Juventino Rosas y con el municipio de Salamanca; al este sus límites son con el estado de Querétaro, correspondiendo estos al municipio de Querétaro. Su extensión territorial total es de 1,558.96 kilómetros cuadrados que representan el 5.09% de la extensión total del estado de Guanajuato.

El municipio es mayoritariamente plano, aunque atravesado por algunas serranías de mediana altitud en sus extremos oeste y este, así como en el centro del territorio, la mayor parte del territorio tiene una pendiente que va apenas del 0 a 5%, variando únicamente en las mencionadas elevaciones en que la pendiente llega a alcanzar el 25%. La más baja altitud del municipio se encuentra a 1,850 MSN y las elevadas alcanza los 2,700 msnm; las principales elevaciones, que se encuentra entre los 2,200 y los 2,400 msnm son los cerros La Silleta, Cerro Prieto, La Piena y La Campana.

La principal corriente fluvial del municipio de San Miguel de Allende es el río Laja que proveniente del municipio de Dolores Hidalgo corre en sentido de norte a sur por el centro del territorio, continuando posteriormente hacia Comonfort y finalmente desembocando en el río Lerma.

En San Miguel de Allende es regulado por la Presa Ignacio Allende, situada en el centro del territorio, al oeste de San Miguel de Allende. Su principal función es controlar las avenidas del río Laja, además de proporcionar almacenamiento de



agua con fines agrícolas. Además del río Laja existen otros arroyos menores, como La Cañadita, El Atascadero, Las Cachinches y El Obraje, que cruzan la cabecera municipal y que alimentan otras presas menores, como la Presa Las Colonias y la Presa El Obraje.

Hidrológicamente todo el territorio municipal, con excepción de su zona extrema al suroeste, pertenece a la Cuenca del río Laja, y el extremo mencionado forma parte de la Cuenca río Lerma-Salamanca. Ambas cuencas forman parte de la Región hidrológica Lerma-Santiago. Dentro del término municipal de San Miguel de Allende se encuentra el jardín botánico y reserva natural El Charco del Ingenio, que ocupa una superficie de 70 hectáreas en la cuenca del río Laja, desde el límite con el Parque Landeta hasta la Presa del Obraje, pasando sucesivamente por la Presa Las Colonias y la cañada del Laja.

La reserva es un espacio consagrado a la conservación de la vida silvestre, así como de colecciones de plantas cactáceas (familia de la que México posee el mayor número de especies) y de otras familias de suculentas, tanto endémicas de la región como procedentes de otras partes del país.

Muchas de las especies se consideran raras, amenazadas o en peligro de extinción, debido, como en otras partes del mundo, a los cambios de uso del suelo, la expansión urbana y la extracción y tráfico ilegales de especies para surtir el mercado internacional de coleccionistas. En la Presa Las Colonias hay humedales donde abundan las aves, y las profundas laderas están pobladas de vegetación semiárida nativa.

Durante su visita a México en 2004, el Dalai Lama consagró la reserva de El Charco del Ingenio como una de las cinco zonas de paz así declaradas en distintos puntos del país, consistentes en espacios libres de violencia, dedicados a la conservación de la naturaleza y al desarrollo comunitario.



El clima del municipio se divide en dos zonas, la zona oriental registra un clima que es considerado como Semi-seco templado, mientras que la zona occidental tiene un clima Templado subhúmedo con lluvias en verano, una pequeña zona en el sur del municipio tiene clima Semi-cálido subhúmedo con lluvias en verano; la temperatura media anual se ve afectada principalmente por la elevación del terreno, de esta manera la mayor parte de las zonas planas del municipio registran un promedio que va de los 16 a los 18 °C, zonas del sur y del suroeste alcanzan un promedio de 18 a 20 °C, mientras que zonas más elevadas el centro y este del territorio tienen un promedio entre 14 y 16 °C, la precipitación promedio anual sigue un patrón de cinco bandas que avanzan en sentido suroeste-noreste a través del municipio, la zona registrada más al suroeste tiene un promedio superior a los 800 milímetros de lluvia al año, la siguiente zona registra entre 700 y 800 mm, la franja central entre 600 y 700 mm, la cuarta zona entre 500 y 600 mm y finalmente el extremo más al noreste tiene entre 400 y 500 mm.

Algo que caracteriza a San Miguel de Allende son su ricas tradiciones, las cuales en los eventos y fiestas religiosas juegan un papel importante. San Miguel es un pueblo lleno de magia y misticismo el cual conserva tradiciones muy antiguas y que en ningún otro lugar del mundo ocurren. Es un lugar lleno de cultura y arte que sirve de escenario para las diferentes tradiciones y costumbres que ocurren en este mágico lugar.

Natalicio del General Ignacio Allende y Unzaga (21 de enero) Celebración con actos cívicos y un desfile militar en honor al Insurgente Ignacio Allende.

Semana Santa (marzo o abril) Semana Santa inicia con la tradicional traída del "Señor de la Columna" desde el Santuario de Atotonilco. Durante el último viernes de cuaresma, en toda la ciudad y en especial en el centro histórico, se levantan altares a la Virgen de los Dolores, en las ventanas y patios de las casas de los fieles



y se regala agua fresca y paletas de hielo que representan las lágrimas de la Virgen María.

En los días de semana santa mucha gente católica de diferentes partes de la república nos visita para llevar a cabo un retiro espiritual que tiene lugar en el santuario de Atotonilco, donde los visitantes se hospedan en la casa de retiro en el cual se llevan a cabo ayuno, corona de espinas y flores, y rezos.

Iniciando la Semana Santa durante el miércoles, sale la procesión del vía crucis partiendo del templo del oratorio de San Felipe Neri, para recorrer las calles del centro histórico. Durante el Jueves Santo se realiza el lavatorio de pies en cada iglesia de la ciudad, después de la ceremonia religiosa, se visitan las siete casas que son todas las iglesias del centro histórico.

El viernes Santo es el día con más actividad en San Miguel. Se realizan los actos litúrgicos y extra litúrgicos más solemnes de todo el año, comienza con la procesión del santo encuentro que sale del templo de la santa escuela y recorre las calles cercanas. Al final de esta procesión, la imagen de Jesús se encuentra con la imagen de su madre y durante este lapso hay un momento mágico en que la escultura de Jesús Nazareno levanta la cabeza para mirar a su Madre María, éste es el acto más famoso de la procesión y con el que culmina.

La procesión más solemne de la Semana Santa en San Miguel, es sin duda "El Santo Entierro" ya que tiene una duración de poco más de 3 horas durante el cual la gente que participa en la procesión, viste de la manera más elegante para acompañar al cuerpo de Jesús yacente hasta el sepulcro el cual está en una urna de cristal cargada por 36 hombres. Es una procesión hermosa en la cual participan cerca de mil personas, en la cual se interpretan cantos de pasión como el "Christus Factus" una hermosa melodía en la cual la Orquesta del Valle de Santiago participa con sus instrumentos clásicos.



Fiesta de San Antonio de Padua (13 de junio) Tradicional y popular desfile de "Los Locos" donde la gente participa disfrazada y con máscaras por las principales calles de la ciudad. Desfile con carros alegóricos, bandas musicales y mucha alegría.

Festival Internacional de Cine Guanajuato (GIFF) Es uno de los tres festivales de cine más importantes en México, se realiza los últimos 10 de julio, 5 en San Miguel de Allende y 5 en la ciudad de Guanajuato, recibe a más de 100 mil asistentes. Se proyectan filmes de más de cien países en competencia. Cada año cuenta con un país invitado y revisión de temas sociales a través del cine. Además de las muestras fílmicas se ofrecen diversos talleres y conferencias. Este Festival fue el creador del Primer International Pitching Market (programa de coproducción cinematográfica), el Primer Encuentro de Mujeres en el Cine en Latinoamérica, el Primer Rally Universitario de Producción y el programa de documental Identidad y Pertenencia. Festival de Música de Cámara (agosto) Evento cultural que se realiza en el Teatro Ángela Peralta bajo los auspicios del INBA.



FIGURA 5. Imagen de la fiesta de San Miguel Arcángel (29 de septiembre)

Es la celebración más importante para la Ciudad de San Miguel de Allende, ya que se celebra al Santo Patrono de la ciudad: San Miguel Arcángel. Esto sucede durante el último fin de semana de septiembre, comienza con la tradicional alborada y termina con una procesión con la imagen de San Miguel Arcángel por las calles del centro de la ciudad y visitando los templos de las monjas, el oratorio y San Francisco



para regresar a su parroquia. También se llevan a cabo eventos sociales, artísticos, deportivos, culturales además de sus famosas corridas de toros.

Feria Nacional de la Lana y el Latón (segunda quincena de noviembre) Exposición en la que participan artesanos nacionales y extranjeros.

Festival Internacional de Jazz (última semana de noviembre) Semana dedicada a presentaciones de bandas y solistas nacionales e internacionales en este género musical.

Fiesta de Navidad (segunda quincena de diciembre) Comienza el día 16 con las tradicionales posadas públicas. Se realizan pastorelas, música, cánticos, carros alegóricos, entre otros festejos populares.

Festividad de la Virgen de La Concepción: se celebra el 8 de agosto, en el templo que se conoce como "Las Monjas", ubicado en el centro de la ciudad.

Personajes ilustres

- Ignacio Allende
- Ignacio Aldama
- Juan Aldama
- Pedro Vargas
- Juan José de los Reyes Martínez (El Pípila)



FIGURA 6. Vista panorámica de la ciudad de San Miguel de Allende.



Ubicación del banco de material.

El banco de material se encuentra ubicado en el Fraccionamiento La Luz al oriente de la ciudad de San Miguel de Allende, en el estado de Guanajuato.

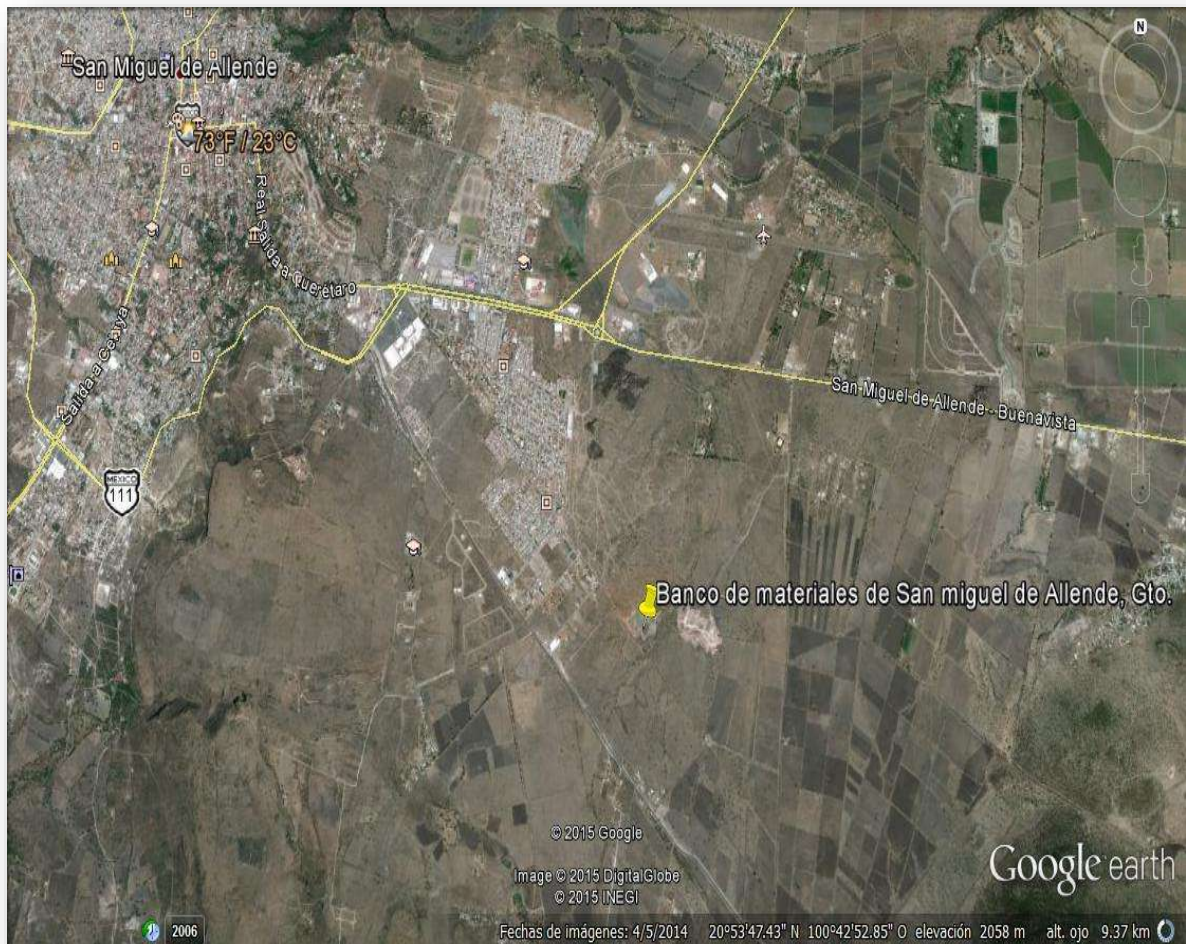


FIGURA 7. Macro localización del banco de materiales de San Miguel de Allende, Guanajuato.



FIGURA 8. Micro localización del banco de materiales de San Miguel de Allende, Guanajuato.



1.3.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.3.1.- Pregunta de investigación.

¿Cuál es el porcentaje óptimo de cemento para lograr una resistencia a la compresión mínima de 25 kg/cm^2 , para muros de contención utilizando el tepetate de San Miguel de Allende?

1.3.2.- Justificación.

La aplicación de materiales muy costosos y difíciles de manejar para su colocación dentro de la construcción, nos han llevado a experimentar con los más nuevos e innovadores materiales para la construcción, los cuales nos presentan mejor manejabilidad para su colocación, así como, mucho mejores resultados ya que se han ido mejorando con el tiempo sus propiedades, lo que para esto el problema aquí es encontrar un material que contenga las mejores propiedades, utilizando el suelo de la región de San Miguel de Allende para elaborar un suelo-cemento fluido, que trabaje lo mejor posible y que sea a su vez lo más económico, para que los constructores tengan acceso a este tipo de material y así poder aplicarlo en las distintas obras civiles, en especial para muros de contención, muros de carga, entre otros dentro de esta región.

Al elaborarse esta investigación sobre el porcentaje óptimo de suelo-cemento fluido, se pretende encontrar los beneficios como lo son el costo, la facilidad de colocación, durabilidad, resistencias a la compresión (25 Kg/cm^2), y el ahorro de tiempo en la construcción debido a su facilidad de manejo, entre otras propiedades que nos presenta este material, el cual se puede colocar en lugares estrechos y difíciles de alcanzar ya que nos presenta una fluidez importante y el cual no necesita compactarse, lo que nos lleva a que este material es muy adecuado para una amplia gama de obras civiles.



1.4.- HIPÓTESIS.

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 ó en condiciones saturados. Como se puede observar en los resultados de los siguientes capítulos.



2.- MARCO TEÓRICO.

2.1.- 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.



2.1.1.- 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.

2.1.2.- 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 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.



2.2.- 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 debida clasificación prácticamente se garantiza la calidad requerida de la mezcla con un mínimo consumo de cemento. Sin embargo, pueden existir construcciones aislados que por razones del poco volumen de construcción a realizar consideren más práctico (aunque más costoso) utilizar la clasificación de campo y por ende emplear la segunda variante.

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

2.2.1.- Suelos aptos para mezclas de suelo-cemento.

Prácticamente todos los suelos pueden ser empleados para producir suelo-cemento 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 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 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 % pasado expresado en la Tabla I garantiza las buenas propiedades del suelo-cemento y es el siguiente:

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

Tabla 1. Distribución granulométrica de suelos aptos para diseño de suelo cemento fluido.



2.3.- CARACTERÍSTICAS DEL SUELO CEMENTO.

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 autocompactable 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.

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.



APLICACIONES EN RELLENOS:

- Todo tipo de zanjas.
- 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.

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.

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.

Cemento, agregado fino, algunas veces agregado grueso, agua y células de aire, generalmente incluidas entre 15 y 25% 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.



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”.

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.

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.- 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.

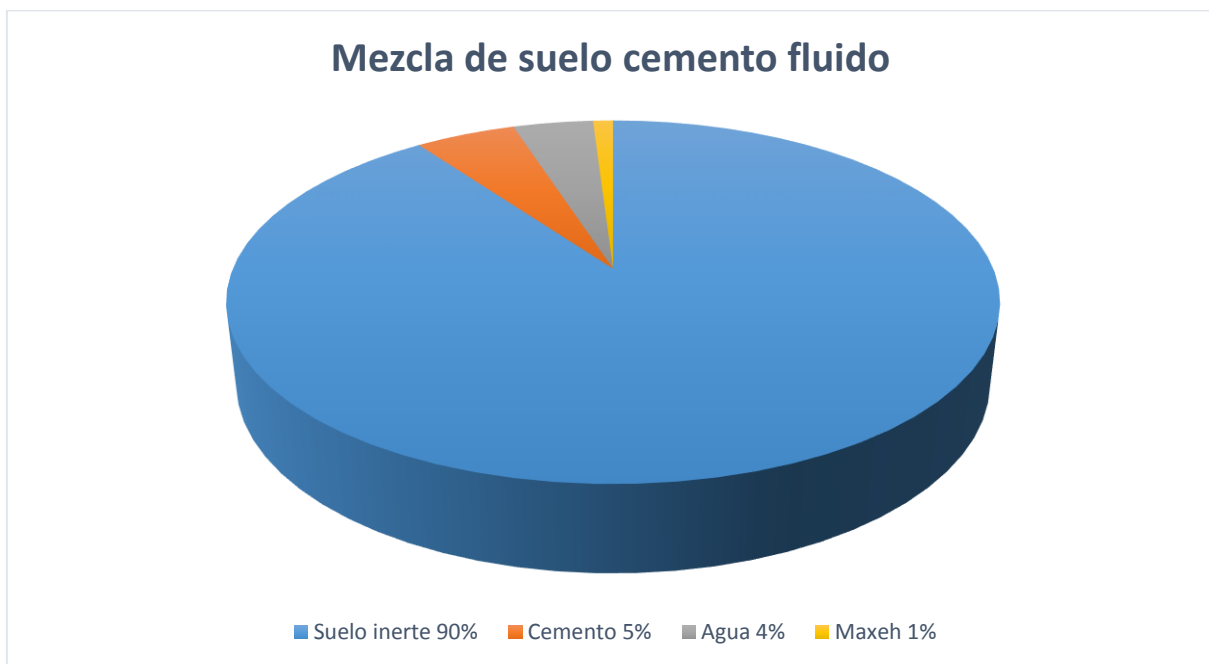


FIGURA 9. Porcentajes de materiales utilizados para la elaboración de un suelo cemento fluido.



2.5.- LIMITES 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. Se fija como sigue:

Límite líquido < 45%

Límite plástico < 18%



En sentido muy general, para la mezcla de suelo-cemento, 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 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.- METODOLOGÍA EMPLEADA.

El suelo por emplear cumplirá con todas las especificaciones de la siguiente tabla, antes de proponerlo para los muros de suelo cemento.

CARACTERÍSTICAS	VALORES
GRANULOMÉTRICAS	
Tamaño Máximo (plg.)	2
% Partículas mayores al tamaño máximo	0
% De grava	Máximo 10
% De finos	Máximo 30
PLASTICIDAD	
Límite líquido (%)	Máximo 40
Índice plástico (%)	Máximo 10
Contracción lineal (%)	Máximo 2.5
Equivalente de arena (%)	Mínimo 30
DE CAPACIDAD	PORTANTE
VRS estándar (%)	Mínimo 20
Expansión de prueba de VRS (%)	Máximo 1.5

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 prepara muestras con diferentes proporcionamientos, con los suelos del banco seleccionado.

Se sugiere preparar mezclas con 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% de cemento respecto a su P.V.S.S. Por metro cubico de material suelto, secando éste material previamente al sol; este es el rango de valores que usualmente resultan adecuados en los suelos de la Republica, 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. Cada mezcla de suelo y cemento se homogenizara lo mejor posible en seco y posteriormente se le aplicara agua para alcanzar la humedad con la que se lograra 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 por 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 150 a 230 Litros por metro cubico de material térreo, para revenimiento de 8 a 14 cm. En cualquier caso, el agua que se aplicara tanto en el laboratorio como en el campo, deberá tener 1 kg de endurecedor Maxe-h 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 manteniéndolas dentro de bolsas de plástico húmedas y cerradas. Los cilindros se descimbrarán a las 24 horas de su fabricación y se mantendrán con un curado en las bolsas de plástico muy húmedas 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 (kg/cm ²)	VALOR MÍNIMO EN UNA PROBETA (kg/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 no exceda de 10 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 el concreto si no existen dificultades para su colocación.

Valor nominal del revenimiento (cm)	Tolerancia (cm) NMX C-155	Clasificación de trabajabilidad	Bombeabilidad	Uso común
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	si	Concreto muy reforzado, vibración muy difícil.

TABLA 4. Por ciento de tolerancia para las pruebas de revenimiento.



2.8.- 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 incluídor de aire ha sido utilizado en el suelo cemento fluido en cantidad que la mezcla adquiera una alta fluidez, estabilidad de volumen y aligeramiento.



2.9.- 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 toxico, envasado en bolsa de plástico sellada de 25 Kg.



FIGURA 10. Visita a empresa MAXE-H. San Miguel de Allende, Guanajuato.



2.10.- 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 él 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.



2.11.- 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.

2.11.1.- Altura libre del muro.

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

2.11.2.- 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.



2.11.3.- 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 5. Altura e inclinación del muro de contención. Datos proporcionados por constructor.

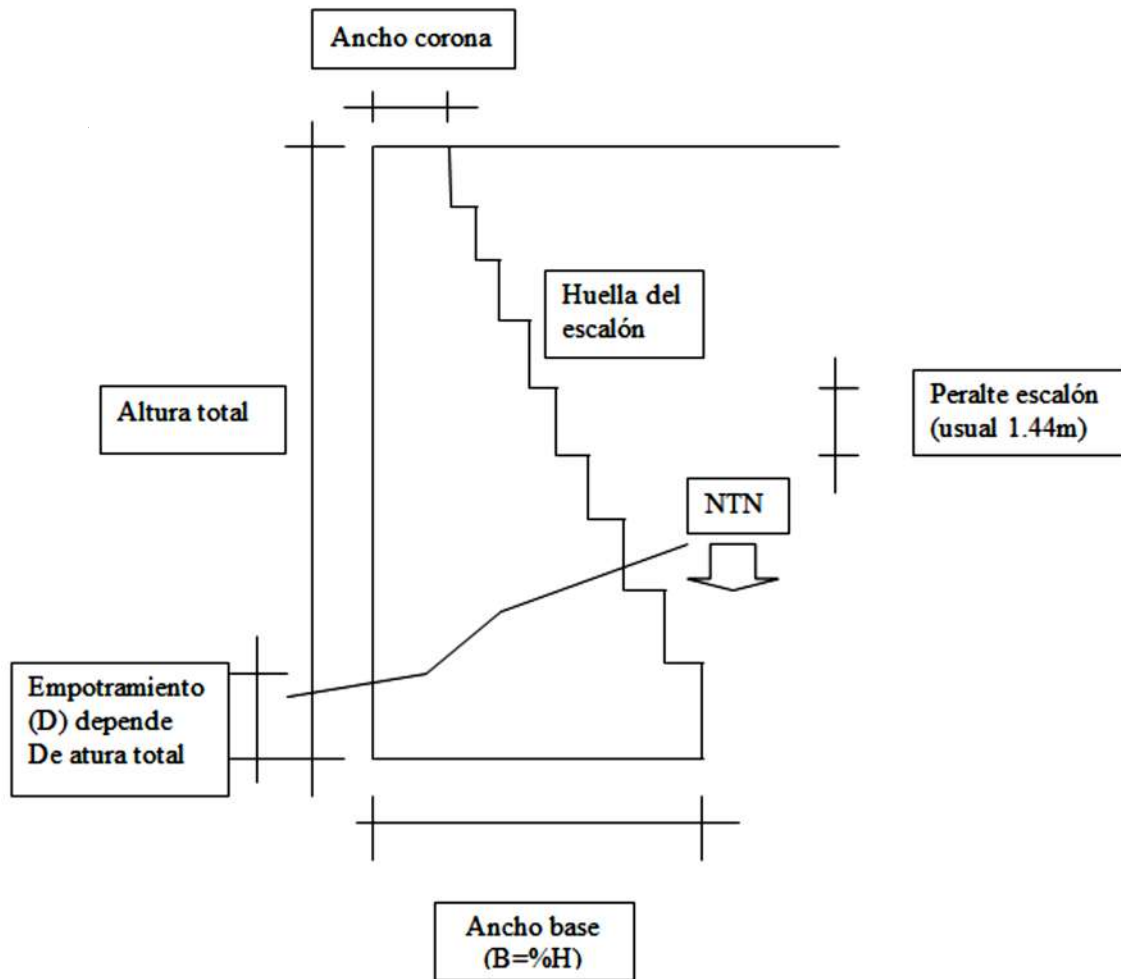


FIGURA 11. Características del muro de contención.

En tal caso, el peralte de cada escalón se recomienda que sea de 30 cm como mínimo y de 1.44 m como máximo, siendo esta última la altura típica de las hojas de triplay que se utilizan como cimbra; en 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 dicho cambio siempre sean graduales.



2.11.4.- 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 2, 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	1.00
15.01 A 25	1.50

TABLA 6. Altura total y ancho de corona mínimo.

2.11.5.- 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

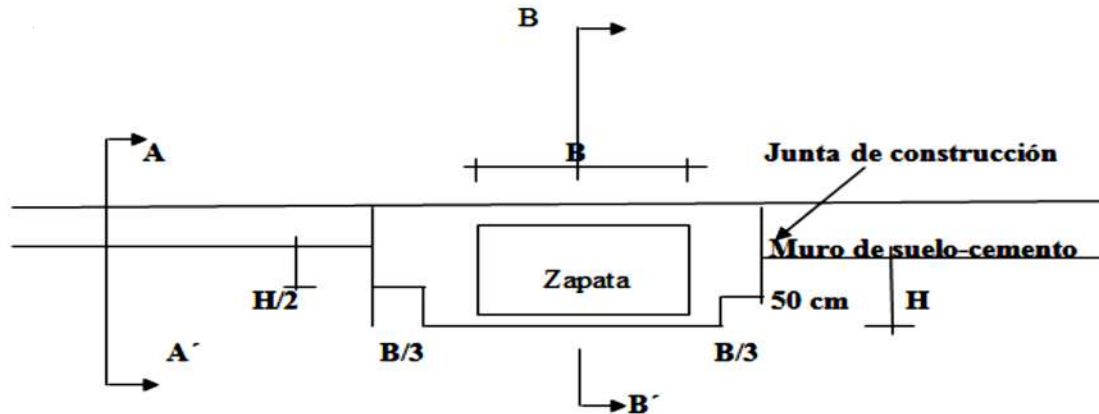


FIGURA 12. Corte de armado de zapata.

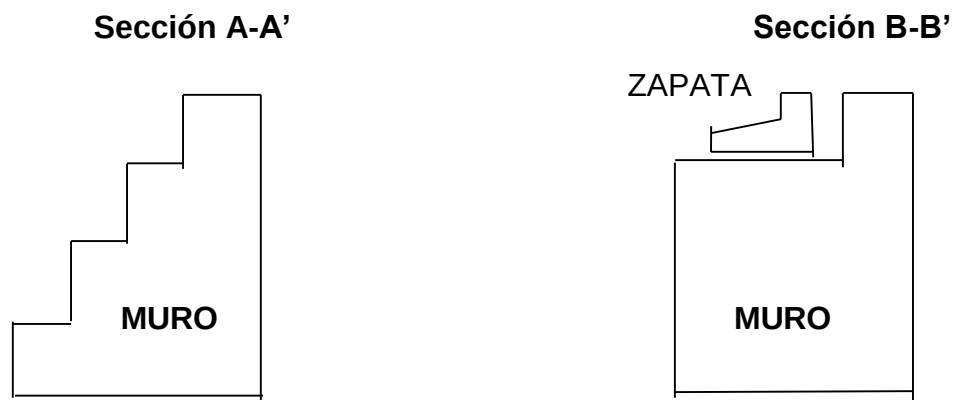


FIGURA 13. Corte en muro de contención y zapata.



2.11.6.- Profundidad de despalme.

La base del muro se empotrará la distancia del 15 % de su altura total, 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 queda apoyada sobre: capa vegetal, relleno suelto, escombros, 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 aras 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	0.50
3.01 A 6	0.75
6.01 A 10	1
10.01 A 15	1.50
15.01 A 20	2
20.01 A 25	2.50

TABLA 7. Profundidad de despalme.



Sera 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.

2.11.7.- 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

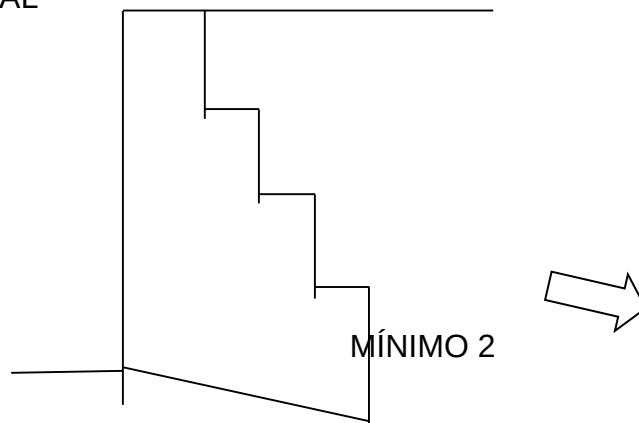


FIGURA 14. Corte transversal.

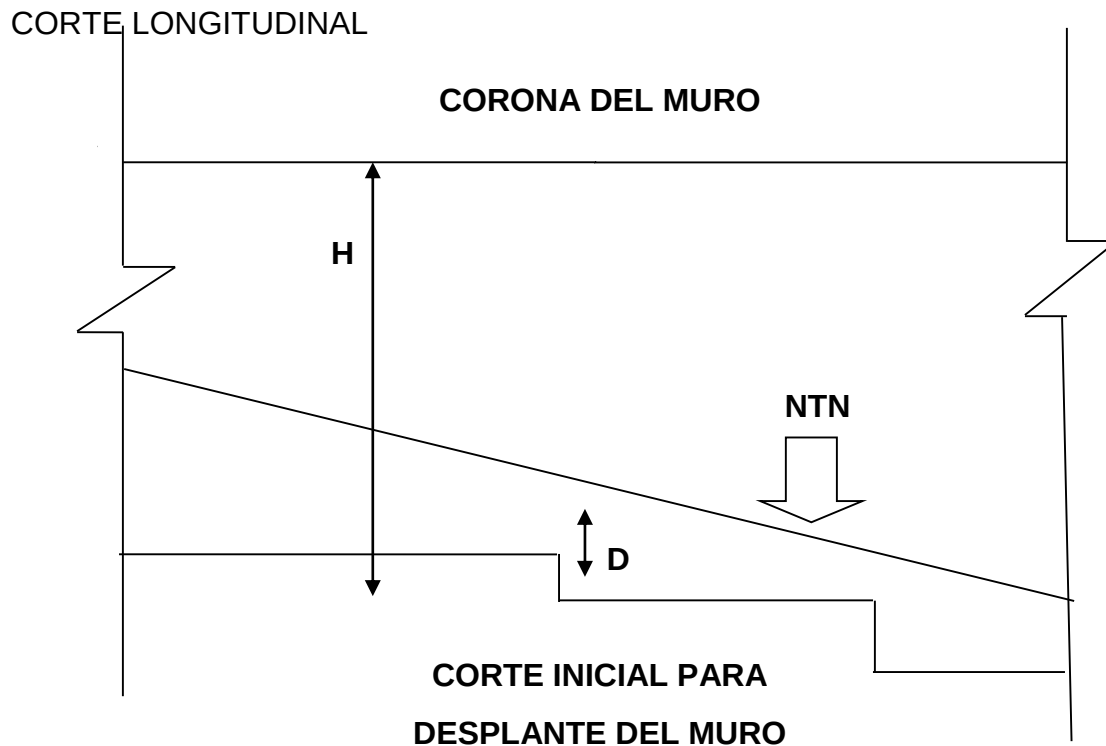


FIGURA 15. Corte longitudinal del muro de contención.

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 instalara la cimbra que sea necesaria para la colocar los tramos superiores del mismo muro.

2.11.8.- 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.

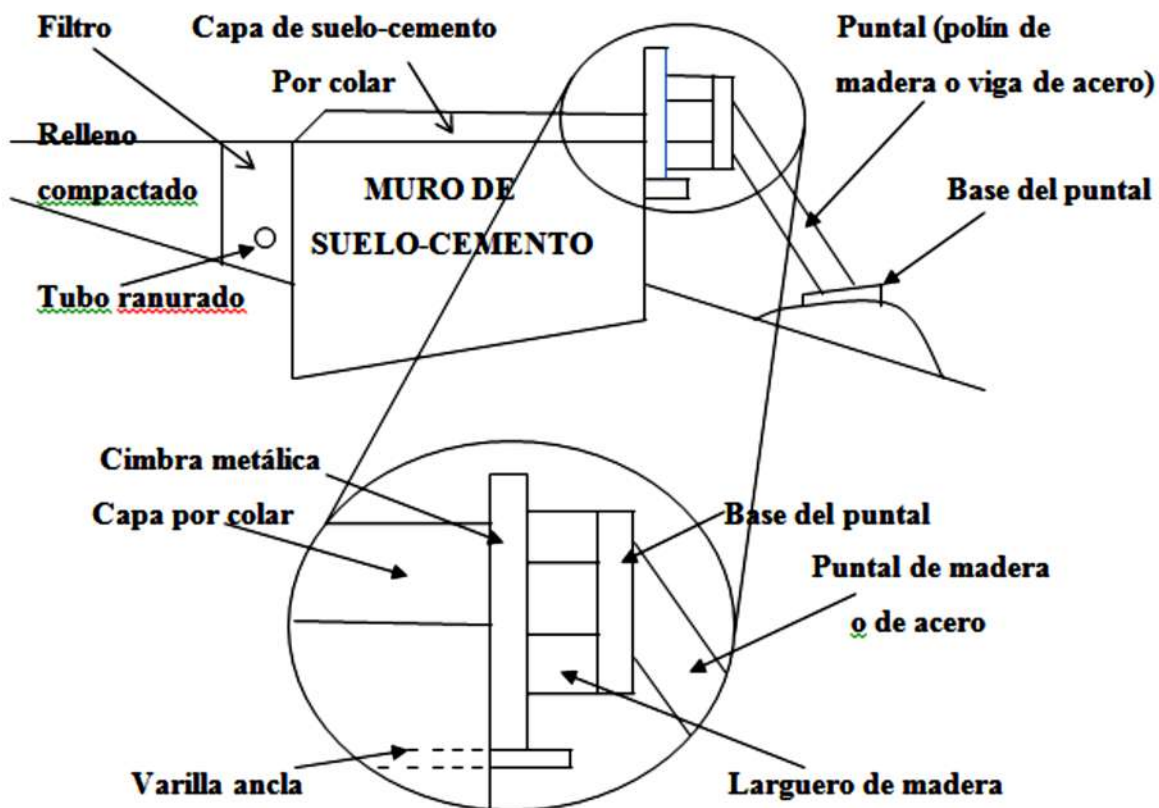


FIGURA 16. Armado de la cimbra.

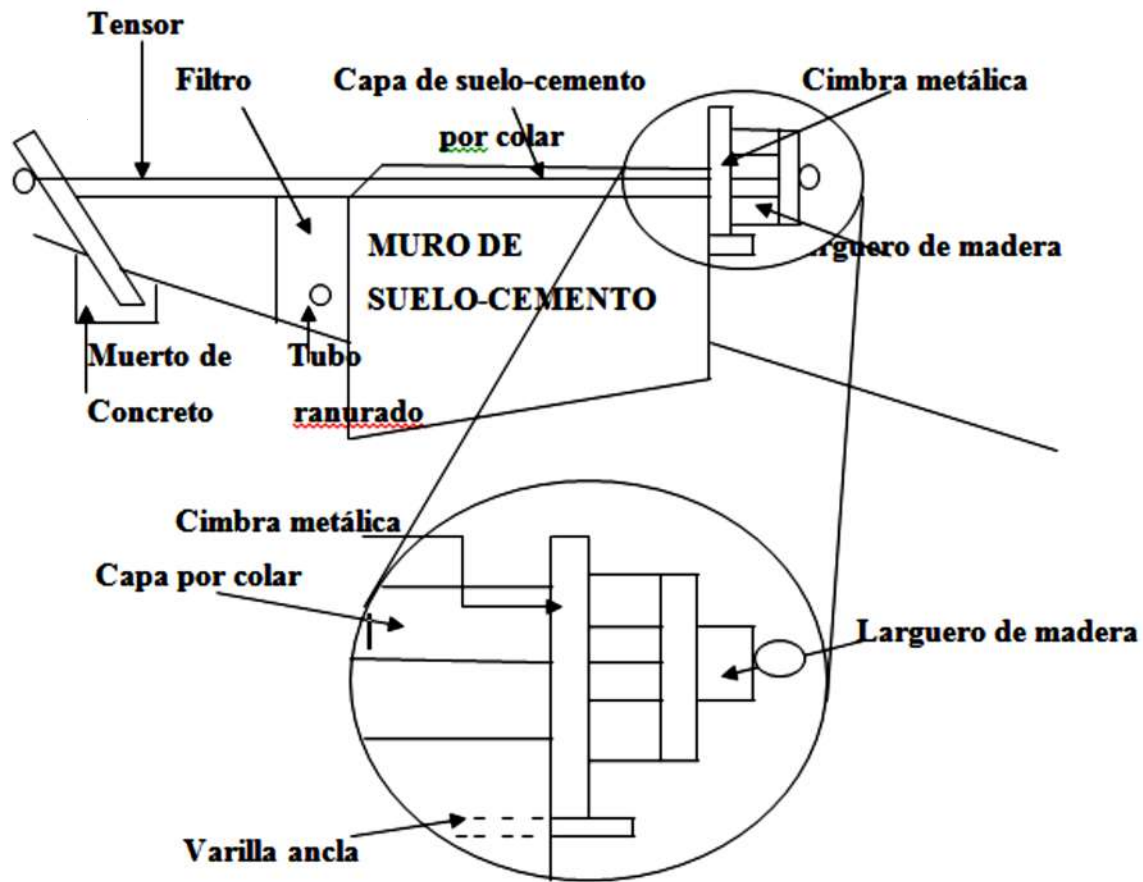


FIGURA 17. Armado de la cimbra.

Se utilizará una cimbra metálica o de madera la cual se apoyará sobre el extremo de las varillas ancla que se mencionan en el último inciso. 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 fijará 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.

2.12.- FABRICACIÓN DEL SUELO-CEMENTO 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 cubico 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 cubico 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 colocara la mezcla de suelo-cemento y agua dentro de la excavación hasta que quede nuevamente rellena. Las capas así colocadas 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 bastara 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.

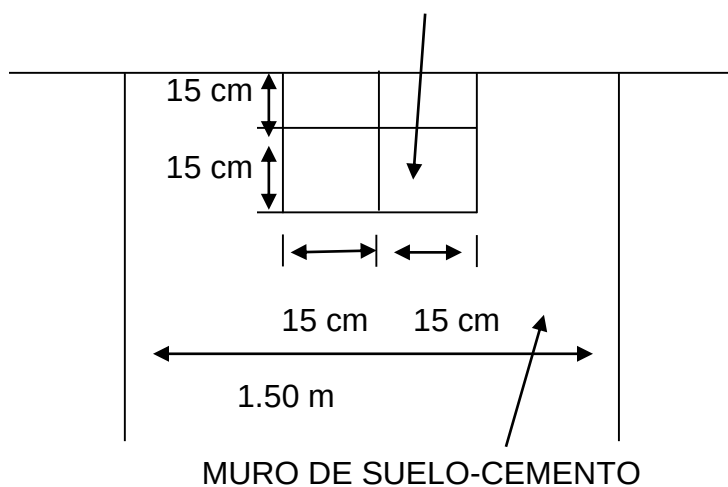


FIGURA 18. Colocación de polines.

2.12.1.- 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 desplantará 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. 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 figura anterior); 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.

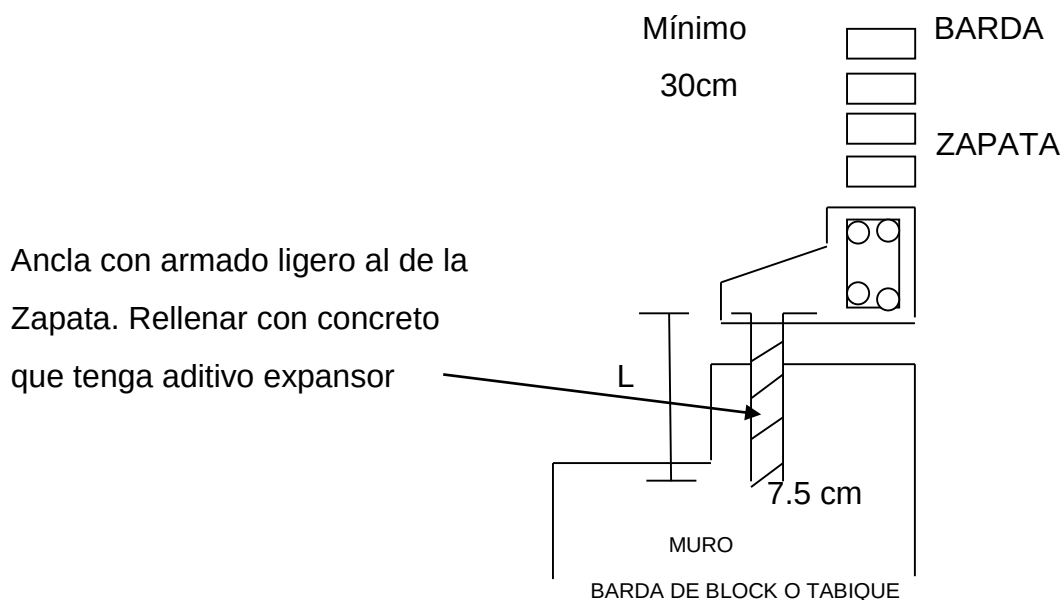


FIGURA 19. Anclaje de zapata.

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, ya que 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. 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 siguiente).

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. Altura, deberá consultarse con el ingeniero especialista en estructuras la longitud óptima para dicho empotramiento.

POSTE DE LA MALLA

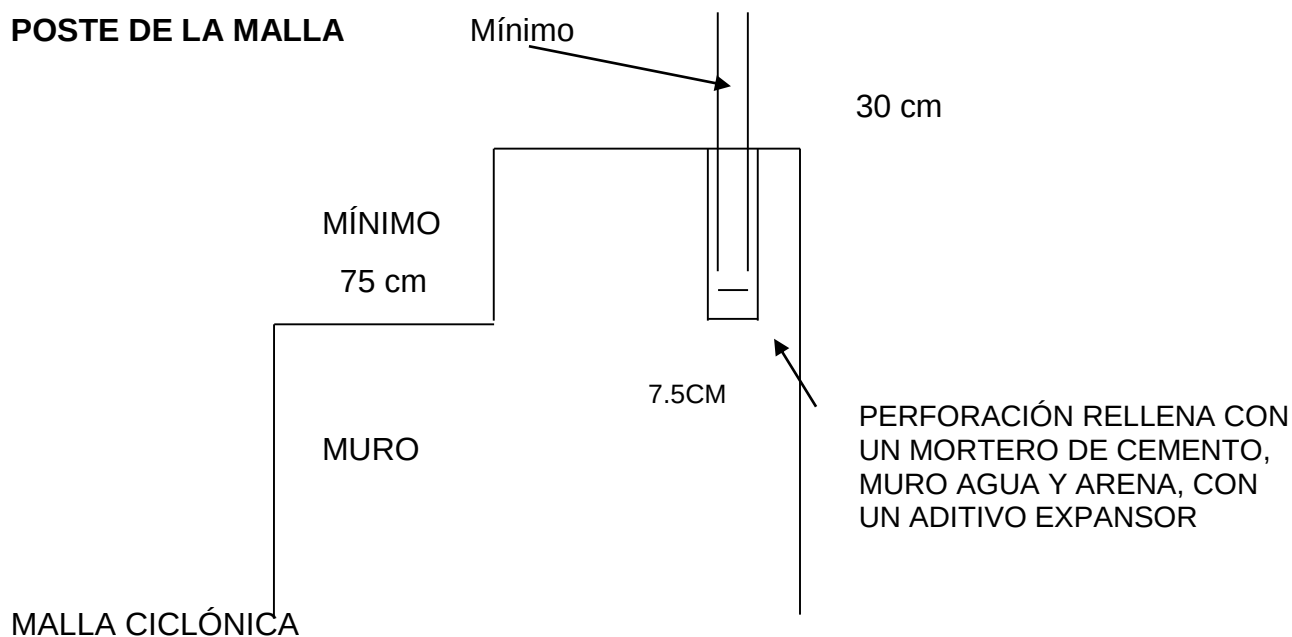


FIGURA 20. Detalle de armado.



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.

2.12.2.- 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 bolsas de plástico húmedas y cerradas: los cilindros se descimbrarán a las 24 horas de su fabricación y se mantendrán con un curado en las bolsas de plástico muy húmedas 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.

2.12.3.- 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 a fuertemente cementados de cualquier tipo.

También deberán construirse juntas verticales en los sitios donde el muro soporte la presión de algún cimiento como se mostró esquemáticamente en las figuras 2 y 3 de esta tesis y en todos los lugares donde la sección transversal del muro cambie.

2.12.4.- Varillas ancla.

Se colocaran varillas corrugadas de acero de 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 90º 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 quedaran distribuidas en tresbolillos. La longitud de estas varillas (sin incluir el doblez 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.

2.12.5.- 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 y siempre será vertical, partiendo del talón del muro.

El sistema consiste de un producto geosintético conocido 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.

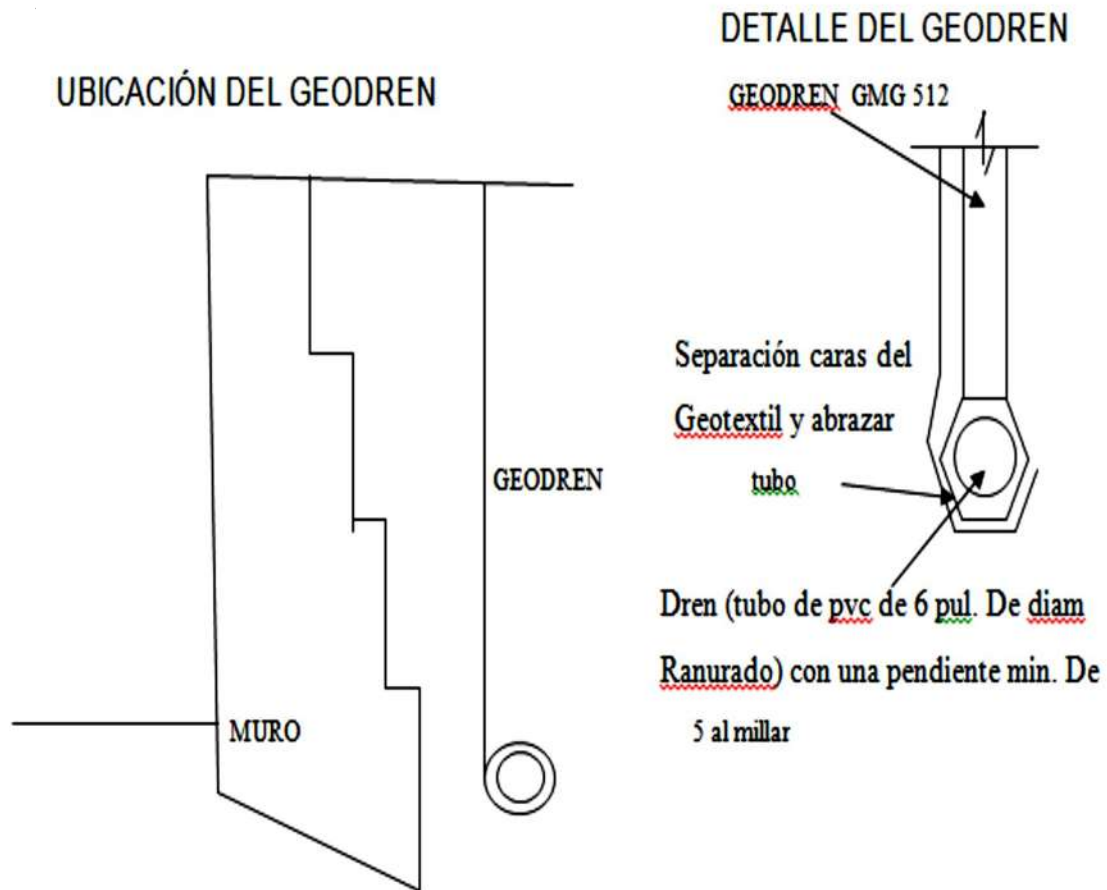


FIGURA 21. Detalle constructivo del geodren.



2.13.- 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 22). 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.

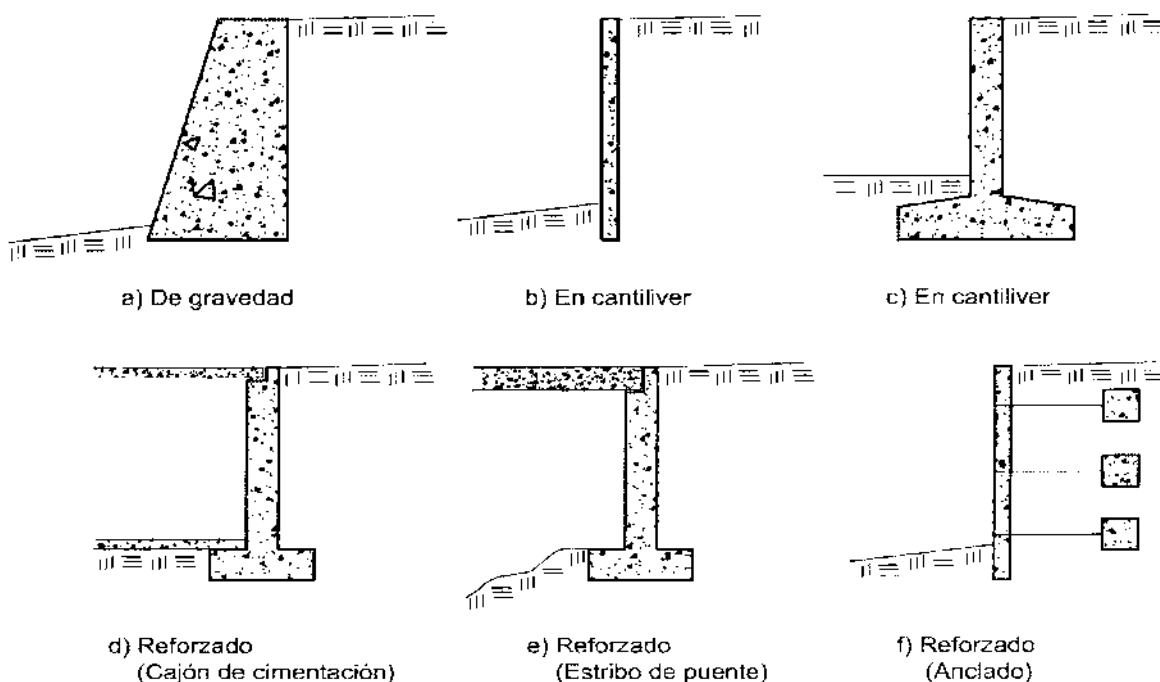
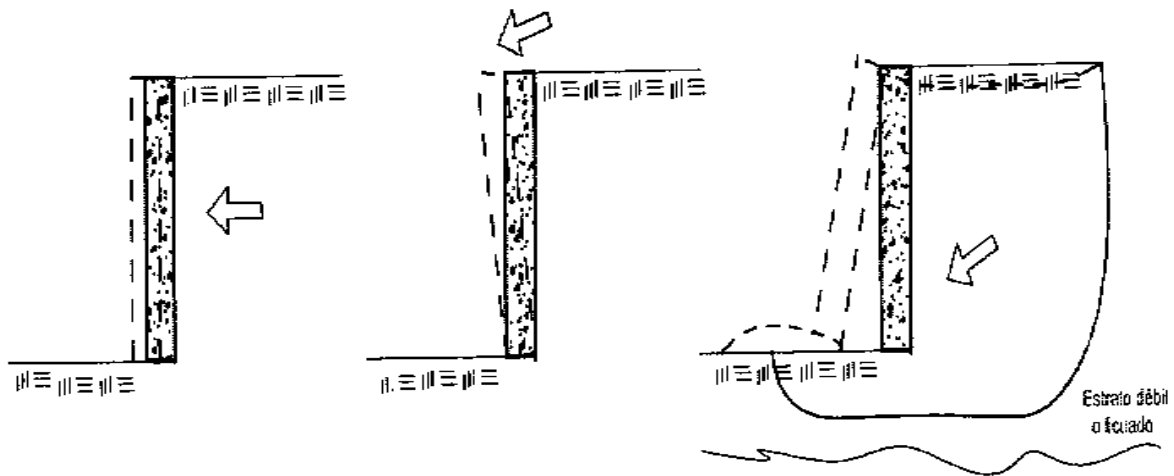


FIGURA 22. Modelos comunes de muros de contención.



Los muros de gravedad fallan generalmente por mecanismos de cuerpo rígido tales como deslizamiento, volteo o por inestabilidad total (Figura 23). 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). 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. 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.



a) Deslizamiento o traslación

b) Volteo o rotación

c) Inestabilidad total

FIGURA 23. 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 24 a y b). Si el momento flexionante excede la resistencia a la flexión del muro ocurre la falla por flexión (Figura 24 c).

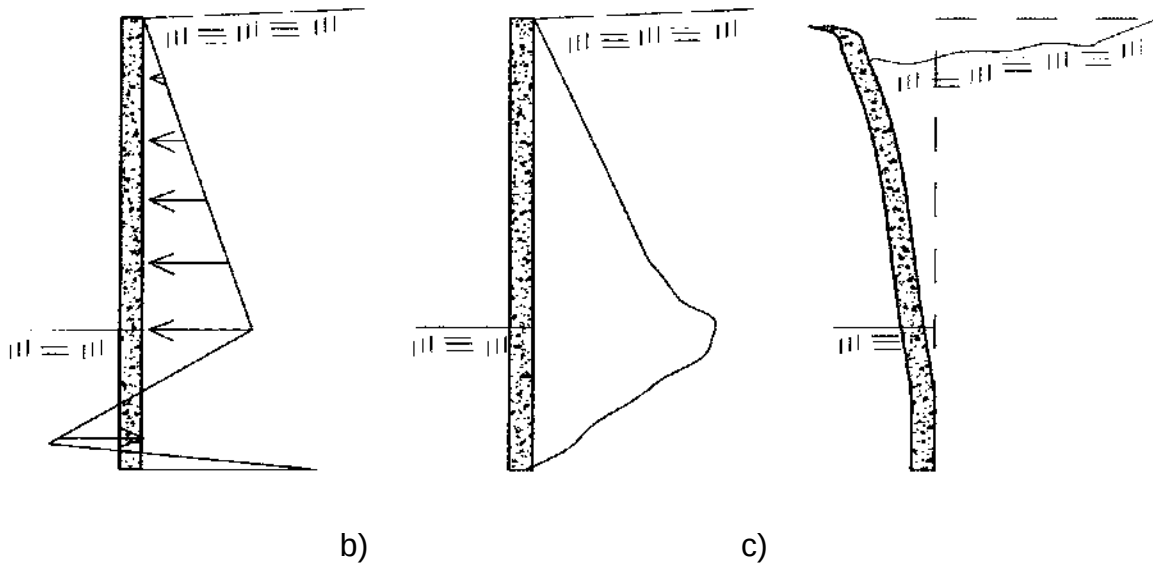


FIGURA 24. (a) Presiones del suelo, (b) momentos flexionantes, (c) mecanismo de falla por flexión en muros en cantiliver.



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 25 a). Los muros anclados con una penetración inadecuada pueden voltearse "pateando" la base (Figura 25 b). Asimismo, como en el caso de los muros en cantiliver, los muros anclados también pueden fallar por flexión (Figura 25 c). Actualmente, existen un gran número de aproximaciones simplificadas para evaluar cargas estáticas en muros de contención, como las teorías de Rankine, Coulomb, etc.

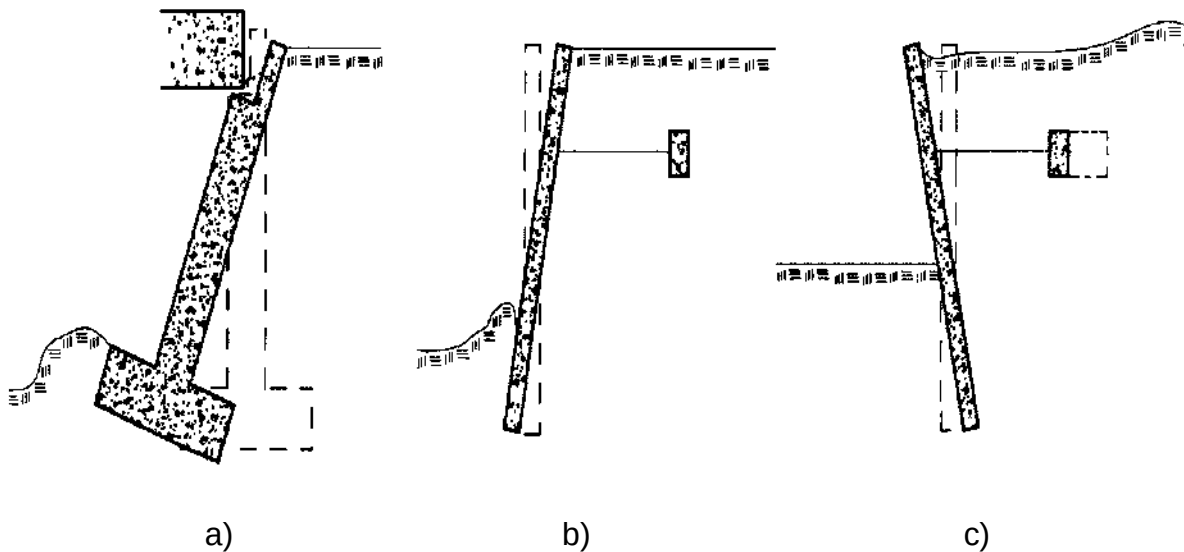


FIGURA 25. Modos de falla potencial de muros reforzados: (a) rotación del estribo del puente en torno a la superior, (b) rotación de la tablaestaca anclada debido a la falta de resistencia pasiva (pateo), (c) capacidad de anclaje inadecuado.



2.14.- METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

El presente trabajo está estructurado en tres etapas:

1ra. Etapa. Se realizarán los trabajos de campo como son muestreo de los materiales en diferentes bancos de materiales para saber cuál es el más óptimo para nuestro trabajo, para la determinación de la calidad del material.

2da. Etapa. Consiste en la realización de los trabajos de laboratorio, como son la realización de las pruebas para determinar las propiedades, índice y la calidad del materia (humedad, granulometría, límites de consistencia, etc.) y la preparación de especímenes con diferentes cantidades de cemento a las que se dejan curar durante 3, 7, 14 y 28 días y finalmente determinar la resistencia a la compresión simple de cada uno de los especímenes ensayados.

3ra. Etapa. Se realizarán procedimientos y ensaye de laboratorio, así, como el análisis y caracterización de los resultados, conclusiones, biografía, referencias y la terminación de la tesis.

2.14.1.- Construcción.

Aunque las razones del éxito obtenido son varias, se deben destacar dos de carácter primordial: el máximo uso del material local más barato, el suelo y su máxima y simple ejecución. Como su masa está formada en gran proporción, el 90% término medio, por suelos del lugar o que se extraen de los alrededores, y el resto, 10% aproximadamente, integrado por cemento portland, las inversiones para la adquisición y movimiento de materiales son menores que la de cualquier otro mejorado, pues aquéllos con materiales granulares que demandan, en general, el transporte desde largas distancias, de grandes cantidades de agregados, los cuales se degradan con el tiempo, al no tener ningún elemento que actúe como ligante. La utilización del suelo del lugar y la simplicidad de los métodos constructivos,



configuran las condiciones ideales para que la construcción de los mejorados del suelo-cemento pueda llevarse a cabo con gran celeridad.

El rendimiento diario de un equipo corriente es del orden de los 1800 m² a 2000 m² de 15 cm de espesor y no se requiere mano de obra especializada. La construcción de mejorado de este tipo se inicia con la escarificación y pulverización del suelo del lugar, luego se distribuye el cemento y se mezcla uniformemente con el suelo pulverizado; la operación siguiente consiste en agregar el agua necesaria para obtener la humedad óptima y finalmente se procede a compactar y terminar el pavimento. El equipo que se emplea se compone de tractores, escarificadoras, arados, rastras de discos, moto-niveladores, rodillos “pata de cabra” y neumáticos; también pueden usarse pulverizadoras y mezcladoras de diseño especial que reemplazan a las rastras de discos.

2.14.2.- Resistencia mecánica.

Una mezcla satisfactoria de suelo-cemento posee resistencia suficiente, con cualquier cantidad de agua que pueda absorber, para soportar las tensiones causadas por las cargas normales de tránsito. Además es capaz, por su bajo módulo de elasticidad, de admitir elevadas cargas sin peligro de rotura cuando se apoya sobre sobantes de buena calidad.

2.14.3.- Costos de conservación.

El bajo costo de conservación de los mejorados de suelo-cemento se ha comprobado por la experiencia obtenida de las obras. El estudio del conjunto de la información arroja excelentes resultados, particularmente en comparación con la experiencia común en la construcción de otros caminos de bajo costo inicial.



2.14.4.- Formulación.

El suelo-cemento 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 ha sido mezclado y compactado, se inicia la acción del cemento que, provoca el endurecimiento de la masa.

2.15.- 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.



2.15.1.- 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 7. Clasificación del cemento.

De acuerdo a sus características especiales, estos pueden ser:

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

TABLA 8. Características del cemento.

De acuerdo a su resistencia, estos pueden: 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).



2.16.- TIPOS DE CEMENTOS.

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, grabas, mármol, cantera etc., así como los pigmentos y aditivos, siempre que se usen con los cuidados y dosificaciones que recomienden sus fabricantes.



FIGURA 26.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 27.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 28.Cemento Portland Compuesto.



- 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 29. Cemento Portland Compuesto Blanco CPC30RB.



- Cemento Portland Resistente a los SulfatosCPP30RS.

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 30. 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: junteo 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 31. Cemento Mortero.



2.17.- 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 inferiores a los 2 m. o que lo mezclaron con capas superficiales del sitio.



FIGURA 32. Suelo de tepetate. (Arena limosa) sin materia vegetal.

2.18.- 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 33. Agua limpia y libre de materia orgánica.



2.19.- ADITIVO MAXE-H.

Es un Petrificador el cual transforma el suelo en roca a diferencia de otros aditivos este continúa trabajando hasta alcanzar una gran confinación de partículas y asiendo de esto una roca sólida.



FIGURA 34. Bulto de aditivo Maxeh

2.20.- VENTAJAS COMPARATIVAS.

Los muros de contención a base de suelo cemento 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 (curado) en un aproximado de 5 horas para descimbrarlo, después de quitar la cimbra solo es necesario un mínimo aplanado con pasta o yeso para el terminado. No se requiere el uso de arena, ni de grava. El secado (curado) es en menor tiempo que los demás materiales de construcción, lo que produce ahorros sustanciales en tiempo y dinero.



A continuación se muestra una tabla comparativa de costos, para la elaboración de 1m^3 de suelo cemento con una $F'c=25\text{ kg/cm}^2$ contra 1m^3 de concreto con una $F'c=150\text{ kg/cm}^2$, en la cual se puede observar que el costo del suelo cemento es mucho menor al de concreto con un porcentaje económico del 40 al 50 %.

1 m ³ suelo cemento	$F'c=25\text{ kg/cm}^2$	1 m ³ Concreto	$F'c=150\text{ kg/cm}^2$
2.5 bultos de cemento	\$270.00	6.5 bultos de cemento	\$702.00
Considerando	Botes de (19 lts)	27.5 botes de arena	\$220.00
70 botes de suelo (tepetate)	\$172.00	32.5 botes de grava	\$260.00
27 botes de agua	\$20.52	12.5 botes de agua	\$9.50
1 kg aditivo (\$80/kg)	\$80.00		
TOTAL	\$542.52	TOTAL	\$1191.50

TABLA 9. Tabla comparativa de costos.

En la presente investigación se obtuvo como resultado que los materiales ofrecidos por el mercado, el más adecuado en base a sus características de costo-calidad es el de suelo-cemento.



3.- PROCEDIMIENTO Y ENSAYES REALIZADOS.

3.1.- MUESTREO DEL MATERIAL.

3.1.1.- Banco de materiales.

El número de muestras que se obtengan dependen de la homogeneidad del suelo y finalidad del estudio.

Se tomará una serie de muestras divididas en todo el frente del material procedente de banco mencionado en esta tesis, recomendado e inspeccionado por el Ing.Arq. Eduardo Obregón Peña, director de Maxeh Internacional de México S.A. de C.V.

Eliminando la superficie intemperizada para tomar la muestra. La muestra obtenida se almacenó en costales para facilitar su traslado, llenándolos manualmente con pala de albañil. La cantidad de material obtenido fue de 10 costales equivalente a 0.16 m^3 aproximadamente.



FIGURA 35. Banco de materiales de San Miguel de Allende.



FIGURA 36. Muestras de aplicaciones en la visita a San Miguel de Allende.



FIGURA 37. Muestreo del material proveniente del banco de materiales de San Miguel de Allende.

El material que se utilizó en este proyecto de investigación, se obtuvo del banco de material de la ciudad de San Miguel de Allende, en el estado de Guanajuato, ubicado al oriente dentro del Fraccionamiento La luz. 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.- GRANULOMETRÍA.

OBJETIVO.

El objetivo de esta prueba es de separar por tamaños las partículas del suelo, pasando a través de una serie de mallas de aberturas distintas y de forma cuadrada y pesar el material retenido en cada una de ellas, expresándolo 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 4,8,10,16,20,30,40,50,60,100 y 200.

EQUIPO:

Un juego de mallas del N° 4,8,10,16,20,30,40,50,60,100, 200 y charola con su respectiva tapa.

- Una balanza DE 20 kg de capacidad y aproximación al décimo de gramo.
- Charolas, espátulas.
- Cucharon de lámina.
- Cepillo de cerdas de alambre.
- Cepillo de cerdas de alambre delgado.
- Desecador de cristal.



-Procedimiento.

Se toma una muestra representativa de tepetate previamente secado al sol.



FIGURA 38. Proceso de secado al sol del material en estudio.

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



FIGURA 39. Cuarteo del material a estudiar.



El material (tepetate) es secado en horno a una temperatura de no mayor de 110°C . Cuando el material está seco y frío, se toman 300 gr, pesados al décimo de gramo.



FIGURA 40. Material pesado.

Se colocan las mallas en orden decreciente de la N° 4,8,10,16,20,30,40,50,60,100, 200 y charola, se coloca la muestra de 200 gr y se tapa.



FIGURA 41. Colocación del material en las mallas.



El material (tepetate) se criba en un juego de mallas (de la malla No. 4 a la 200) durante un tiempo de 10 min. Como mínimo, el cribado puede ser mecánico en un agitador metálico del tipo ro-tap (agitador mecánico) como se muestra en la figura 25 o a también puede ser manual.



FIGURA 42. Cribado del material manualmente.

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 las mallas 4, 8, 10, 16, 20, 30 y 40 para desalojar el material que se encuentra entre los espacios de la malla, mientras que las mallas 50, 60, 100 y 200 se limpiara con cepillo de cerdas.



FIGURA 43. Peso del material retenido en las mallas.



En una superficie horizontal y limpia se colocan hojas de papel y sobre ellas se coloca el material retenido en cada una de las mallas previamente pesado.

Una fracción que pasa por la malla N°4 se cuartea, para obtener un equivalente a 200 gr. de material seco.

Se coloca la muestra en un vaso metálico y se agrega agua hasta tres cuartas partes del vaso, dejando en reposo durante 12 horas.

Después se lava la muestra a través de la malla N°200. El lavado se hará agitando el contenido del vaso con varilla durante 15 seg, moviéndola en forma de 8 y dejando reposar el contenido durante 30 seg. Para facilitar el paso de las partículas finas deberá aplicarse sobre un chorro de agua a baja presión.

Se repite la operación antes mencionada hasta que el agua salga clara. Se agrega en un vaso metálico el material que se haya retenido en la malla N°200, utilizando un poco de agua.

Se seca el material en el mismo vaso metálico, dejándolo en el horno durante 12 horas, a una temperatura de 105°C.



3.3.- LÍMITES DE CONSISTENCIA.

Como se mencionó anteriormente, los límites de consistencia corresponden a la segunda etapa del procedimiento a realizar para esta investigación.

OBJETIVO.

Conocer las características de plasticidad de la porción de suelo cuyos resultados se utilizan principalmente en clasificación de los suelos.

3.3.1.- Determinación del límite líquido.

EQUIPO:

- Cápsula de porcelana de 12 cm de diámetro.
- Espátula con punta redondeada.
- Copa de Casagrande.
- Balanza.
- 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 44. 250 gr. De material cribado por la malla N° 40.



FIGURA 45. Saturación de la muestra con agua destilada y puesta en reposo por 24 horas.



PROCEDIMIENTO.

Se toma una muestra de 150 gr. del material preparado se coloca en una cápsula de porcelana y se procede a homogenizar la humedad con la espátula.



FIGURA 46. Homogenización del material en la capsula.

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 cápsula.



FIGURA 47. Material colocado en la copa de Casagrande.

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



FIGURA 48. Ranura en el centro de la copa da Casagrande.

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 lograda lo anterior se toma aproximadamente 10 gr. del material de la porción cerrada de la ranura y se coloca en una capsula, para obtener el contenido de agua.



FIGURA 49.10 gr. del material es pesada para obtener el contenido de agua.

El resultado para esta prueba fue inapreciable por lo que algunos de los siguientes procedimientos no se realizaron solamente se mencionaran.



3.3.2.- Determinación del límite plástico.

OBJETIVO.

El límite plástico en el suelo se define como el mínimo contenido de agua de la fracción que pasa la malla N° 200, para que se puedan formar con ella cilindros de 3 mm sin que se rompan.

EQUIPO:

- Cápsula de porcelana
- Espátula con punta redondeada
- Placa de vidrio
- Balanza
- Horno

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, ya sea con los dedos en la palma de la mano o sobre una placa de vidrio, hasta formar cilindros.

LP=INAPRECIABLE.



3.3.3.- 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:

$$IP = LL - LP$$

Dónde:

IP= Es el índice plástico

LL= Es el límite líquido

LP= Es el límite plástico

IP= INAPRECIABLE.



3.3.4.- Determinación de la contracción lineal.

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.

EQUIPO:

- Cápsula de porcelana
- Espátula con punta redonda
- Moldes de lámina galvanizada, con sección 2 por 2cm y 10 cm de longitud.
- Calibrador
- Horno

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

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.



FIGURA 50. Capsula para contracción lineal.

Se enrasa el material en el molde utilizado con la espátula, después 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 medida de la barra del material seco y la longitud interior del molde.



FIGURA 51. Muestra en el molde enrazado.

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

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

Dónde:

CL= Contracción lineal.

Li = Longitud inicial de la barra del suelo húmedo.

Lf = Longitud media de la barra del suelo seco.



FIGURA 52. Muestra seca y contraída.

$$CL = \frac{10.19 - 10.11}{10.19} * 100$$

CL= 0.78% Aproximado a cero.



3.3.5.- 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.

EQUIPO:

- Plato de evaporación de porcelana.
- Espátula o cuchillo.
- Molde cilíndrico.
- Regla de enrase.
- Taza de vidrio.
- Placa de vidrio.
- Probeta.
- Balanza.
- Mercurio.

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

1. Se coloca una porción del suelo húmedo en el molde en el centro y extenderlo hasta los bordes.
2. Golpear hasta que el suelo este compactado.
3. Repetir las operaciones anteriores hasta que el molde este completamente lleno. Enrasar y limpiar el molde para evitar restos de suelo al exterior del molde.
4. Secar en horno.



5. Pesar el molde con suelo seco. Restar el peso del molde determinando el peso del suelo seco (W_s).
6. Llenar la taza con mercurio hasta el borde, enrasar presionando con la placa de vidrio.
7. 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.
8. Obtener el volumen del mercurio desplazado por la pastilla de suelo, esto se pesa y se divide por la densidad del mercurio ($\gamma_{Hg} = 13.55 \text{ g/cm}^3$) registrarlo como volumen de la pastilla de suelo seco (V_s).

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

$$W = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100$$

Donde:

W = Humedad del suelo

W_h = Peso del suelo húmedo

W_s = Peso del suelo seco



El límite de CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA, se calcula con la fórmula siguiente.

$$W_c = W - (V_h - V_s) \times 100$$

Donde:

W_c = Límite de contracción.

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

V_h = Volumen de la pastilla del suelo húmedo.

V_s = Volumen de la pastilla del suelo seco.

γ_w = Densidad del agua.

W_s = Peso del suelo seco

C_v = INAPRECIABLE.



3.4.- DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SUELO SUELTO (P.V.S.S).

OBJETIVO.

Obtener la cantidad de suelo en kilogramos que se puede lograr por metro cúbico, 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/m³. Cálculo del peso volumétrico del material seco suelto.

$$PVSS = (W_{mr} - W_r) / V$$

Dónde:

W_{mr} = Peso del material + el peso del recipiente.

W_r = Peso del recipiente.

V = Volumen del recipiente.

EQUIPO:

-Cucharón

-Recipiente

-Balanza

PROCEDIMIENTO:

1. Con el suelo es secado al sol previamente, se forma un cono para homogenizar el material, se esparce y se cuarteo.
2. Con un cucharón 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.



3. Se pesa el recipiente con el material y se registra su peso.
4. Se calcula el peso volumétrico del material seco y suelto, con la ecuación antes mencionada.

Para la determinación del P.V.S.S se vierten tres capas de suelo en un recipiente, se enrasa y posteriormente se pesa. Luego se pesan 200 grs de suelo, es secada en estufa y posteriormente se pesa. Así se determinará el peso de la muestra, el peso del sólido y el peso de agua.



FIGURA 53. Material para P.V.S.S.



FIGURA 54. Llenado uniforme del recipiente.



FIGURA 55. Enrase del recipiente.



FIGURA 56. Peso del material para la obtención del P.V.S.S.



Para conseguir un dato más exacto del P.V.S.S. se realizara tres veces el análisis y se obtendrá un promedio de los resultados.

$$V=0.01054 \text{ m}^3.$$

$$W_{mr1}=0.01433 \text{ ton.}$$

$$W_{mr2}=0.01454 \text{ ton.}$$

$$W_{mr3}=0.01468 \text{ ton.}$$

$$P.V.S.S._1=0.014330 / 0.01054 = 1.3595 \text{ ton/m}^3.$$

$$P.V.S.S._2=0.014545 / 0.01054 = 1.3799 \text{ ton/m}^3.$$

$$P.V.S.S._3=0.014680 / 0.01054 = 1.3927 \text{ ton/m}^3.$$

$$P.V.S.S. \text{ (promedio)}= (1.3595+1.3799+1.3927)/3$$

$$\mathbf{P.V.S.S.= 1.38 \text{ ton/m}^3.}$$

3.4.1.- Porcentaje de humedad.

PH= Peso húmedo de la muestra.

PS= Peso seco de la muestra.

$$\% \text{HUMEDAD} = \frac{PH - PS}{PS} * 100$$

$$\% \text{HUMEDAD} = \frac{200 - 195.7}{195.7} * 100$$

$$\mathbf{\% \text{HUMEDAD} = 2.15\%}$$



3.5.- SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.

DIVISIÓN MAYOR			SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 ⊕	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4	GRAVAS LIMPIA Poco o nada de partículas finas	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD C_u : mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA C_c : entre 1 y 3. $C_u = D_{60} / D_{10}$ $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	
		GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de	* GM d u	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.
			GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4	ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	$C_u = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3.
			SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	
		ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas.	* SM d u	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.
			SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.
					Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
					de símbolos dobles.
SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 ⊕	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50		ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo C – Arcilla, W – Bien Graduado, P – Mal Graduado, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad
			CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	
			OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.	
	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50		MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomeos, más elásticos.	
			CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas	
			OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.	
	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.	
	DETERMÍNESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla No. 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: GW, GP, SW, GP, SW, GP, SP; más del 12%; GM, GC, SM, SC. Entre 5% y 12%: Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles **				
	NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.				
	No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW				

FIGURA 57. Clasificación S.U.C.S.



3.6.- DENSIDAD DE SOLIDOS.

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.

EQUIPO.

- Malla No.4
- 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
- Bicromato de potasio.
- Molde de Latón o vidrio.



-Procedimiento de prueba.

Inmediatamente después de preparar la muestra que pasa la malla N°.4 utilizando el embudo, se introduce el material en el matraz previamente calibrado. Tres muestras con 50 gr de material cada uno. Posteriormente se llena el matraz con agua destilada hasta aproximadamente la mitad de su capacidad.

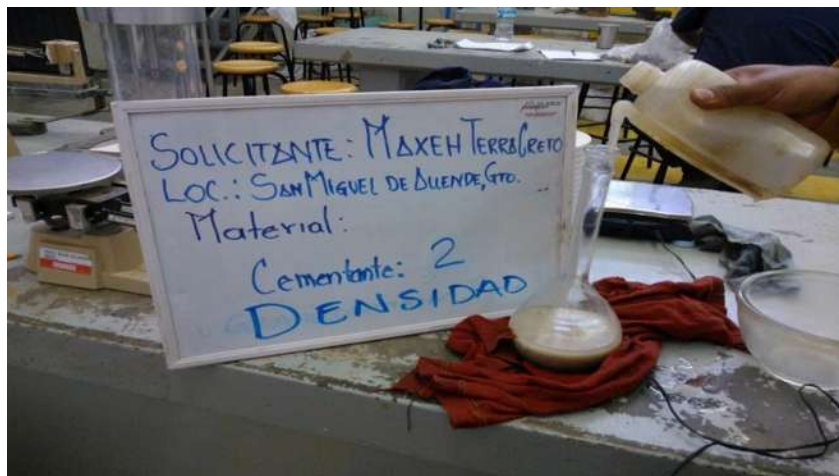


FIGURA 58. Llenado de los matraces con agua destilada.

Utilizando la Estufa o 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 59. Puesta del agua de los matraces en ebullición para facilitar la expulsión del aire atrapado.



Empleando el dispositivo de succión, se aplica vacío al matraz durante 15 minutos, con el objeto de extraer el aire atrapado en la muestra.

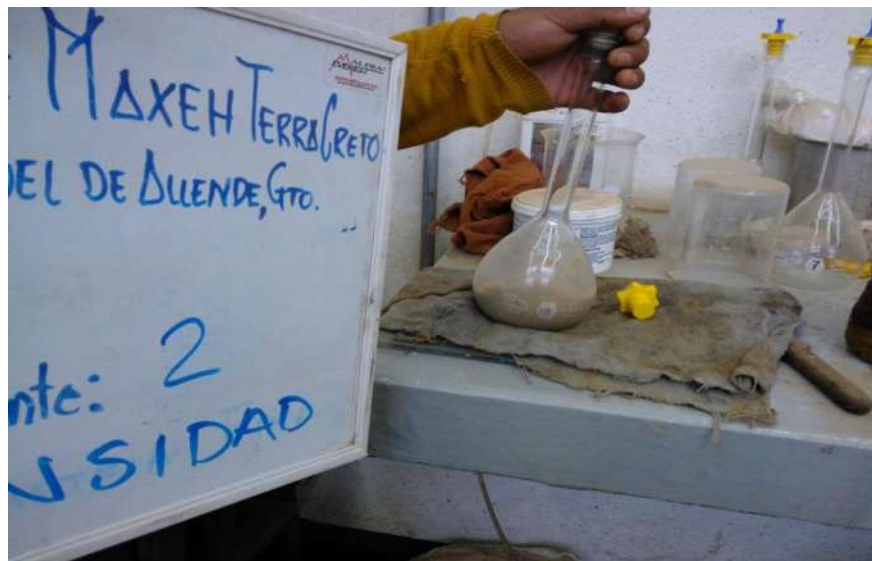


FIGURA 60. Puede observarse como se utiliza el dispositivo de succión, y la manera como brotan las burbujas de aire en las muestras.

Se deberá tener la precaución necesaria para no succionar demasiado la muestra ya que de lo contrario se tendrán pérdidas de material y será necesario repetir la prueba.

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.

Y en su caso 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. 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.

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 .

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.

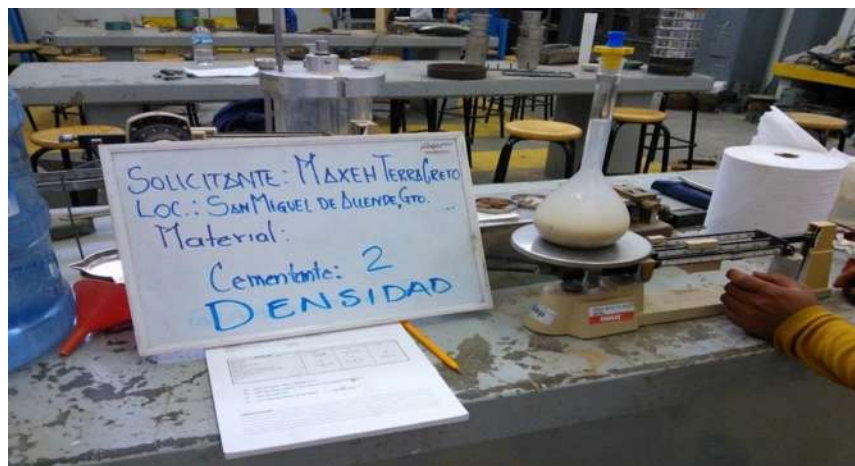


FIGURA 61. Muestra lista para pesarse después de haber estado en el horno y estar totalmente seca.



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} . Una vez realizados los cálculos los resultados en la siguiente tabla.

PRUEBA N°	1	2	3
Matraz N°	10	10	10
W_{fsw} (gr)	719.50	718.70	719.10
Temperatura (°C)	25.0 °	28.0 °	28.0 °
W_{fw} (gr)	688.83	688.38	688.38
Capsula de evaporación N°.	3	B	8
Peso Capsula muestra seca (gr)	702.50	809.20	702.80
Peso capsula (gr)	654.00	760.00	653.80
W_s (gr)	48.50	49.20	49.00
S_s	2.720	2.606	2.680
Promediando las pruebas tenemos:	2.669		

TABLA 10. Resultados para la densidad de sólidos.



3.7.- PRUEBA DE COMPACTACIÓN PROCTOR.

Esta prueba se realiza para determinar el peso volumétrico seco máximo (**Y_{dmax}**) y la humedad óptima del suelo en estudio (**$W_{opt.}$**).

EQUIPO:

- Molde en forma cilíndrica de diámetro según la variante a utilizar.
- Pisón según la variante a utilizar.
- Charola rectangular.
- Capsulas.
- Horno de $105 \pm 0.5^\circ\text{C}$.
- Balanza con capacidad mínima de 15gr y aproximación a 5gr y otra con aproximación a 1gr.
- probeta.
- malla N°4.
- Regla para enrasar.
- Cucharón.
- Vaso de aluminio.
- Agua.
- Aceite y brocha.
- Estopa para limpieza del molde.



PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

Después de su secado, disgregado y cuarteo, se separa una porción representativa de aproximadamente 4 kg. Para la variante **A** la cual será la de este caso en particular.



FIGURA 62. Cuarteo del material.



FIGURA 63. Peso de la muestra de 4kg.



-PARA NUESTRO CASO SE CRIBARA POR LA MALLA N°4 (4.7MM).

Las características de los pisones utilizados para el caso de esta tesis serán las estándar.

Para el caso de las variantes de esta prueba, se aplicaran de acuerdo a su tipo, se realiza compactando el material con el pisón y en el número de capas que se indica.

Tipo de prueba	Estándar	Modificada
Masa del pisón, kg	2.5±0.01	4.54±0.01
Número de capas del material	3	5
Diámetro del pisón, cm	50.8	50.8
Altura de caída del pisón, cm	30.5±0.1	45.7±0.1

Variante	A	B	C	D
Tamaño máximo del material, mm	4.75 (N°4)		19.0 (3/4")	
Tamaño de la muestra de prueba, kg	4.0	7.5	4.0	7.5
Diámetro int. Del molde, mm	101.6±0.4	152.4±0.7	101.6±0.4	152.4±0.7
Numero de golpes por capa	25	56	25	56

TABLA 11. Características del tipo de prueba y variantes de la prueba.

Para este caso se utilizara la prueba estándar y la variante A.



-Procedimiento de las pruebas.

1.- 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.



FIGURA 64. Muestra incorporación de agua al material.

2.-. En el caso de que se hayan formado grumos durante la incorporación del agua, se revuelve el material hasta disgregarlo totalmente. Se mezcla cuidadosamente la porción para homogeneizarla y se divide en 3 partes para la prueba estándar.



FIGURA 65. Muestra la 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 66. 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 67. Muestra el enrazado del molde.

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.

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 68. Extracción del cilindro.



FIGURA 69. Obteniendo la porción de material para obtener su contenido de agua.

7.- Se pesan algunas capsulas de aluminio y se anotan los pesos de estas después se vacía una porción de suelo húmedo a una de las capsulas la cual se pesa y se registra como: Peso de la capsula +suelo húmedo.

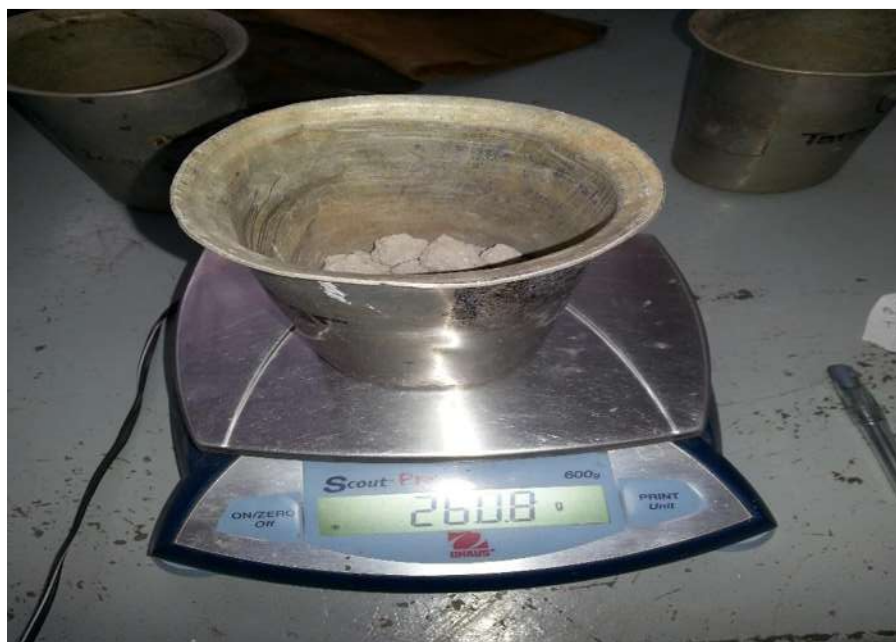


FIGURA 70. Peso de la porción del material.



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 71. Se colocan las porciones en el horno por 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.



-Datos de la prueba.

OPERADOR:		CALCULISTA:		FECHA: 13-02-2015	
OBRA: TESIS SUELO-CEMENTO FLUIDO			TIPO DE PRUEBA: VARIANTE A		
LOCALIZACIÓN: SAN MIGUEL DE ALLENDE GTO.		MOLDE N°: 04	VOL:933.13 cm³		PESO: 1950 gr
SONDEO:		ENSAYE N°: 1	P. MARTILLO: 2.5 K g		ALTURA CAÍDA: 30.5 cm
MUESTRA N°: 1		PROF: 0.90 m	N° DE CAPAS: 3		N° DE G. POR CAPA: 25

PRUEBA N°	1	2	3	4
Peso del molde + suelo húmedo (gr)	3375	3840	3845	3835
Peso del molde (gr)	1950	1950	1950	1950
Peso suelo húmedo (gr)	1775	1890	1895	1885
Peso específico húmedo (T/m ³)	1.9022	2.0254	2.0307	2.0200
Cápsula N°	6	Y	B	7
Peso cápsula + suelo húmedo (gr)	334.9	319.4	292.0	305.5
Peso cápsula + suelo seco (gr)	313.3	291.5	258.7	266.1
Peso del agua (gr)	21.6	27.9	33.3	39.4
Peso de la cápsula (gr)	94.3	95.0	91.8	98.3
Peso suelo seco (gr)	219.0	196.5	166.9	167.8
Contenido de agua (%)	9.86	14.19	19.95	23.48
Peso específico seco (T/m ³)	1.731	1.773	1.692	1.635
Relación de vacíos: e	-	-	-	-

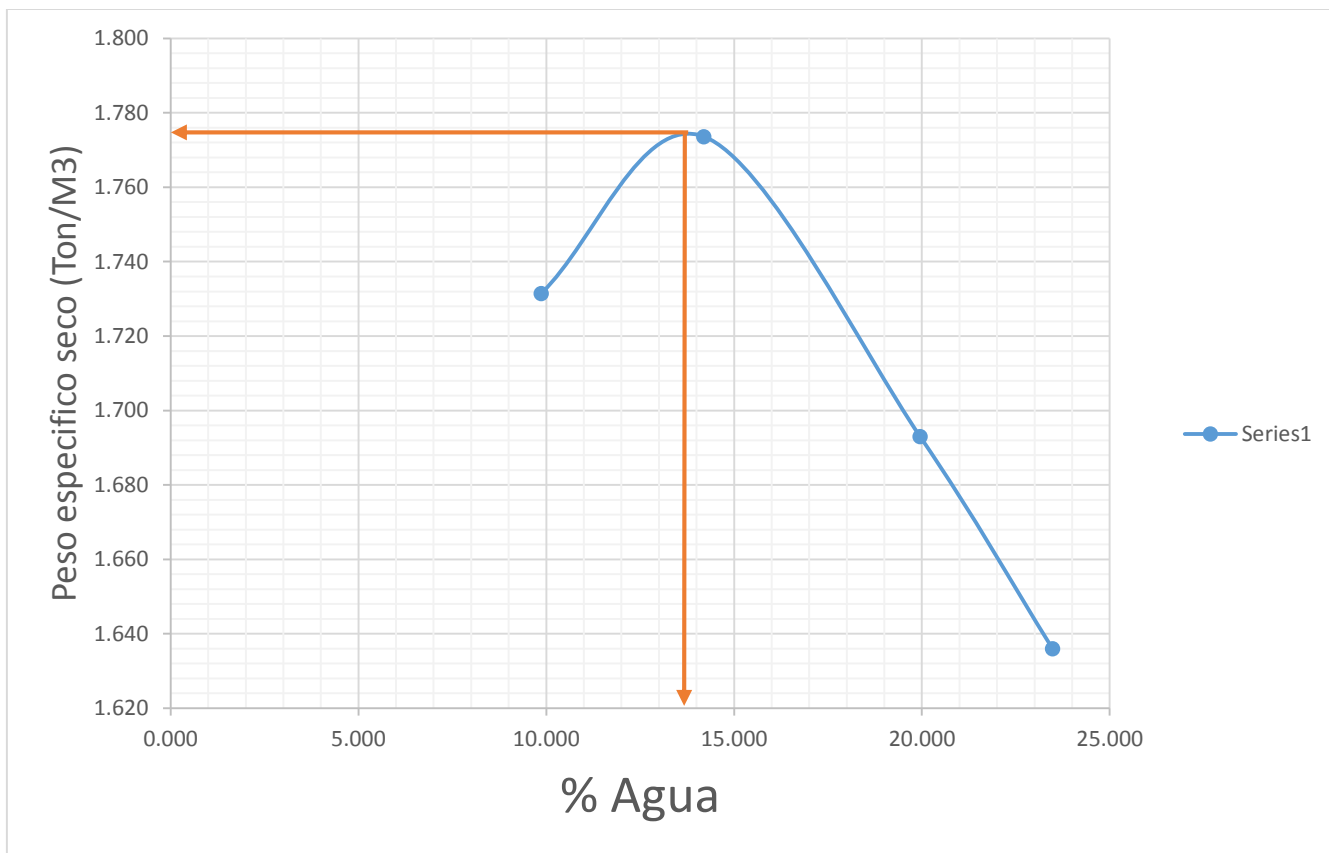
TABLA 12. Resultados de la prueba de compactación proctor.



Se graficó % de agua contra peso específico Yd. Para obtener el punto más alto de la gráfica y obtener los resultados óptimos.

Cant. Agua (ml)	% agua	Yd (ton/m3)
200	9.863	1.731
300	14.198	1.774
430	19.952	1.693
500	23.480	1.636

TABLA 13. Resultados a graficar.



GRAFICA 1. Parábola que presenta el material.

Ydmax. = 1.775 Ton/m³.

% agua optimo = 13.75%.



3.8.- PRUEBA DE COMPACTACIÓN PORTER ESTÁNDAR.

En esta prueba se determinará 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.

-Generalidades.

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 en 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 en la práctica siguiente donde es analizado precisamente este parámetro.

EQUIPO:

- 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 25.4 mm.
- Balanza con capacidad mínima de 20 kg y aproximación de 5 gr.
- Calibrador con vernier tipo máuser.



-Procedimiento.

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”.



FIGURA 72. Muestra el cribado y pesado de la muestra a utilizar.

2.- Se divide mediante cuarteo la porción que pase la malla de 1”, en 4 partes con pesos aproximadamente iguales.

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.



FIGURA 73. Muestra homogenización 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.



FIGURA 74. Colocación y varillado de la muestra en el molde.



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 y volumétrico máximo.



FIGURA 75. Muestra colocada en la maquina y el incremento de la carga.

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 el molde 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.



FIGURA 76. Humedecimiento en 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, he , 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 0.1 mm.

9.- Se pasa el molde de compactación que contiene el espécimen compactado y se anota dicho peso W_i , en gr, con aproximación de 1 gr.

10.- Se saca el espécimen del cilindro, se corta longitudinalmente y de la parte central se obtiene una muestra representativa y se le determina su contenido de agua, W_o , el cual se anota en la hoja de registro.



CÁLCULOS.

1.- El volumen del espécimen compactado con la humedad óptima se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$V = A_m * H_e$$

Dónde:

V= Es el volumen del espécimen, (cm³).

A_m= Es el área de la sección transversal del cilindro de compactación, (cm²).

H_e= Altura del espécimen en (cm).

2.- El peso específico húmedo se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$\gamma_m = \frac{W_i - W_t}{V}$$

Dónde:

γ_m= Es el peso específico del espécimen húmedo, (gr/cm³ = ton/m³).

W_i= Es el peso del espécimen húmedo, más el peso del molde de compactación, (gr) W_t= Es el peso del molde de compactación, (gr).

V= Es el volumen del espécimen, (cm³).

3.- El peso específico seco máximo, γ_{dmax}, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\gamma_{dmax} = \gamma_m / (1 + (W_o/100))$$



Dónde:

γ_{dmax} = Es el peso específico máximo del espécimen en estado seco, en $gr/cm^3=ton/m^3$. Enseguida se muestra la conversión.

$$gr/cm^3 * 1 Ton/1,000,000 gr * 1,000,000 cm^3/ 1 m^3 = Ton /m^3.$$

γ_m = Es el peso específico del espécimen húmedo (gr/cm^3).

W_o = Es la humedad optima del espécimen, (%).

4.- Se reporta el peso específico seco máximo γ_{dmax} , en kilogramos por metro cubico y la humedad optima W_o , en porciento (%), como valores correspondientes al material ensayado

- Datos generales del molde Porter.

No. Molde = 04.

Altura del molde (h_1) = 12.72 cm.

Área del molde (A_m) = 192.36 cm^2

-Determinación de la altura del espécimen (h_e).

Lecturas obtenidas con el vernier:

$L_1 = 2.87$ cm. $L_2 = 2.91$ cm. $L_3 = 2.96$ cm. $L_4 = 2.89$ cm.

h_2 (Lectura promedio) = $(2.87 \text{ cm} + 2.91 \text{ cm} + 2.96 \text{ cm} + 2.89 \text{ cm}) / 4 = 2.90$ cm

$h_e = h_1 - h_2$

$h_e = 12.72 \text{ cm} - 2.90 \text{ cm} = 9.82$ cm.

-Determinación del volumen del espécimen, en decímetros cúbicos.



$$V = A_m \times h_e$$

$$V = 192.36 \times 9.82 = 1888.97 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_m = \frac{W_i - W_t}{V} = \frac{4000 \text{ gr}}{1862.04 \text{ cm}^3} = 2.14 \text{ gr/cm}^3$$

$$W_0 = \frac{\text{Pesos suelo humedo} - \text{Peso suelo seco}}{\text{Peso suelo seco}} * 100$$

$$W_0 = 17.25\%$$

$$\gamma_{dmax} = \frac{\gamma_m}{1 + \left(\frac{w_0}{100}\right)} = \frac{2.14}{1 + \left(\frac{17.25}{100}\right)} = 1.825 \text{ ton/m}^3$$



3.9.- VALOR RELATIVO DE SOPORTE ESTÁNDAR (VRS).

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

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

EQUIPO Y MATERIAL A UTILIZAR

- 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.

-Procedimiento.

1. 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.



2. 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.
3. 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 78. Muestra la colocación de la muestra en el depósito de agua.

4. 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 0.01 mm.

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



5. Todo lo descrito en el paso 4, es con el fin de determinar el porcentaje de expansión que puede tener un suelo y se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ expansión } = \frac{(L_i - L_f)}{h_e} 100$$

Dónde:

L_i y L_f son la longitud inicial y final respectivamente del espécimen antes y después de la expansión.

h_e = Altura del espécimen en cm.6.

EXPANSIÓN					PROMEDIO
Altura borde sup. del collarín (cm)	3.05	2.97	3.04	3.11	3.04
LECTURA i (cm)	7.23				
LECTURA F (cm)	7.22				
he	9.68				
% DE EXPANSIÓN	0.10				
% HUMEDAD	17.25%				

TABLA 14. Resultados para la expansión.

6.- Se retira el molde del agua, se le retira la extensión, el papel filtro y la placa circular perforada, colocándose en medio de las placas de carga el pistón de penetración, después se coloca el molde en la parte central de la prensa.



FIGURA 79. Colocación de la muestra.



FIGURA 80. Aplicando la carga necesaria para la prueba.



FIGURA 81. Muestra la forma como se prueba la muestra.



7. 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.
8. 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.
9. 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.

CÁLCULOS.

Los resultados se llevan a la gráfica (penetraciones contra carga), obteniéndose la llamada curva de valor relativo de soporte estándar y se obtiene finalmente el resultado de este con la siguiente fórmula:

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

Dónde:

$C_{2.54}$ = 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.



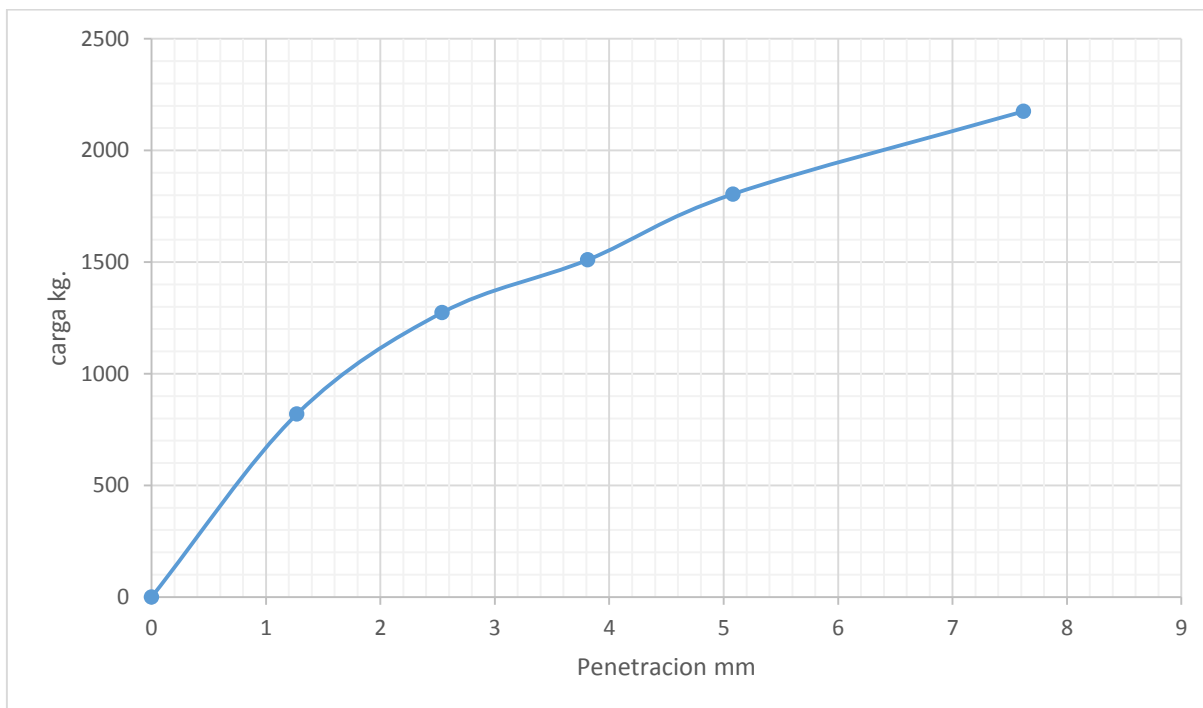
RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN			
	X (mm)	Y(Kg)	VRS
0	0	0	0
1.27	93	819.257	60.239
2.54	147	1273.937	93.672
3.81	175	1509.697	111.007
5.08	210	1804.397	132.676
7.62	254	2174.877	159.917
10.16			
12.7			

TABLA 15. Resultados para el VRS.

Dónde:

Y = Carga en kg.

X = Deformación en la celda de carga.



GRAFICA 2. Carga-Penetración.



3.10.- RESUMEN DE RESULTADOS.

PRUEBAS REALIZADAS	
PCA Ó BANCO DE MATERIAL No.	1
ESTRATO No.	1
PROFUNDIDAD MUESTRA (m)	N/A
TIPO DE MUESTRA	Muestra # 1
GRANULOMETRÍA.	
% DE FRAGMENTOS DE ROCA	0
% PASA MALLA 3"	100
% PASA MALLA 2"	100
% PASA MALLA 1 1/2"	100
% PASA MALLA 1"	100
% PASA MALLA 3/4"	100
% PASA MALLA 3/8"	99
% PASA MALLA No. 4	87
% PASA MALLA No. 10	74
% PASA MALLA No. 20	60
% PASA MALLA No. 40	40
% PASA MALLA No. 60	27
% PASA MALLA No. 100	20
% PASA MALLA No. 200	13
LIMITES DE CONSISTENCIA	
% DE HUMEDAD NATURAL. (w)	9.76
% LIMITE LÍQUIDO. (LL)	Inapreciable
% LIMITE PLÁSTICO. (LP)	Inapreciable
% INDICE PLÁSTICO. (IP)	Inapreciable
% CONTRACCIÓN LINEAL. (CL)	0.78
% LIMITE DE CONTRACCIÓN. (CV)	Inapreciable
CLASIFICACIÓN SUCS.	SM
VALOR RELATIVO DE SOPORTE.	
VRS ESTÁNDAR %	93.67
EXPANSIÓN %	0.10
VRS % AL 90% DE COMPACTACIÓN.	
PVSS tn/m^3 .	1.350
PVSM tn/m^3 .	1.775
HUMEDAD ÓPTIMA. (w _{opt} %)	13.75
GRADO DE COMPACTACIÓN (%)	
RELACIONES VOLUMÉTRICAS Y GRAVIMÉTRICAS.	
PESO VOLUMÉTRICO DEL LUGAR EN $\gamma_m \text{ tn/m}^3$.	
DENSIDAD DE SÓLIDOS. (S _s)	2.67
RELACIÓN DE VACÍOS. (e)	
POROSIDAD EN %. (n)	
GRADO DE SATURACIÓN EN %. (G _w)	

TABLA 16. Resumen de resultados de las pruebas realizadas en laboratorio.

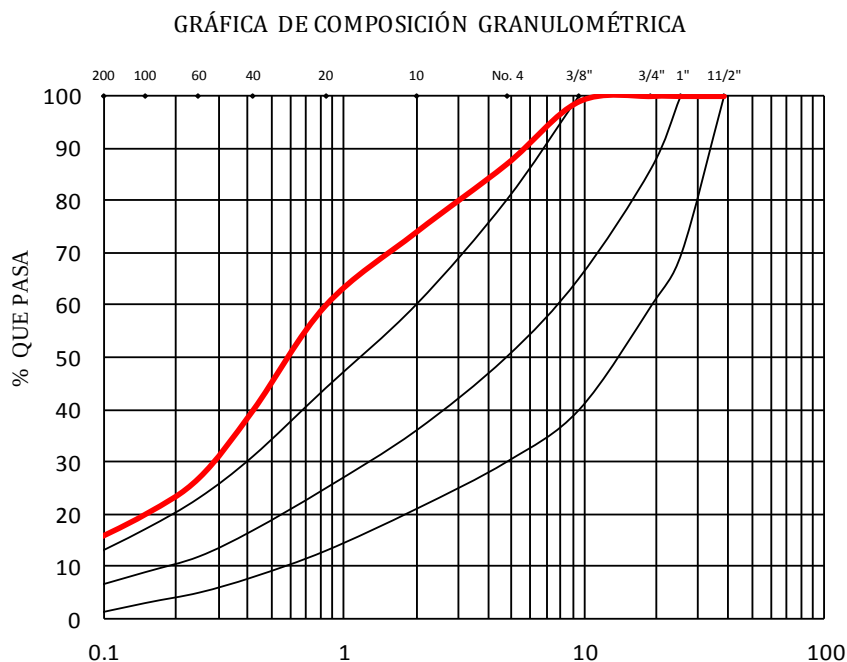


INFORME DE CALIDAD DE MATERIALES PARA SUELO-CEMENTO

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

SOLICITANTE:	Maxeh Internacional de México, S.A. de C.V.		
OBRA:	Material de banco (Tepetate de San Miguel de Allende).		
LOCALIZACIÓN:	San Miguel de Allende, Mpio. De Guanajuato.		
FECHA DE RECIBIDO:	07/02/2014	FECHA DE INFORME:	19/02/2015
ENSAYE No:	M-1		
PROCEDENCIA:	Banco de material.		
MATERIAL:	Arena limosa (SM). Para diseño de Suelo-Cemento Fluido. (MUESTRA M-1).		
ENVIADA POR:	El Solicitante.		

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL	COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA	ΣL≤10 (%)		ΣL>10 (%)	
		QUE PASA (%)		ESPECIFICACIONES	
		MALLAS			
		1 1/2"	(38.1)	100	100
		1"	(25.4)	100	70-100
		3/4"	(19)	100	60-100
		3/8"	(9.5)	99	40-100
		No. 4	(4.76)	87	30-80
		10	(2)	74	21-60
		20	(0.841)	60	13-44
		40	(0.42)	40	8-31
		60	(0.25)	27	5-23
		100	(0.149)	20	3-17
		200	(0.074)	13	0-10
		LÍMITE LÍQUIDO (%)	INAP	25 máx	25 máx
		ÍNDICE PLÁSTICO (%)	INAP	6 máx	6 máx
		CONTRACCIÓN	0		
		EQUIV. DE ARENA (%)	-	40 mín	50 mín
		VRS ESTANDAR (%)	93.67	80 mín	100 mín
		DESGASTE (%)	-	35 máx	30 máx
		PART. ALARGADAS (%)	-	40 máx	35 máx
		PART. LAJEADAS (%)	-	40 máx	35 máx
		DESPERDICIO (%)	-		
		P VSS (tn/m ³)	1.380		
		P VSM (tn/m ³)	1.775		
		HUMEDAD ÓPTIMA (%)	13.75		
		EXPANSIÓN (%)	0.10		
		VALOR CEMENTANTE (kg/cm ²)	-		
		ABSORCIÓN (%)	-		
		DENSIDAD	-		
		CLASIFICACIÓN SUCS	SM		



OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES: El material analizado tiene un límite líquido inapreciable pero tiene un peso volumétrico seco máximo (PVSM) alto, por lo que se considera adecuado su uso en el diseño de mezclas para suelo-cemento fluido. Es necesario realizar testigos para definir el porcentaje de cemento que se debe de emplear para una resistencia en particular.

FIGURA 82. El informe de la calidad del material analizado nos indica que el material si cumple con las características del proyecto.



4.- CÁLCULOS PARA REALIZACIÓN DE ESPECÍMENES.

4.1.- CALCULO DEL PORCENTAJE DE LA RESISTENCIA.

$$\text{ÁREA} = \frac{\pi D^2}{4}$$

Diámetro de las muestras = 10 cm.

$$\text{Área} = \frac{\pi(10)^2}{4} = 78.5398 \text{ cm}^2$$

$$\text{RESISTENCIA} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA}}$$

$$\% \text{ RESISTENCIA} = \frac{\text{RESISTENCIA}}{25} \times 100$$

4.2.- CALCULO DEL PORCENTAJE DE CEMENTO.

Para esta investigación se utilizó un solo material por lo tanto se obtuvo el peso volumétrico suelo seco este solamente y el proporcionamiento se propuso para un 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% de cemento para cada mezcla.

$$\text{P.V.S.S} = 1.380 \text{ Tn/m}^3 = 1380 \text{ Kg/m}^3$$

$$5\% \text{ de cemento} \longrightarrow = \frac{5(1380 \text{ kg/m}^3)}{100} = 69 \text{ kg/m}^3$$

$$7.5\% \text{ de cemento} \longrightarrow = \frac{7.5(1380 \text{ kg/m}^3)}{100} = 103.5 \text{ kg/m}^3$$

$$10\% \text{ de cemento} \longrightarrow = \frac{10(1380 \text{ kg/m}^3)}{100} = 138 \text{ kg/m}^3$$

$$12.5\% \text{ de cemento} \longrightarrow = \frac{12.5(1380 \text{ kg/m}^3)}{100} = 165.6 \text{ kg/m}^3$$

$$15\% \text{ de cemento} \longrightarrow = \frac{15(1380 \text{ kg/m}^3)}{100} = 207 \text{ kg/m}^3$$



4.3.- CÁLCULOS PARA EL VOLUMEN DE LOS CILINDROS.

H- Altura del cilindro.

D- Diámetro del cilindro.

$$A = \frac{\pi(10)^2}{4} = 78.5398 \text{ cm}^2.$$

$$\text{VOLUMEN} = A \times H = 78.5398 (20) = 1570.80 \text{ cm}^3.$$

$$V = 1570.80 \text{ cm}^3.$$

$$\text{Por 8 cilindros} = 12566.4 \text{ cm}^3.$$

$$\text{Convirtiendo a } m^3 = 0.012564 \text{ m}^3.$$

$$\text{Tomando un 15\% de desperdicio} = 0.01444 \text{ m}^3.$$



4.4.- CÁLCULOS PARA LOS PROPORCIONAMIENTOS.

4.4.1.- Proporcionamiento para el 5% de cemento (69 kg).

Calculo para el cemento.

$$69 \text{ kg.} \longrightarrow 1m^3.$$

$$0.99 \text{ kg.} \longleftarrow 0.01444 m^3.$$

Calculo para el Agua.

$$230 \text{ Lts.} \longrightarrow 1m^3.$$

$$3.32 \text{ Lts.} \longleftarrow 0.01444 m^3.$$

Calculo para el MAXE-H.

$$1 \text{ kg.} \longrightarrow 1m^3.$$

$$0.01444 \text{ kg.} \longleftarrow 0.01444 m^3.$$

$$14.44 \text{ gr.}$$

Calculo para el tepetate.

$$P.V.S.S= 1.380 \text{ Tn}/m^3.$$

$$W=1.380 \text{ Tn}/m^3 \times 0.01444m^3.$$

$$W=0.01992 \text{ Tn.}$$

$$W=19.92 \text{ Kg.}$$



4.4.2.- Proporcionamiento para el 7.5% de cemento (103.5 kg).

Calculo para el cemento.

$$103.5 \text{ kg.} \longrightarrow 1m^3$$

$$1.49 \text{ kg.} \longleftarrow 0.01444 m^3$$

Calculo para el Agua.

$$230 \text{ Lts.} \longrightarrow 1m^3$$

$$3.32 \text{ Lts.} \longleftarrow 0.01444 m^3$$

Calculo para el MAXE-H.

$$1 \text{ kg.} \longrightarrow 1m^3$$

$$0.01444 \text{ kg.} \longleftarrow 0.01444 m^3$$

$$14.44 \text{ gr.}$$

Calculo para el tepetate.

$$PVSS= 1.380 \text{ Tn}/m^3$$

$$Wact= 2.15\%$$

$$W=1.380 \text{ Tn}/m^3 \times 0.01444 m^3$$

$$W=19.92 \text{ Kg.}$$



4.4.3.- Proporcionamiento para el 10% de cemento (138 kg).

Calculo para el cemento.

$$138 \text{ kg.} \longrightarrow 1m^3$$

$$1.99 \text{ kg.} \longleftarrow 0.01444 m^3$$

Calculo para el Agua.

$$230 \text{ Lts.} \longrightarrow 1m^3$$

$$3.32 \text{ Lts.} \longleftarrow 0.01444 m^3$$

Calculo para el MAXE-H.

$$1 \text{ kg.} \longrightarrow 1m^3$$

$$0.01444 \text{ kg.} \longleftarrow 0.01444 m^3$$

$$14.44 \text{ gr.}$$

Calculo para el tepetate.

$$PVSS= 1.380 \text{ Tn}/m^3$$

$$W=1.380 \text{ Tn}/m^3 \times 0.01444 m^3$$

$$W=0.01992 \text{ Tn.}$$

$$W=19.92 \text{ Kg.}$$



4.4.4.- Proporcionamiento para el 12.5% de cemento (165.6 kg).

Calculo para el cemento.

$$165.6 \text{ kg.} \longrightarrow 1m^3$$

$$2.39 \text{ kg.} \longleftarrow 0.01444 m^3$$

Calculo para el Agua.

$$230 \text{ Lts.} \longrightarrow 1m^3$$

$$3.32 \text{ Lts.} \longleftarrow 0.01444 m^3$$

Calculo para el MAXE-H.

$$1 \text{ kg.} \longrightarrow 1m^3$$

$$0.01444 \text{ kg.} \longleftarrow 0.01444 m^3$$

$$14.44 \text{ gr.}$$

Calculo para el tepetate.

$$PVSS= 1.380 \text{ Tn}/m^3$$

$$W=1.380 \text{ Tn}/m^3 \times 0.01444 m^3$$

$$W=0.01992 \text{ Tn.}$$

$$W=19.92 \text{ Kg.}$$



4.4.5.- Proporcionamiento para el 15% de cemento (207 kg).

Calculo para el cemento.

$$207 \text{ kg.} \longrightarrow 1m^3$$

$$2.98 \text{ kg.} \longleftarrow 0.01444 m^3$$

Calculo para el Agua.

$$230 \text{ Lts.} \longrightarrow 1m^3$$

$$3.32 \text{ Lts.} \longleftarrow 0.01444 m^3$$

Calculo para el MAXE-H.

$$1 \text{ kg.} \longrightarrow 1m^3$$

$$0.01444 \text{ kg.} \longleftarrow 0.01444 m^3$$

$$14.44 \text{ gr.}$$

Calculo para el tepetate.

$$PVSS= 1.380 \text{ Tn}/m^3$$

$$W=1.380 \text{ Tn}/m^3 \times 0.01444 m^3$$

$$W=0.01992 \text{ Tn.}$$

$$W=19.92 \text{ Kg.}$$



5.- PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES.

5.1.- PESO DE LOS MATERIALES.

-tepetate.

Se pesaron las cantidades de tepetate de acuerdo al proporcionamiento calculado anteriormente. Para con estas cantidades realizar las mezclas con los diferentes porcentajes de cemento.



FIGURA 83. Tepetate para la realización de las mezclas



FIGURA 84. Tepetate para la realización de las mezclas



-CEMENTO.

Se pesaron las cantidades de cemento de acuerdo al proporcionamiento calculado anteriormente a partir de un porcentaje propuesto y así con estas cantidades realizar las mezclas.



FIGURA 85. Cemento que se utilizó para la elaboración de las mezclas.



FIGURA 86. Pesado de las cantidades de cemento para cada porcentaje.



-ADITIVO MAXE-H.

El aditivo MAXE-H es pesado de acuerdo al proporcionamiento calculado 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 87. Peso del aditivo MAXE-H.



FIGURA 88. El aditivo MAXE-H es diluido en agua y mantenido en reposo por 10 minutos mínimo.



5.2.- MEZCLA DE MATERIALES.

La mezcla de suelo (tepetate) y cemento se hace en seco, hasta que se logre una buena homogenización, entonces se le aplicara el agua y posteriormente el aditivo MAXE-H.



FIGURA 89. Preparación del tepetate con el cemento.



FIGURA 90. Homogenización del material.



5.3.- HOMOGENIZACIÓN DE LOS MATERIALES.

Una vez homogenizado el material se aplica una cantidad mínima de agua. Posteriormente se le agrega el aditivo MAXE-H



FIGURA 91. Agregando el aditivo MAXE-H.



FIGURA 92. Mezcla con el aditivo MAXE-H.



5.4.- COLOCACIÓN DE AGUA.

La cantidad de agua será la mínima necesaria previamente calculada para que la mezcla adquiriera la textura de un concreto fresco con un revenimiento de 8 a 14 cm.



FIGURA 93. Mezclando con el agua el proporción.



FIGURA 94. Realización de las mezclas.



5.5.- TEMPERATURA EN LA MEZCLA.

La temperatura de la mezcla es un dato importante que se tomó al momento de su elaboración para conocer a que temperatura se está elaborando y cómo se comporta de acuerdo a las condiciones de temperatura.



FIGURA. 95. Colocación del termómetro.



FIGURA 96. Observación de temperatura.



5.6.- REVENIMIENTO.

Se colocan los pies sobre las dos pestañas del cono firmemente. Se llena el cono con un cucharón aproximadamente $\frac{1}{3}$ del cono con la mezcla de material. Se le dan 25 golpes (o piquetes) utilizando una barra de acero en forma de espiral distribuyendo el material dentro del cono, el cono es llenado con tres capas siguiendo el mismo procedimiento, el varillado es sin penetrar la capa inferior.



FIGURA 97. Llenado del cono para el revenimiento.



FIGURA 98. Llenado del cono para el revenimiento.



FIGURAS 99, 100, 101. Varillado en forma de espiral (25 golpes por cada capa).



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.

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 102. Enrase con barrilla.



FIGURA 103. Cono enrazado listo para retirar.



Se coloca la barra horizontalmente sobre el cono invertido, inmediatamente se mide la distancia de la parte inferior de la barra al centro a 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 104. Preparación para la medición del revenimiento.



FIGURA 105. Medición del revenimiento (8 a 14 cm).



5.7.- ESPECÍMENES.

Cada espécimen o cilindro es llenado en tres capas en el interior de cada molde, acomodando la mezcla mediante un proceso de varillado, después se enraza el material para eliminar algún exceso de este mismo, luego se le aplican golpes con un martillo de hule en el exterior de cada cilindro para eliminar el exceso de aire dentro de la mezcla. Después se procede a pesar el material junto con el molde y se colocan en un lugar seguro para así finalizar el proceso de su elaboración.



FIGURA 106. Llenado de los especímenes.



FIGURA 107. Varillado de los especímenes, 25 golpes alrededor.



FIGURA 108. Acomodo del material con el varillado.



FIGURA 109. Enrase de los especímenes.



FIGURA 110. Especímenes enraizados.



FIGURA 111. Golpeteo con el martillo de goma para eliminar exceso de aire.



FIGURA 112. Peso del espécimen.



FIGURA 113. Especímenes terminados.



Las muestras ya terminadas deben curarse, manteniendo los especímenes dentro de bolsas de plástico húmedas y cerradas.



FIGURA 114. Cubriendo los especímenes con bolsas de plástico.



FIGURA 115. Especímenes cubiertos con bolsas de plástico.



Los especímenes se descimbraron a las 24 horas después de su fabricación. Cada espécimen es numerado y colocado en un lugar donde se encuentren seguros.



FIGURA 116. Descimbrado los especímenes.



FIGURA 117. Especimen fuera del molde.



FIGURA 118. Especímenes descimbrados y colocados en un lugar seguro.

Los especímenes se mantienen en un curado con bolsas de plástico muy húmedas. La bolsa se tiene que humedecer a diario hasta llegar el día de prueba.



FIGURA 119. Curado de especímenes con bolsa húmeda.



FIGURA 120. Colocación de bolsas húmedas.



FIGURA 121. Especímenes con curado de bolsas húmedas y colocados en un lugar seguro.



6.- PRUEBA DE COMPRESIÓN SIMPLE EN ESPECÍMENES.

6.1.- ESPECÍMENES SIN SATURAR.

6.1.1.- Preparación de los especímenes para probar a compresión simple.

Se ensayará a compresión simple, dos especímenes por edad, 2 a 3 días, 2 a 7 días, 2 a 14 días y 2 a 28 días. Así mismo los ensayos serán en esa misma cantidad para cada proporcionamiento realizado para así encontrar el que será el adecuado, el cual será el que logre una resistencia máxima de 25 Kg/cm² (2.45MPa) a los 28 días.

En este caso se utilizó arena fina de mar de color café mezclada con una porción de cemento portland y una espátula de bordes rectos para esparcir el material de forma uniforme y lograr una capa plana de 0.005 cm al ser compactada con la maquinaria adecuada para estas pruebas.



FIGURA 122. Mezcla de arena fina de mar y cemento portland para realizar el cabeceo de los especímenes para realizar pruebas a compresión simple.



FIGURA 123. Especímenes listos para probar.



FIGURA 124. Cabeceo de los cilindros con la mezcla de arena fina de mar y cemento portland, para lograr un paralelismo entre caras al ser comprimido el espécimen.



FIGURA 125. Espátula de laboratorio rígida de bordes rectos para esparcir el material de forma uniforme.



FIGURA 126. Mezcla de arena fina de mar y cemento portland para cabeceo colocada en especímenes.



6.2.- PRUEBA A COMPRESIÓN SIMPLE.

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.

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.

Para este caso en especial se llevó acabo la prueba de compresión simple para la los cilindros con una edad de 3 y 7 días con la maquinaria del laboratorio de mecánica de suelos 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.) debido a la facilidad de manejo y disponibilidad del equipo, para los especímenes con la edad de 15 y 28 días se realizó la prueba en la sección de resistencia de materiales con la maquinaria perteneciente a esta sección por recomendación igualmente del M.I. Felipe de Jesús Jerónimo Rodríguez debido a que los especímenes de la edad mencionada requerían de una mayor carga para poder llevar acabo la prueba y en esta maquinaria puede llevar a cabo las pruebas aplicando una mayor carga y su apreciación es mucho mejor que en la maquinaria de la sección de mecánica de suelos.



FIGURA 127. Colocación de los especímenes con la edad de 3 y 7 días en la máquina para realizar la prueba de compresión simple.



FIGURA 128. Especimen listo para probar.



FIGURA 129. Preparación para realizar la prueba de compresión simple en prensa hidráulica.



FIGURA 130. Prueba de compresión simple en prensa hidráulica.



El espécimen llega a su carga máxima o falla, como se muestra en la figura () presenta la falla y su valor será registrado para su cálculo posterior.



FIGURA 131. Ruptura del espécimen.



FIGURA 132. Lectura de carga soportada para el espécimen.



6.2.1.- Reporte fotográfico.

De esta manera se probaron los especímenes con la edad de 3 y 7 días para los proporcionamientos del 5%,7.5%,10%,12.5% y 15% realizando las pruebas como ya se mencionaba anteriormente en la máquina de prensa hidráulica para ensaye de prueba Porter del laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

A continuación se mostrara un resumen fotográfico de las pruebas a compresión de los especímenes mencionados en el párrafo anterior.















Resumen fotográfico de la prueba de compresión simple de los especímenes con la edad de 3 y 7 días. Donde se muestran fotos del cabeceo de los especímenes, de la colocación en la máquina de prensa hidráulica para ensaye de prueba porter, de la ruptura del espécimen y de la lectura de la carga soportada por este mismo.



6.3.- ESPECÍMENES PROBADOS CON MAQUINA UNIVERSAL “FORNEY”.

Como ya se menciona anteriormente el ensayo para la prueba de compresión simple que se les realizó a los especímenes se llevó a cabo en dos tipos de maquinaria, para lo se mostrara a continuación la segunda parte de estas pruebas las cuales fueron realizadas en la maquinaria de la sección de resistencia del laboratorio de materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, donde se realizaron las pruebas dando continuación a probar los especímenes con las mayores edades, siendo probados dos especímenes por edad, 2 a 14 días y 2 a 28 días. Así mismo los ensayos serán en esa misma cantidad para cada proporcionamiento realizado para así encontrar el que sea el adecuado, el cual será el que logre una resistencia máxima de 25 kgf/cm² (2.45MPa) a los 28 días.

Igual que para los especímenes anteriores, para este caso se utilizó arena fina de mar de color café mezclada con una porción de cemento portland y una espátula de bordes rectos para esparcir el material de forma uniforme y lograr una capa plana de 0.005 cm al ser compactada con la maquinaria adecuada para estas pruebas.



FIGURA 133. Mezcla de arena fina de mar y cemento portland para realizar el cabeceo de los especímenes para realizar pruebas a compresión simple.



FIGURA 134. Especímenes listos para probar.



FIGURA 135. Especímenes cabeceados.



FIGURA 136. Especimen colocado en la maquina listo para probarse.

El espécimen llega a su carga máxima o falla, como se muestra en la figura () presenta la falla y su valor será registrado para su cálculo posterior.



FIGURA 137. Ruptura del espécimen.



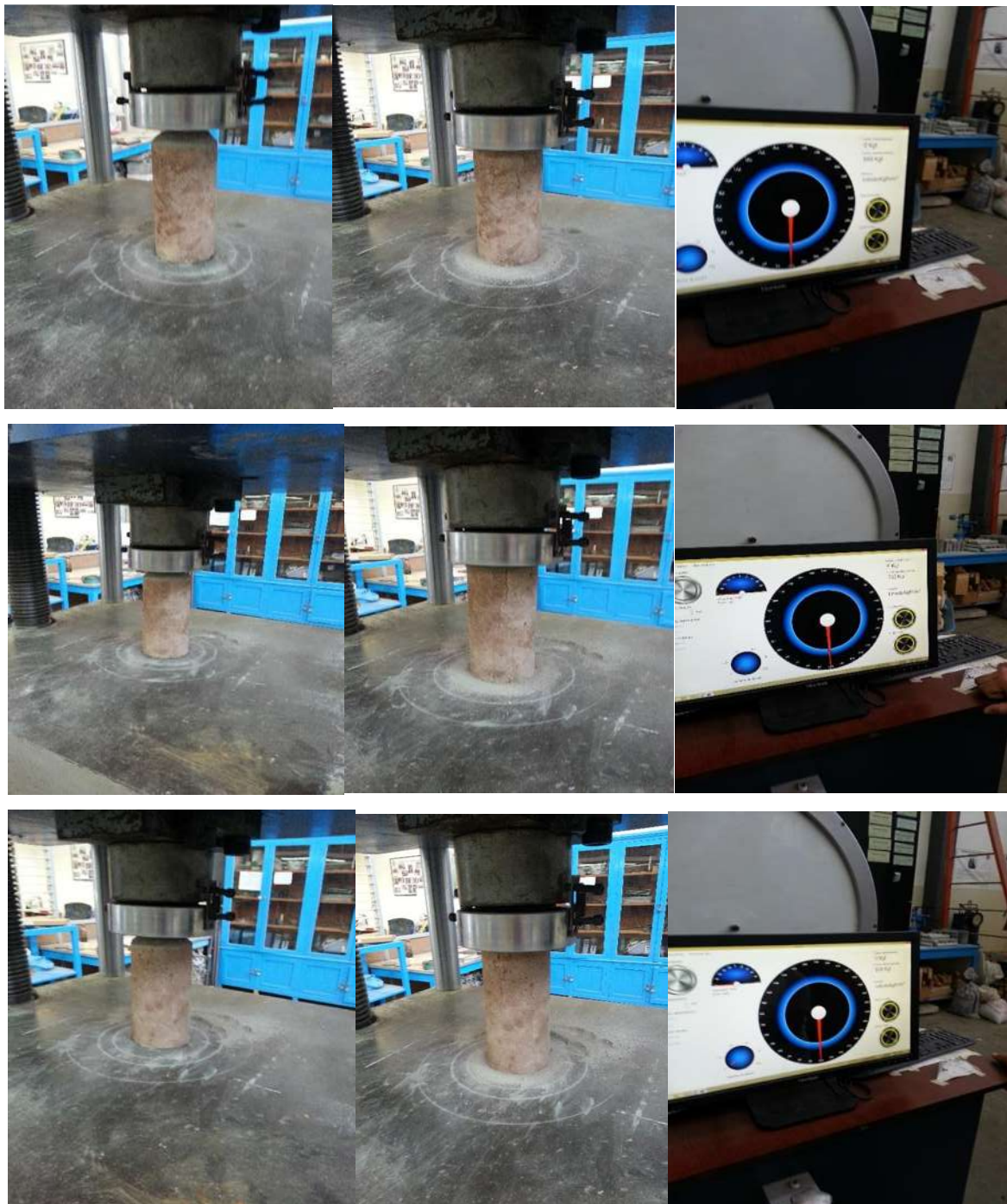
FIGURA 138. Lectura de carga soportada para el espécimen.

De esta manera se probaron los especímenes con la edad de 14 y 28 días para los proporcionamientos del 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% realizando las pruebas como ya se mencionaba anteriormente en la máquina Universal Forney. Del laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

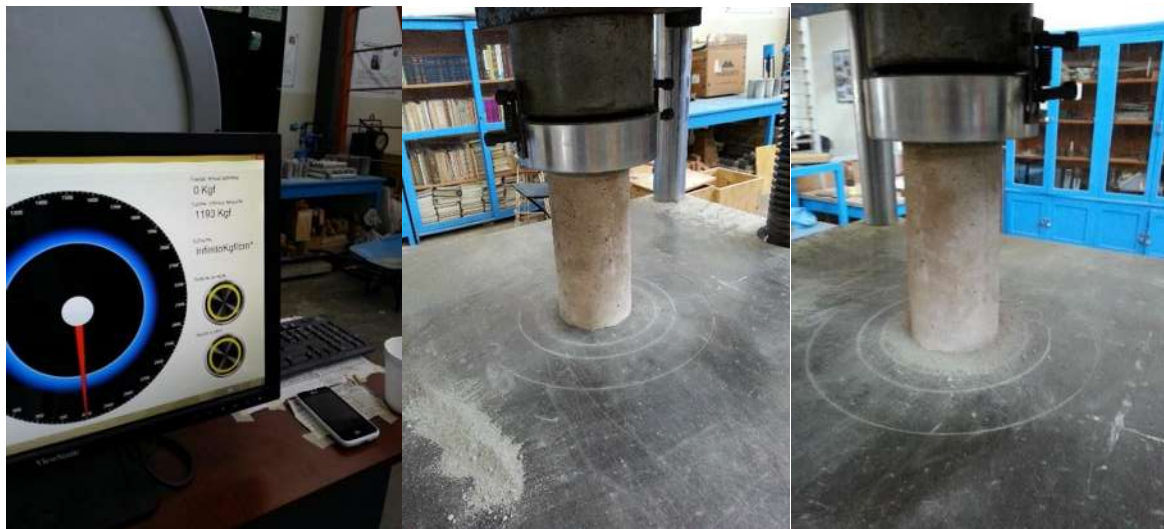


6.3.1.- Reporte fotográfico.

A continuación se mostrara un resumen fotográfico de las pruebas a compresión de los especímenes mencionados en el párrafo anterior.















Resumen fotográfico de la prueba de compresión simple de los especímenes con la edad de 14 y 28 días. Donde se muestran fotos del cabeceo de los especímenes, de la colocación en la máquina universal Forney, de la ruptura del espécimen y de la lectura de la carga soportada por este mismo.



7.- ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RESULTADOS.

7.1.- RESULTADOS DE ESPECÍMENES SIN SATURAR.

7.1.1.- Tablas, gráficas y resultados de los proporcionamientos.

RESULTADOS DE LOS PROPORCIONAMIENTOS.

Porcentaje de cemento.	Volumen por 8 cilindros en m ³ .	15% de Desperdicio en m ³ .	Cemento en Kg.	Agua en Lts (Real)	Aditivo Maxe-h en gr.	Tepe-tate en Kg.	Reveni-miento en cm.	Proporciona-miento de cemento en Kg por m ³
5%	0.01256	0.00188	0.99	5.4	14.44	19.92	13.0	69.0
7.5%	0.01256	0.00188	1.49	5.5	14.44	19.92	8.5	103.5
10%	0.01256	0.00188	1.99	5.5	14.44	19.92	9.0	138.0
12.5%	0.01256	0.00188	2.39	5.5	14.44	19.92	10.5	165.6
15%	0.01256	0.00188	2.98	5.5	14.44	19.92	10.6	207.0

TABLA 17. Resultados de los proporcionamientos.



TEMPERATURAS DE LAS MEZCLAS.

PORCENTAJE CEMENTO	DE TEMPERATURA DE LA MEZCLA
5%	25 °C
7.5%	25 °C
10%	26 °C
12.5%	28 °C
15%	28 °C

TABLA 18. Temperaturas presentadas a la hora que se realizó la mezcla.



TABLA DE RESULTADOS DE LOS PESOS VOLUMÉTRICOS.

No. de Muestra	Proporción de cemento en %	Diámetro en cm	Área en cm ²	Altura en cm	Volumen en m ³	Peso Húmedo en Kg	Peso volumétrico fresco en Kg/m ³	Peso en Kg	Peso volumétrico (γ_m) en Kg/m ³
1	5	10	78.54	20	0.0015708	3.02	1922	2.925	1862
2	5	10	78.54	20	0.0015708	3.41	2171	2.885	1837
3	5	10	78.54	20	0.0015708	3.425	2180	2.940	1872
4	5	10	78.54	20	0.0015708	3.130	1993	2.940	1872
5	5	10	78.54	20	0.0015708	2.985	1900	2.980	1897
6	5	10	78.54	20	0.0015708	3.090	1967	2.985	1900
7	5	10	78.54	20	0.0015708	3.035	1932	2.545	1620
8	5	10	78.54	20	0.0015708	3.040	1935	2.510	1598
9	7.5	10	78.54	20	0.0015708	3.095	1970	2.835	1805
10	7.5	10	78.54	20	0.0015708	3.065	1951	2.860	1821
11	7.5	10	78.54	20	0.0015708	3.175	2021	2.965	1887
12	7.5	10	78.54	20	0.0015708	3.155	2008	2.800	1782
13	7.5	10	78.54	20	0.0015708	3.060	1948	2.965	1887
14	7.5	10	78.54	20	0.0015708	3.510	2234	2.980	1897
15	7.5	10	78.54	20	0.0015708	3.375	2148	2.645	1684
16	7.5	10	78.54	20	0.0015708	3.055	1945	2.630	1674
17	10	10	78.54	20	0.0015708	3.535	2250	2.790	1776
18	10	10	78.54	20	0.0015708	3.025	1926	2.870	1827
19	10	10	78.54	20	0.0015708	3.005	1913	2.810	1789
20	10	10	78.54	20	0.0015708	3.105	1977	2.870	1827

TABLA 19. Peso volumétrico.



TABLA DE RESULTADOS DEL LOS PESOS VOLUMÉTRICOS.

No. de Muestra	Proporción de cemento en %	Diámetro en cm	Área en cm ²	Altura en cm	Volumen en m ³	Peso Húmedo en Kg	Peso volumétrico fresco en Kg/m ³	Peso en Kg	Peso volumétrico (γ_m) en Kg/m ³
21	10	10	78.54	20	0.0015708	3.340	2126	2.94	1872
22	10	10	78.54	20	0.0015708	3.040	1935	2.96	1884
23	10	10	78.54	20	0.0015708	3.025	1926	2.655	1690
24	10	10	78.54	20	0.0015708	3.440	2190	2.665	1696
25	12.5	10	78.54	20	0.0015708	3.095	1970	2.725	1735
26	12.5	10	78.54	20	0.0015708	2.995	1907	2.615	1665
27	12.5	10	78.54	20	0.0015708	3.175	2021	2.76	1757
28	12.5	10	78.54	20	0.0015708	3.015	1919	2.765	1760
29	12.5	10	78.54	20	0.0015708	3.685	2346	2.925	1862
30	12.5	10	78.54	20	0.0015708	3.195	2034	2.92	1859
31	12.5	10	78.54	20	0.0015708	3.020	1922	2.9	1846
32	12.5	10	78.54	20	0.0015708	3.030	1929	1.855	1181
33	15	10	78.54	20	0.0015708	3.105	1977	2.8	1782
34	15	10	78.54	20	0.0015708	3.080	1961	2.805	1786
35	15	10	78.54	20	0.0015708	3.095	1970	2.75	1751
36	15	10	78.54	20	0.0015708	3.445	2193	2.795	1779
37	15	10	78.54	20	0.0015708	3.220	2050	2.975	1894
38	15	10	78.54	20	0.0015708	3.070	1954	2.97	1891
39	15	10	78.54	20	0.0015708	3.375	2148	2.805	1786
40	15	10	78.54	20	0.0015708	3.535	2250	2.92	1859

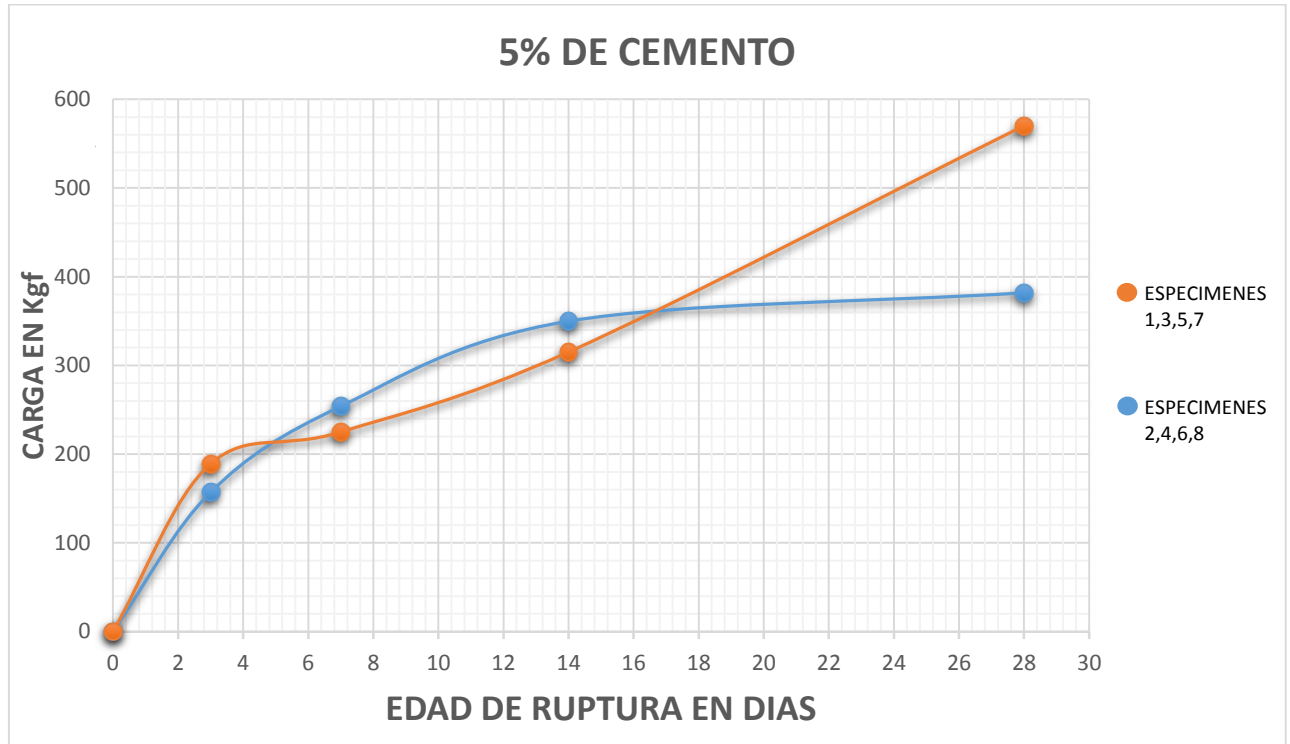
TABLA 20. Peso volumétrico.



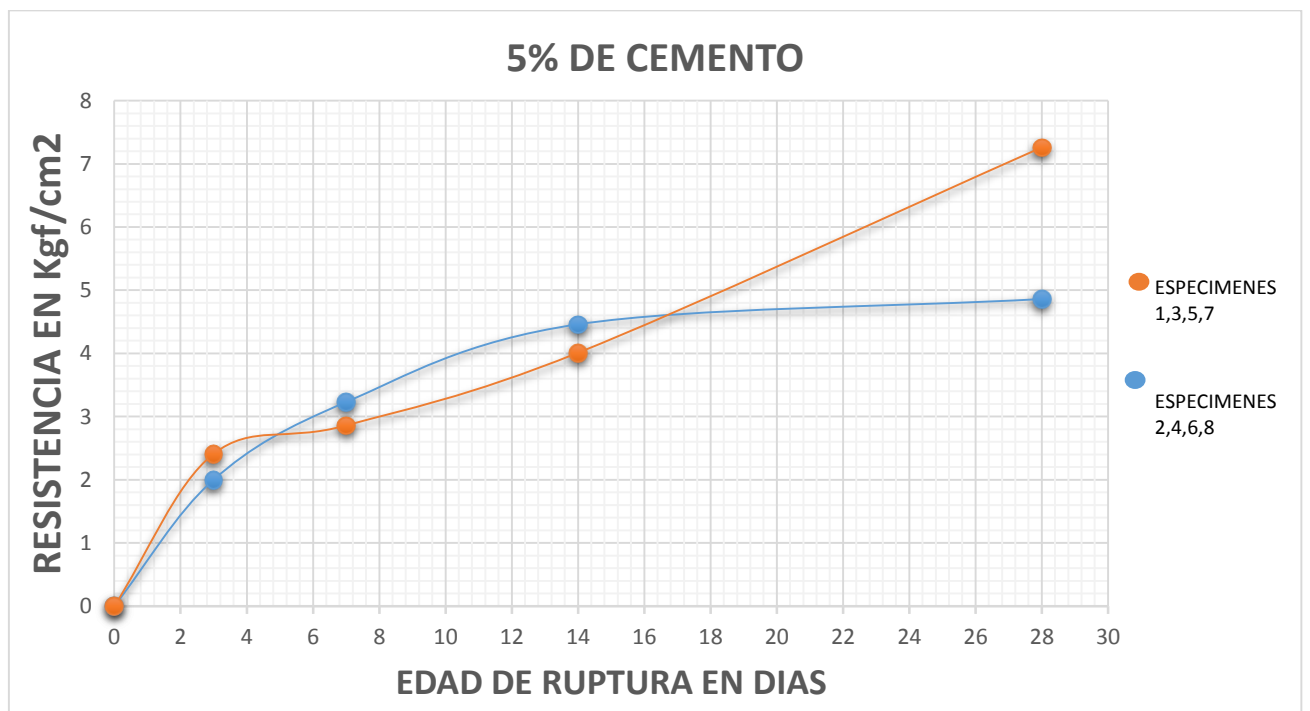
Proporcionamiento del 5% de cemento.

N° MUESTRA	PROP. CEMENTO EN Kg	PROP. MAXE-H EN grs	PROP. TEPETATE EN Kg	PROP. AGUA EN Lts	REVENIMIENTO EN cm	FECHA COLADO	FECHA RUPTURA	EDAD (DÍAS)	F'c EN Kg/cm ² (MPa)	CARGA EN Kg	RESISTENCIA EN Kg/cm ² (MPa)	% DE RESIST.
1	0.99	14.44	19.92	5.4	13	21/Abril /2015	24/Abril /2015	3	25 (2.45)	157	2.00 (0.20)	8.00
2	0.99	14.44	19.92	5.4	13	21/Abril /2015	24/Abril /2015	3	25 (2.45)	189	2.41 (0.24)	9.63
3	0.99	14.44	19.92	5.4	13	21/Abril /2015	28/Abril /2015	7	25 (2.45)	254	3.23 (0.32)	12.94
4	0.99	14.44	19.92	5.4	13	21/Abril /2015	28/Abril /2015	7	25 (2.45)	225	2.86 (0.28)	11.46
5	0.99	14.44	19.92	5.4	13	21/Abril /2015	05/Mayo /2015	14	25 (2.45)	350	4.46 (0.44)	17.83
6	0.99	14.44	19.92	5.4	13	21/Abril /2015	05/Mayo /2015	14	25 (2.45)	315	4.01 (0.39)	16.04
7	0.99	14.44	19.92	5.4	13	21/Abril /2015	19/Mayo /2015	28	25 (2.45)	382	4.86 (0.48)	19.46
8	0.99	14.44	19.92	5.4	13	21/Abril /2015	19/Mayo /2015	28	25 (2.45)	570	7.26 (0.71)	29.03

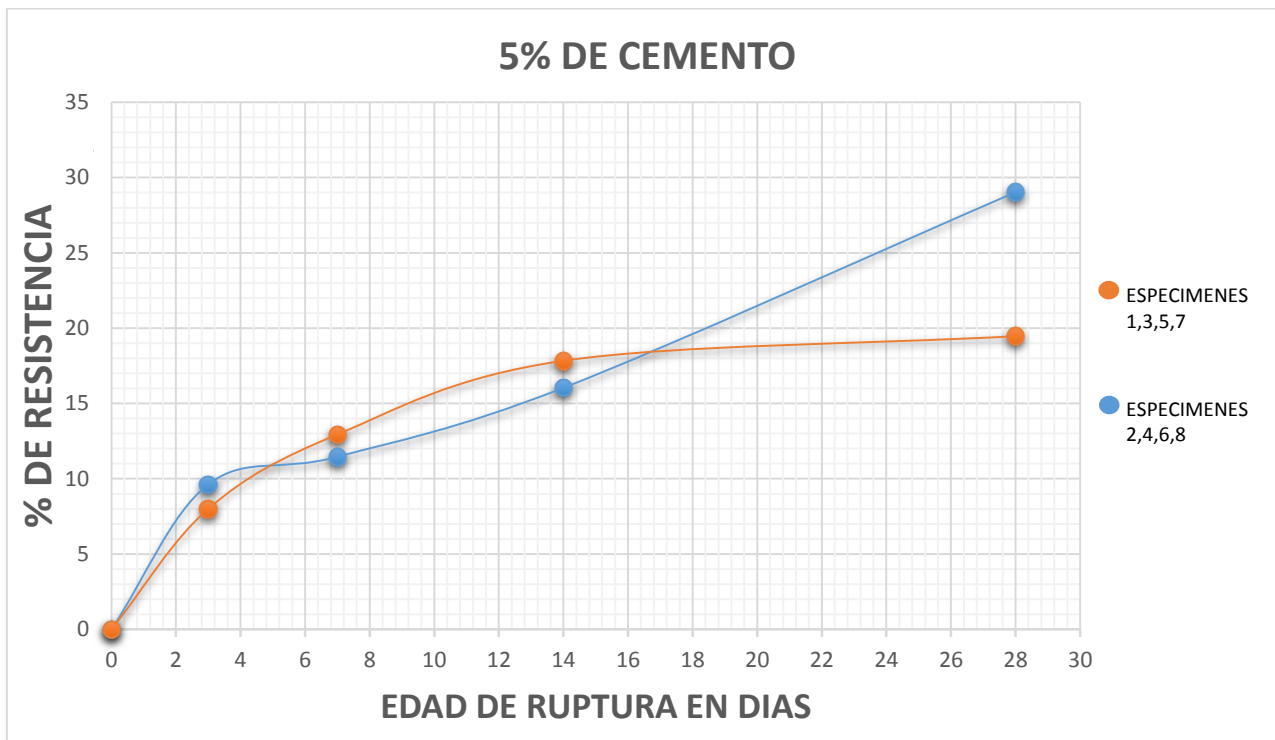
TABLA 21. Proporcionamiento del 5% de cemento.



GRAFIA 3. Carga-Edad de ruptura.



GRAFICA 4. Resistencia-Edad de ruptura.



GRAFICA 5. Porcentaje de Resistencia-Edad de ruptura.

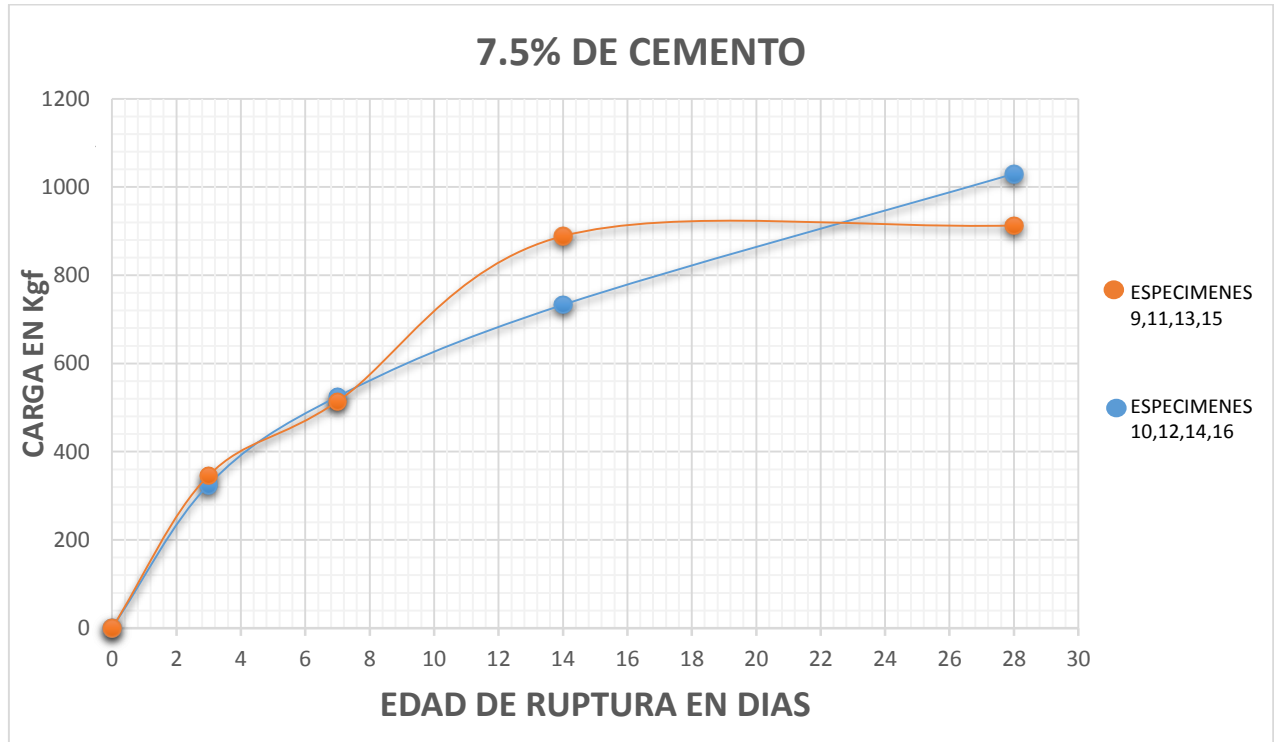
En estas graficas correspondientes para el proporcionamiento del 5% de cemento se puede observar que no se alcanzó el objetivo de esta tesis tras haber transcurrido la edad de prueba máxima que es de 28 días, el cual es obtener que soporte una carga de optima de 1963.5 Kgf, una resistencia de 25 Kg/cm² y un 100% de resistencia.



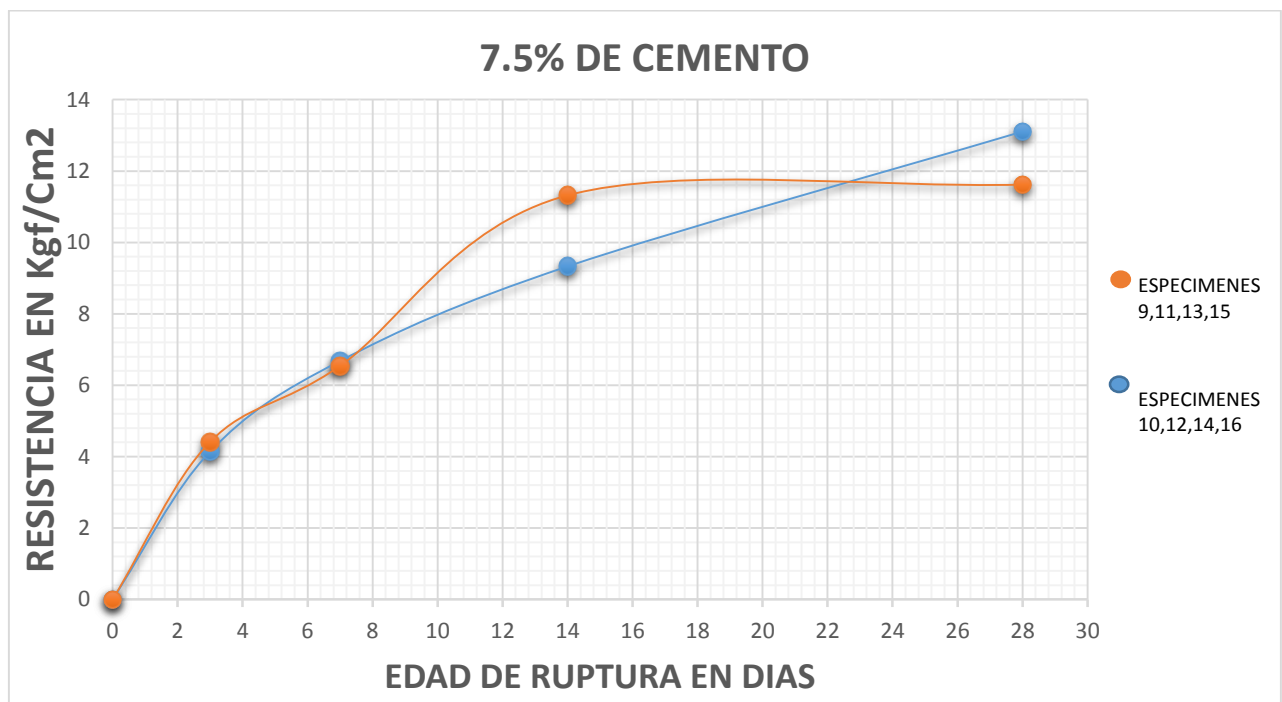
Proporcionamiento del 7.5% de cemento.

N° MUESTRA	PROP. CEMENTO EN Kg	PROP. MAXE-H EN grs	PROP. TEPETATE EN Kg	PROP. AGUA EN Lts	REVENIMIENTO EN cm	FECHA COLADO	FECHA RUPTURA	EDAD (DÍAS)	F'c EN Kg/cm ² (MPa)	CARGA EN Kg	RESISTENCIA EN Kg/cm ² (MPa)	% DE RESIST.
9	1.49	14.44	19.92	5.5	8.5	21/Abril /2015	24/Abril /2015	3	25 (2.45)	346	4.41 (0.43)	17.62
10	1.49	14.44	19.92	5.5	8.5	21/Abril /2015	24/Abril /2015	3	25 (2.45)	325	4.14 (0.41)	16.55
11	1.49	14.44	19.92	5.5	8.5	21/Abril /2015	28/Abril /2015	7	25 (2.45)	514	6.54 (0.64)	26.18
12	1.49	14.44	19.92	5.5	8.5	21/Abril /2015	28/Abril /2015	7	25 (2.45)	525	6.68 (0.66)	26.74
13	1.49	14.44	19.92	5.5	8.5	21/Abril /2015	05/Mayo /2015	14	25 (2.45)	889	11.32 (1.11)	45.28
14	1.49	14.44	19.92	5.5	8.5	21/Abril /2015	05/Mayo /2015	14	25 (2.45)	733	9.33 (0.92)	37.33
15	1.49	14.44	19.92	5.5	8.5	21/Abril /2015	19/Mayo /2015	28	25 (2.45)	913	11.62 (1.14)	46.50
16	1.49	14.44	19.92	5.5	8.5	21/Abril /2015	19/Mayo /2015	28	25 (2.45)	1030	13.11 (1.29)	52.46

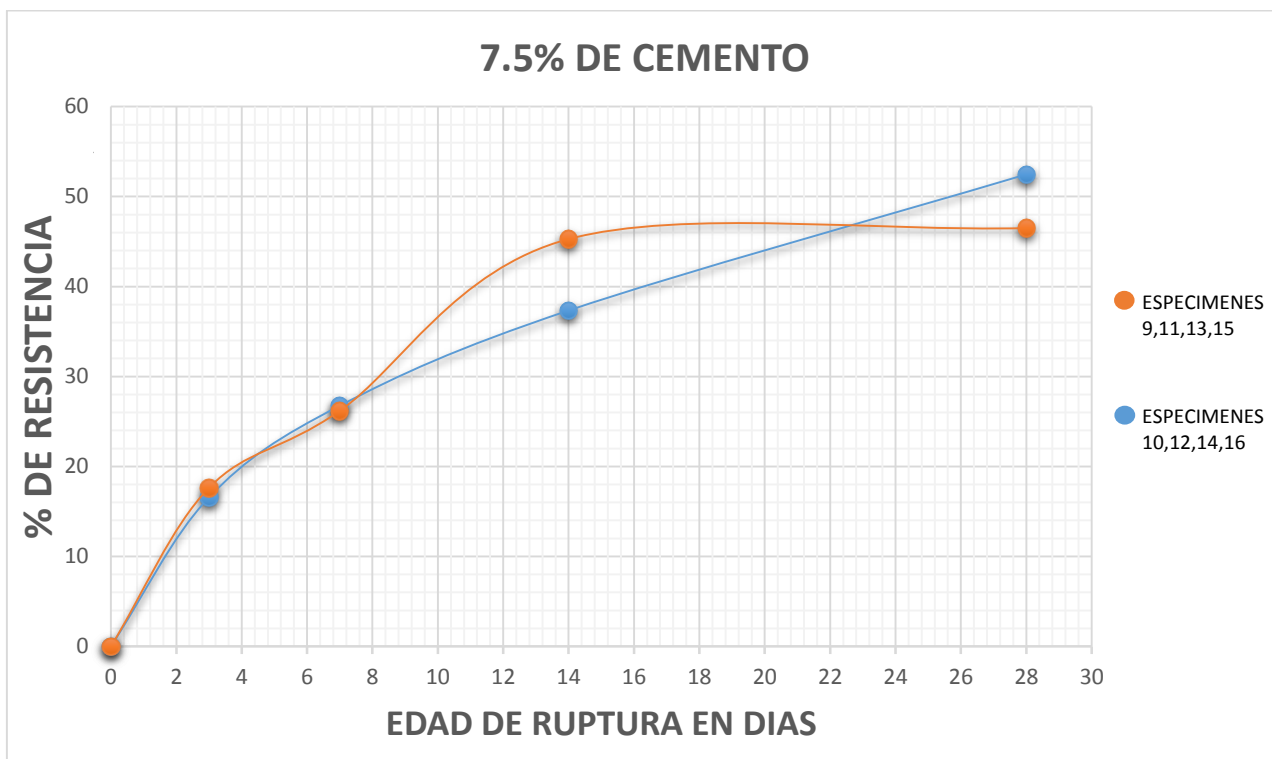
TABLA 22. Proporcionamiento del 7.5% de cemento.



GRAFICA 6. Carga-Edad de ruptura.



GRAFICA 7. Resistencia-Edad de ruptura.



GRAFICA 8. Porcentaje de Resistencia-Edad de ruptura.

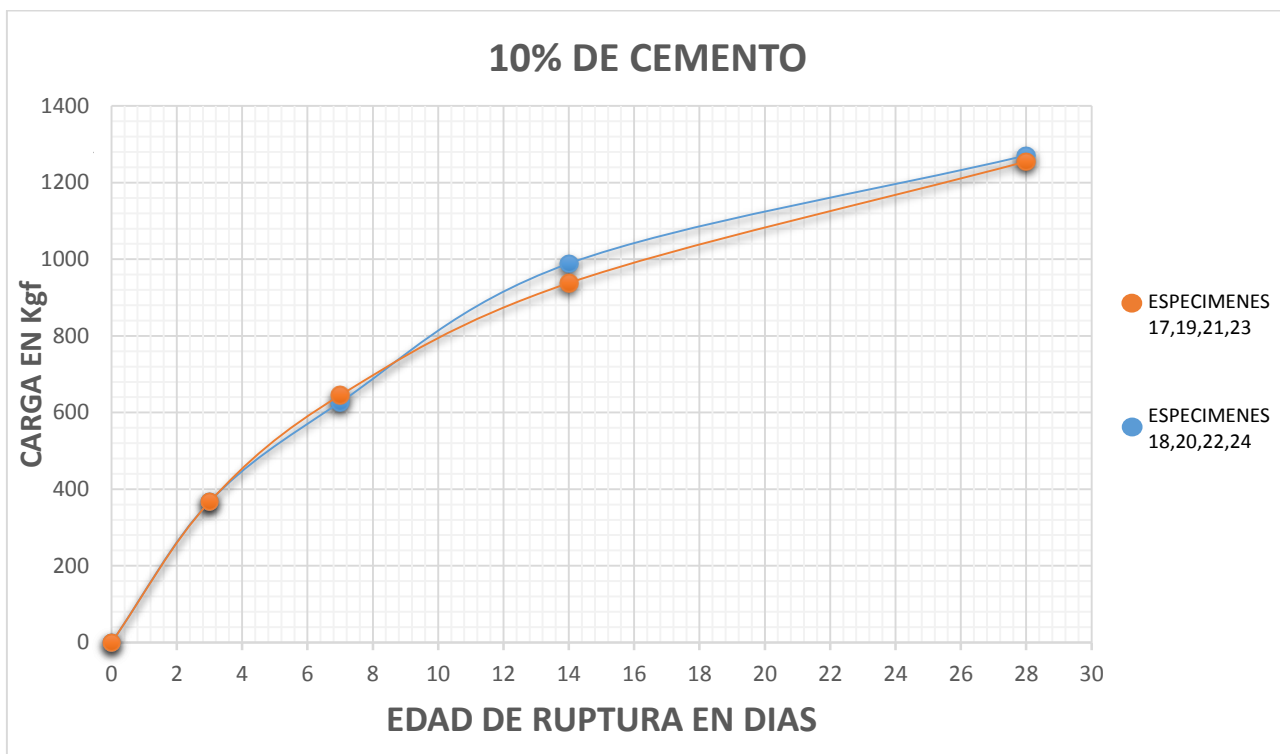
En estas graficas correspondientes para el proporcionamiento del 7.5% de cemento se puede observar que no se alcanzó el objetivo de esta tesis tras haber transcurrido la edad de prueba máxima que es de 28 días, el cual es obtener que soporte una carga de optima de 1963.5 Kgf, una resistencia de 25 Kgf/cm² y un 100% de resistencia.



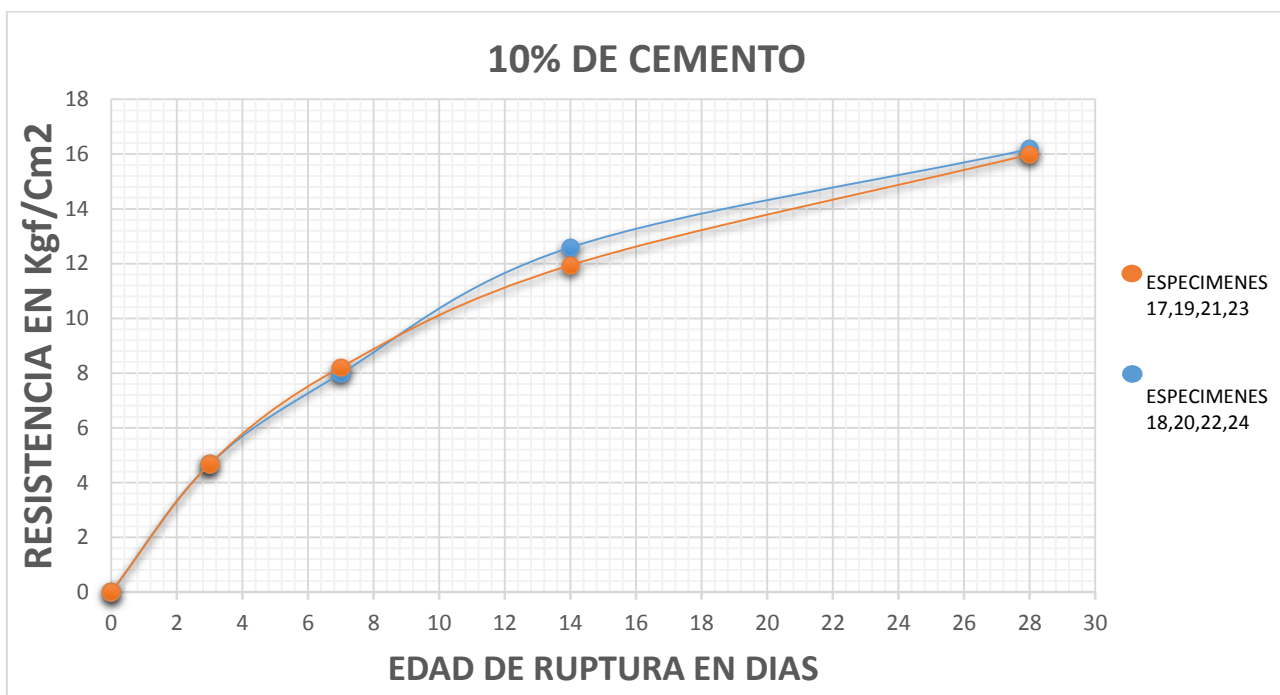
Proporcionamiento del 10% de cemento.

N° MUESTRA	PROP. CEMENTO EN Kg	PROP. MAXE-H EN grs	PROP. TEPETATE EN Kg	PROP. AGUA EN Lts	REVENIMIENTO EN cm	FECHA COLADO	FECHA RUPTURA	EDAD (DIAS)	F'c EN Kg/cm ² (MPa)	CARGA EN Kg	RESISTENCIA EN Kg/cm ² (MPa)	% DE RESIST.
17	1.99	14.44	19.92	5.5	9	21/Abril /2015	24/Abril /2015	3	25 (2.45)	367	4.67 (0.46)	18.69
18	1.99	14.44	19.92	5.5	9	21/Abril /2015	24/Abril /2015	3	25 (2.45)	367	4.67 (0.46)	18.69
19	1.99	14.44	19.92	5.5	9	21/Abril /2015	28/Abril /2015	7	25 (2.45)	645	8.21 (0.81)	32.85
20	1.99	14.44	19.92	5.5	9	21/Abril /2015	28/Abril /2015	7	25 (2.45)	627	7.98 (0.78)	31.93
21	1.99	14.44	19.92	5.5	9	21/Abril /2015	05/Mayo /2015	14	25 (2.45)	938	11.94 (1.17)	47.77
22	1.99	14.44	19.92	5.5	9	21/Abril /2015	05/Mayo /2015	14	25 (2.45)	989	12.59 (1.23)	50.37
23	1.99	14.44	19.92	5.5	9	21/Abril /2015	19/Mayo /2015	28	25 (2.45)	1255	15.98 (1.57)	63.92
24	1.99	14.44	19.92	5.5	9	21/Abril /2015	19/Mayo /2015	28	25 (2.45)	1271	16.18 (1.59)	64.73

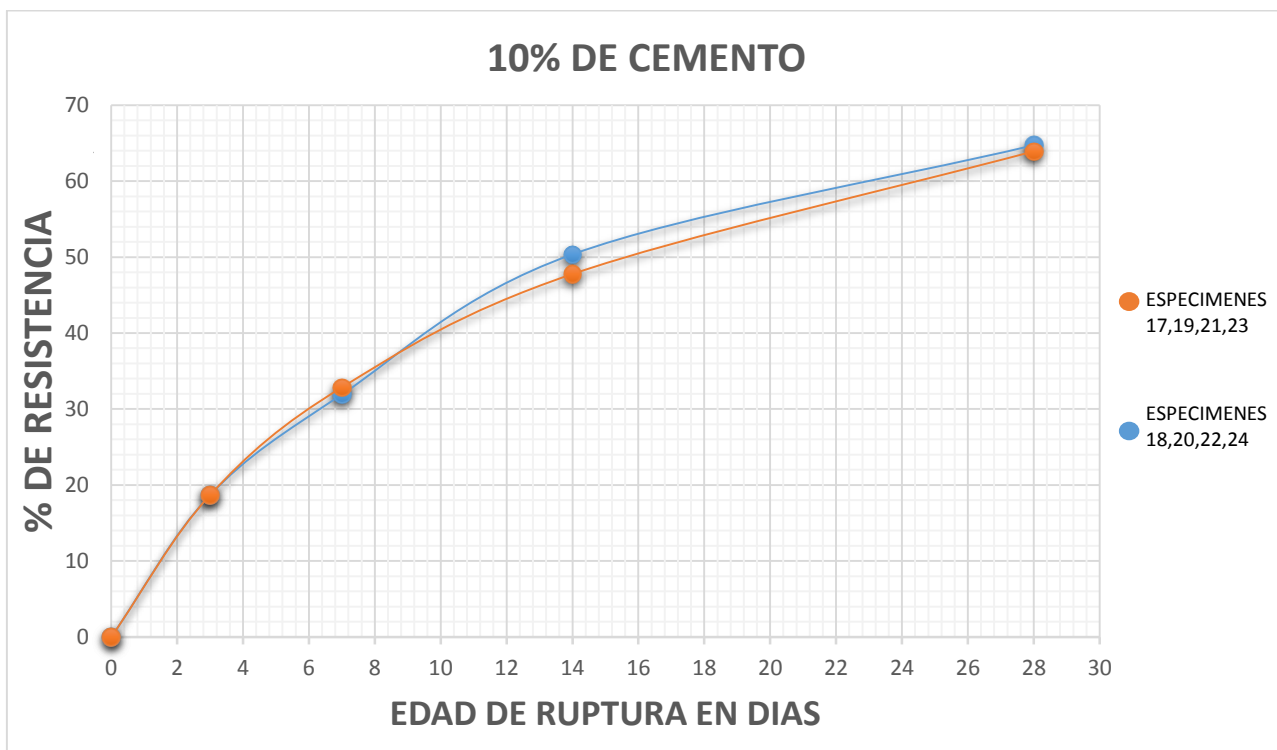
TABLA 23. Proporcionamiento del 10% de cemento



GRAFICA 9. Carga-Edad de ruptura.



GRAFICA 10. Resistencia-Edad de ruptura.



GRAFICA 11. Porcentaje de Resistencia-Edad de ruptura.

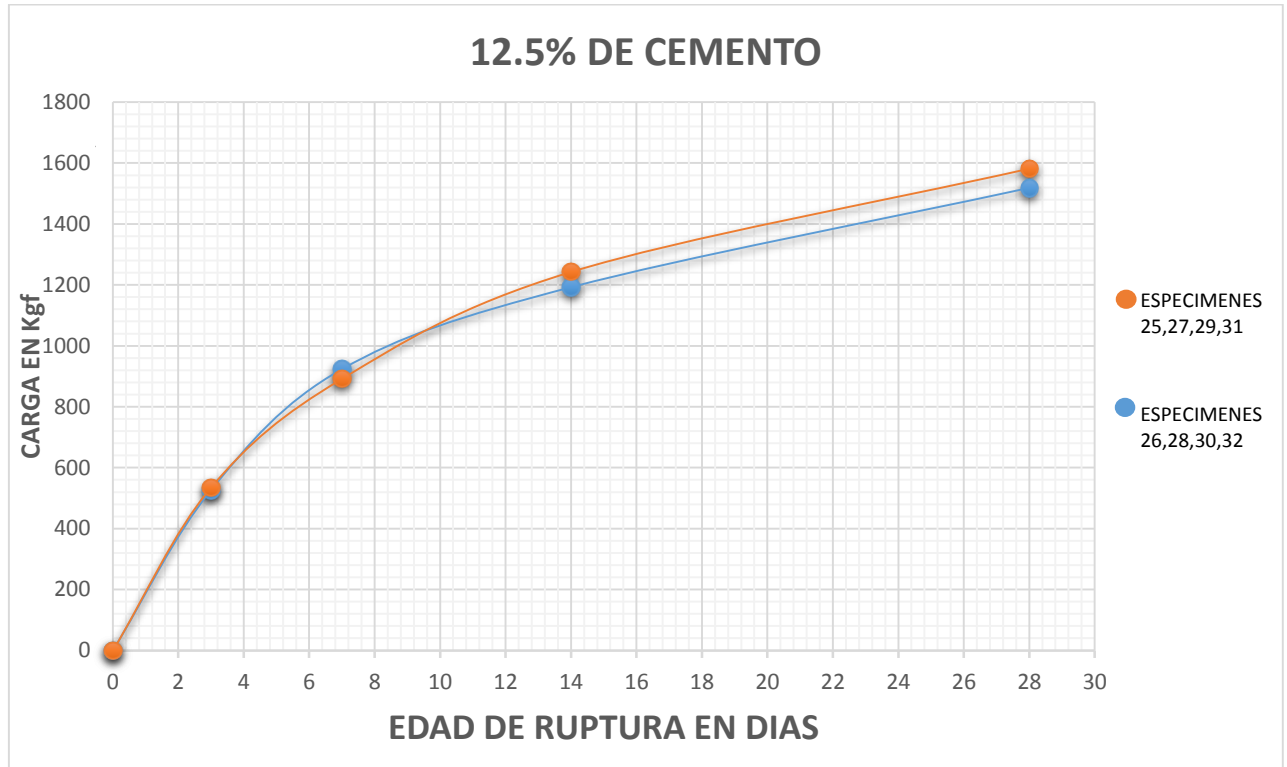
En estas graficas correspondientes para el proporcionamiento del 10% de cemento se puede observar que no se alcanzó el objetivo de esta tesis tras haber transcurrido la edad de prueba máxima que es de 28 días, el cual es obtener que soporte una carga de optima de 1963.5 Kgf, una resistencia de 25 Kgf/cm² y un 100% de resistencia.



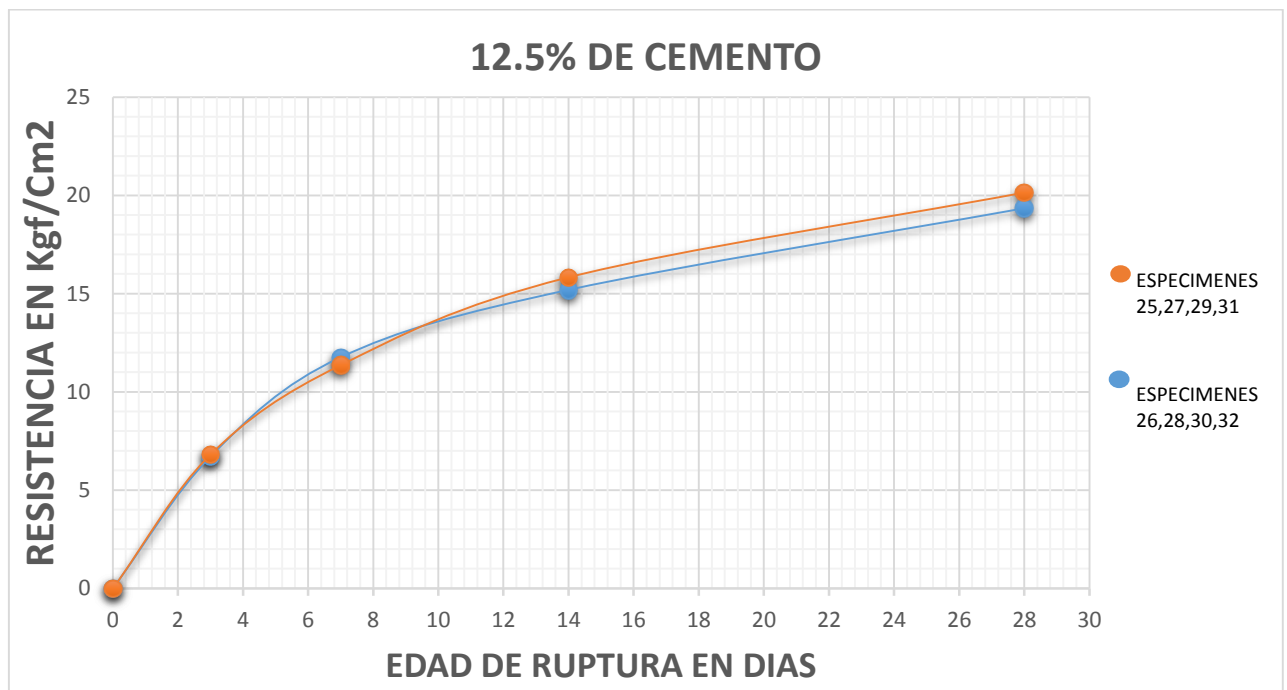
Proporcionamiento del 12.5% de cemento.

N° MUESTRA	PROP. CEMENTO EN Kg	PROP. MAXE-H EN grs	PROP. TEPETATE EN Kg	PROP. AGUA EN Lts	REVENIMIENTO EN cm	FECHA COLADO	FECHA RUPTURA	EDAD (DÍAS)	F'c EN Kg/cm ² (MPa)	CARGA EN Kg	RESISTENCIA EN Kg/cm ² (MPa)	% DE RESIST.
25	2.39	14.44	19.92	5.5	10.5	22/Abril /2015	25/Abril /2015	3	25 (2.45)	535	6.81 (0.67)	27.25
26	2.39	14.44	19.92	5.5	10.5	22/Abril /2015	25/Abril /2015	3	25 (2.45)	527	6.71 (0.66)	26.84
27	2.39	14.44	19.92	5.5	10.5	22/Abril /2015	29/Abril /2015	7	25 (2.45)	892	11.36 (1.11)	45.43
28	2.39	14.44	19.92	5.5	10.5	22/Abril /2015	29/Abril /2015	7	25 (2.45)	924	11.76 (1.15)	47.06
29	2.39	14.44	19.92	5.5	10.5	22/Abril /2015	06/Mayo /2015	14	25 (2.45)	1243	15.83 (1.55)	63.31
30	2.39	14.44	19.92	5.5	10.5	22/Abril /2015	06/Mayo /2015	14	25 (2.45)	1193	15.19 (1.49)	60.76
31	2.39	14.44	19.92	5.5	10.5	22/Abril /2015	20/Mayo /2015	28	25 (2.45)	1582	20.14 (1.98)	80.57
32	2.39	14.44	19.92	5.5	10.5	22/Abril /2015	20/Mayo /2015	28	25 (2.45)	1519	19.34 (1.90)	77.36

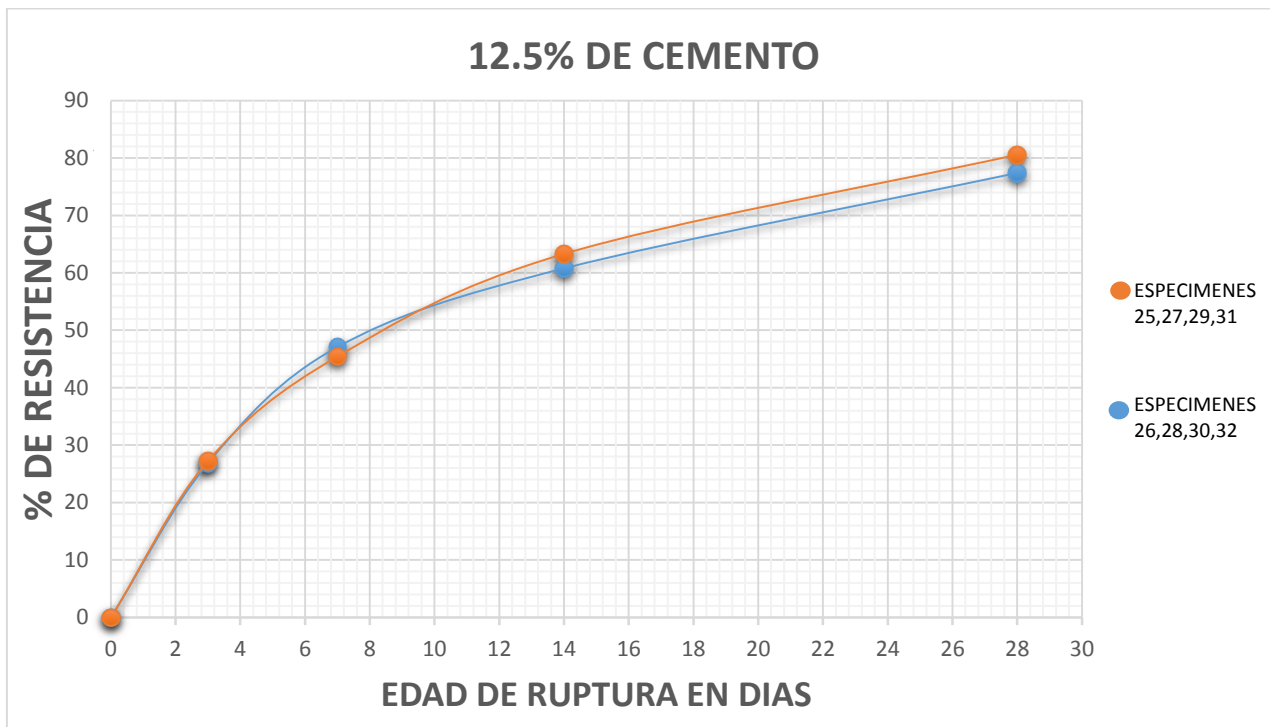
TABLA 24. Proporcionamiento del 12.5% de cemento.



GRAFICA 12. Carga-Edad de ruptura.



GRAFICA 13. Resistencia-Edad de ruptura.



GRAFICA 14. Porcentaje de Resistencia-Edad de ruptura.

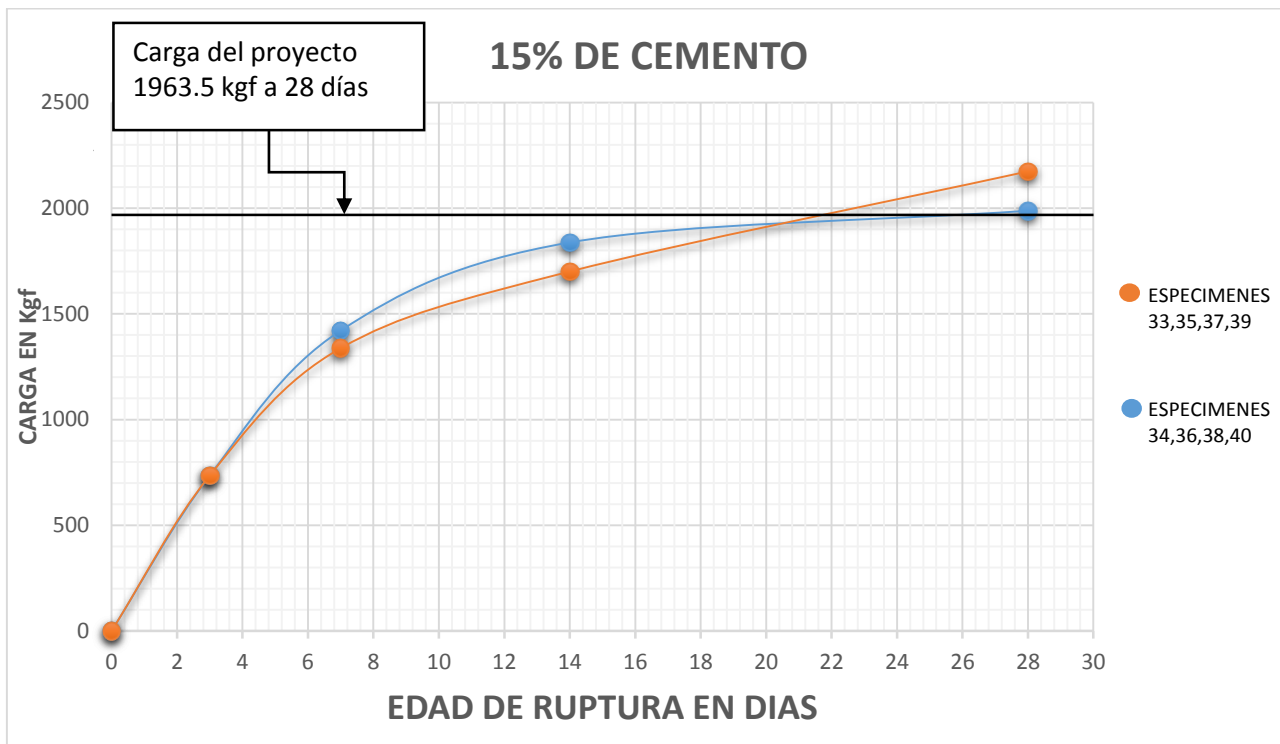
En estas graficas correspondientes para el proporcionamiento del 12.5% de cemento se puede observar que no se alcanzó el objetivo de esta tesis tras haber transcurrido la edad de prueba máxima que es de 28 días, el cual es obtener que soporte una carga de optima de 1963.5 Kgf, una resistencia de 25 Kgf/cm² y un 100% de resistencia.



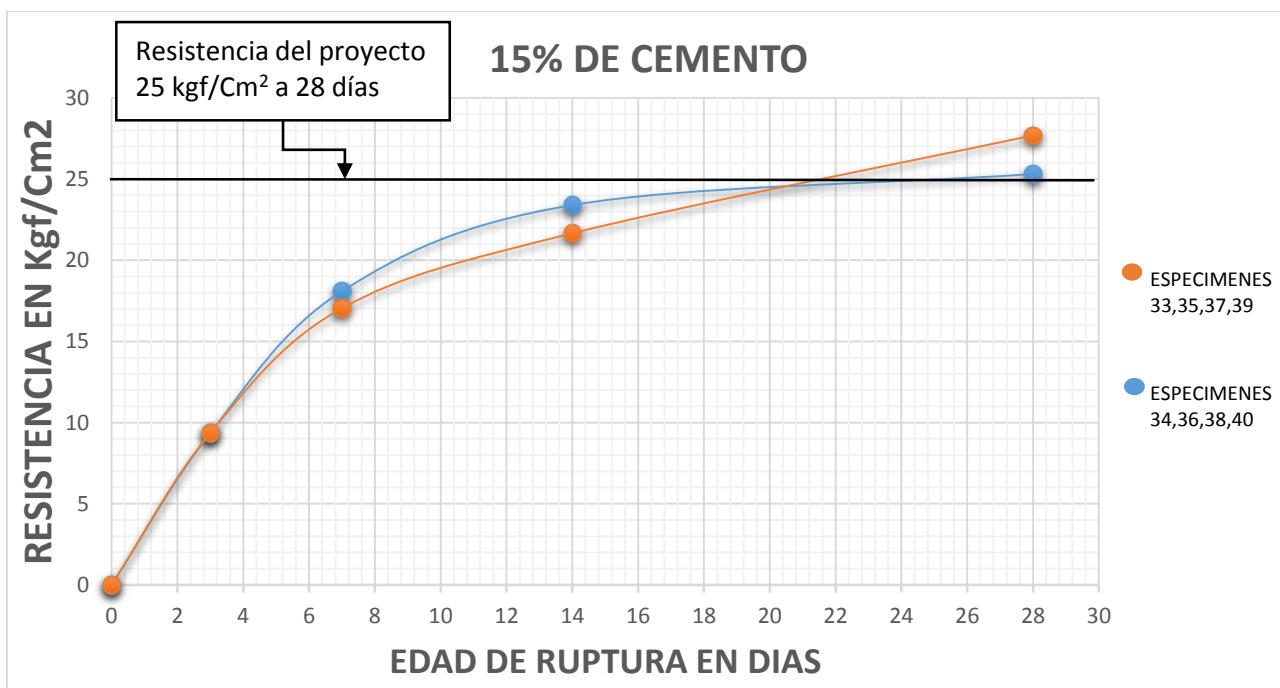
Proporcionamiento del 15% de cemento.

N° MUESTRA	PROP. CEMENTO EN Kg	PROP. MAXE-H EN grs	PROP. TEPETATE EN Kg	PROP. AGUA EN Lts	REVENIMIENTO EN cm	FECHA COLADO	FECHA RUPTURA	EDAD (DIAS)	F'c EN Kg/cm ² (MPa)	CARGA EN Kg	RESISTENCIA EN Kg/cm ² (MPa)	% DE RESIST.
33	2.98	14.44	19.92	5.5	10.6	22/Abril /2015	25/Abril /2015	3	25 (2.45)	735	9.36 (0.92)	37.43
34	2.98	14.44	19.92	5.5	10.6	22/Abril /2015	25/Abril /2015	3	25 (2.45)	735	9.36 (0.92)	37.43
35	2.98	14.44	19.92	5.5	10.6	22/Abril /2015	29/Abril /2015	7	25 (2.45)	1338	17.04 (1.67)	68.14
36	2.98	14.44	19.92	5.5	10.6	22/Abril /2015	29/Abril /2015	7	25 (2.45)	1421	18.09 (1.77)	72.37
37	2.98	14.44	19.92	5.5	10.6	22/Abril /2015	06/Mayo /2015	14	25 (2.45)	1701	21.66 (2.12)	86.63
38	2.98	14.44	19.92	5.5	10.6	22/Abril /2015	06/Mayo /2015	14	25 (2.45)	1838	23.40 (2.72)	93.61
39	2.98	14.44	19.92	5.5	10.6	22/Abril /2015	20/Mayo /2015	28	25 (2.45)	2175	27.69 (2.72)	110.77
40	2.98	14.44	19.92	5.5	10.6	22/Abril /2015	20/Mayo /2015	28	25 (2.45)	1988	25.31 (2.48)	101.25

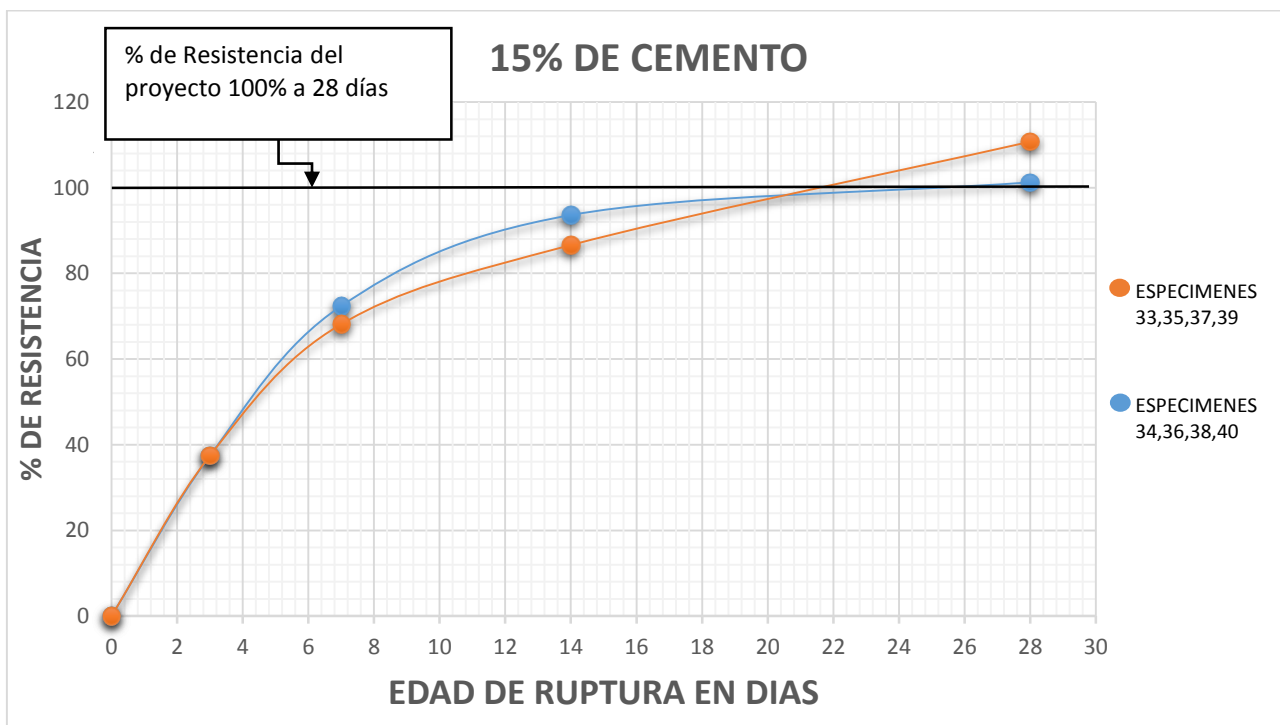
TABLA 25. Proporcionamiento del 12.5% de cemento.



GRAFICA 15. Carga-Edad de ruptura.



GRAFICA 16. Resistencia-Edad de ruptura.



GRAFICA 17. Porcentaje de Resistencia-Edad de ruptura.

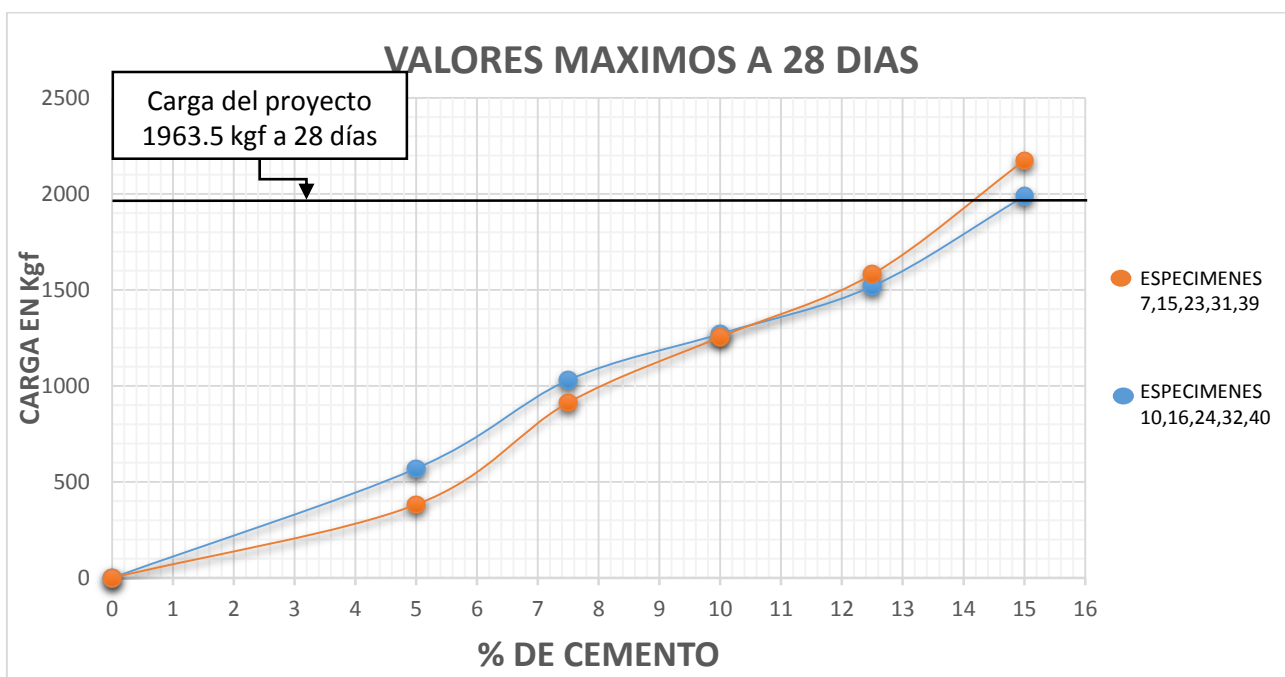
En estas graficas correspondientes para el proporcionamiento del 15% de cemento se puede observar que se alcanzó el objetivo de esta tesis tras haber transcurrido la edad de prueba máxima que es de 28 días, el cual es obtener que soporte una carga de optima de 1963.5 Kgf, una resistencia de 25 Kgf/cm² y un 100% de resistencia.



Esta tabla representa la carga máxima que soportaron los especímenes a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, mostrando esto para cada espécimen de acuerdo a su nomenclatura ya sea de número par o impar.

% Cemento	CARGA MÁXIMA En Kgf	
	Impares	Pares
0 %	0	0
5%	382	570
7.5%	913	1030
10%	1255	1271
12.5%	1582	1519
15%	2175	1988

TABLA 26. % de cemento y carga máxima.



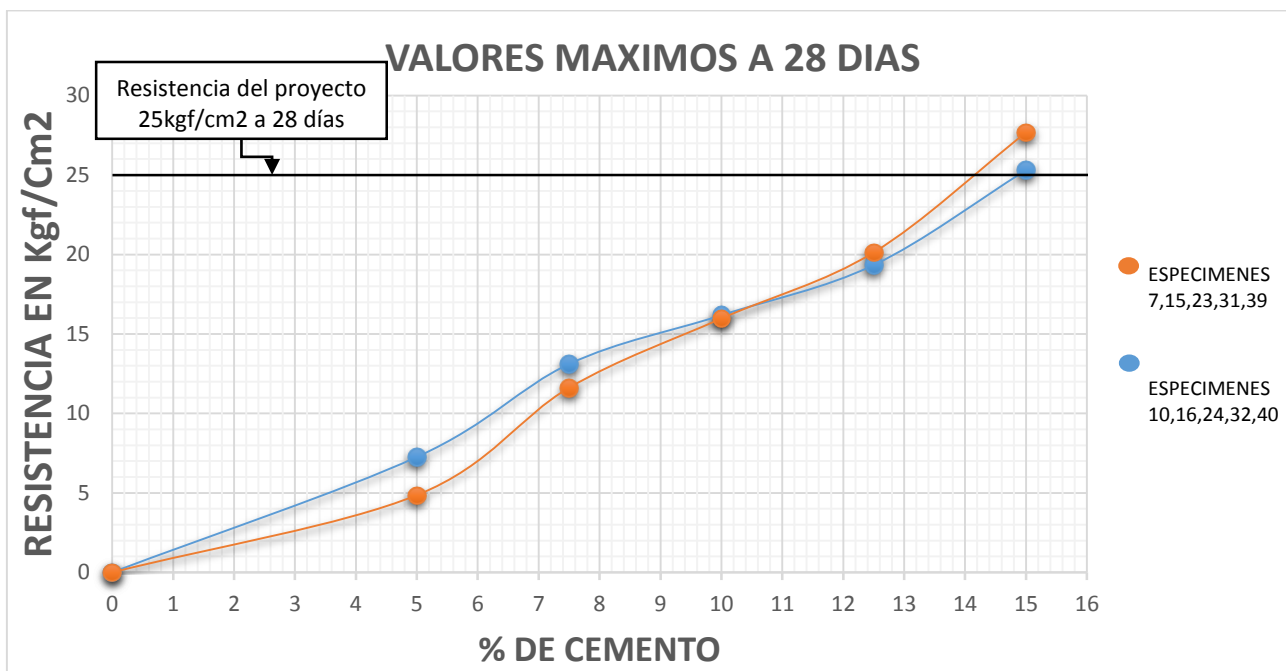
GRAFICA 17. Carga contra porcentaje de cemento, se graficaron los cilindros de nomenclatura par e impar como se muestra en la gráfica. De igual forma muestra que la carga del proyecto es de 1963.5 kgf a 28 días.



Esta tabla representa la resistencia máxima que soportaron los especímenes a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, mostrando esto para cada espécimen de acuerdo a su nomenclatura ya sea de número par o impar.

% Cemento	RESISTENCIA MÁXIMA En Kg/cm ²	
	Impares	Pares
0 %	0	0
5%	4.86	7.26
7.5%	11.62	13.11
10%	15.98	16.18
12.5%	20.14	19.34
15%	27.69	25.31

TABLA 27. % de cemento y resistencia máxima.



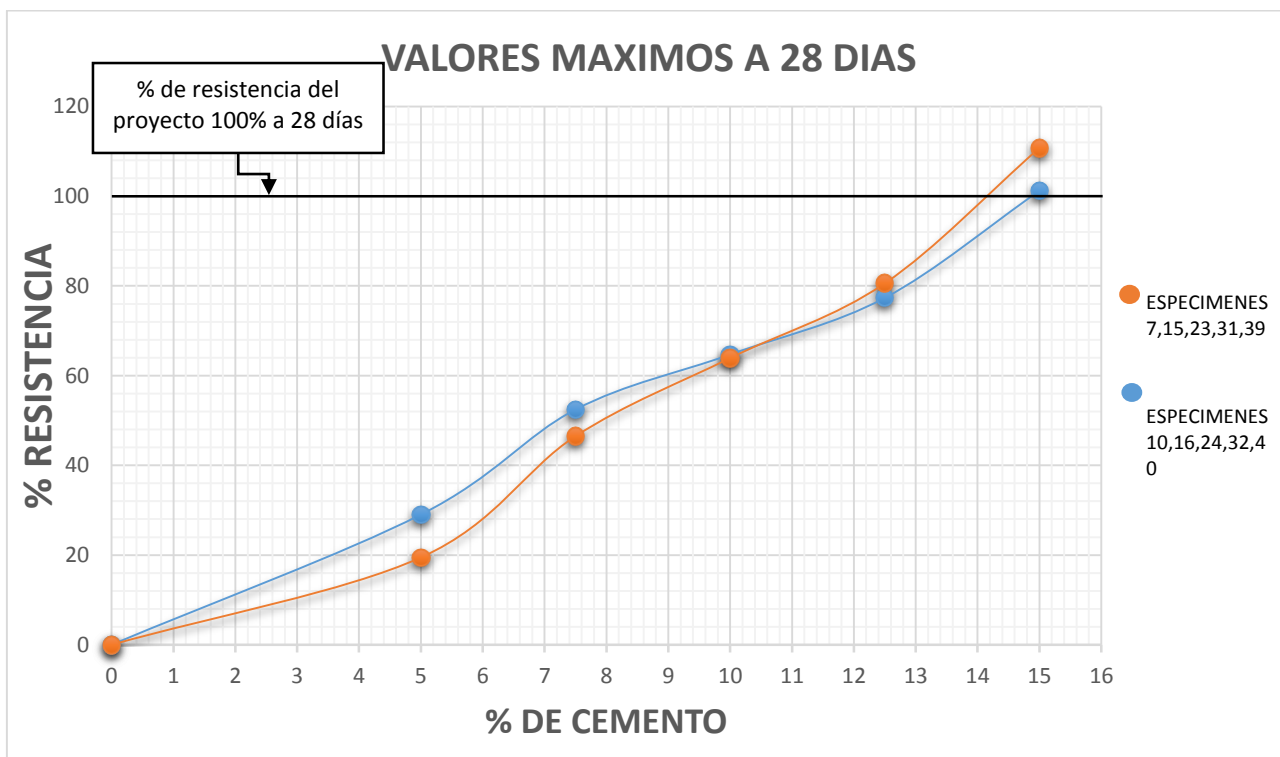
GRAFICA 18. Resistencia contra porcentaje de cemento, se graficaron los cilindros de nomenclatura par e impar como se muestra en la gráfica. De igual forma muestra que la resistencia del proyecto es de 25 kgf/cm² a 28 días.



Esta tabla representa el % resistencia máxima que soportaron los especímenes a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, mostrando esto para cada espécimen de acuerdo a su nomenclatura ya sea de número par o impar.

% Cemento	% RESISTENCIA MÁXIMA	
	Impares	Pares
0 %	0%	0%
5%	19.46%	29.03%
7.5%	46.5%	52.46%
10%	63.92%	64.73%
12.5%	80.57%	77.36%
15%	110.77%	101.25%

TABLA 28. % de cemento y % de resistencia máxima.



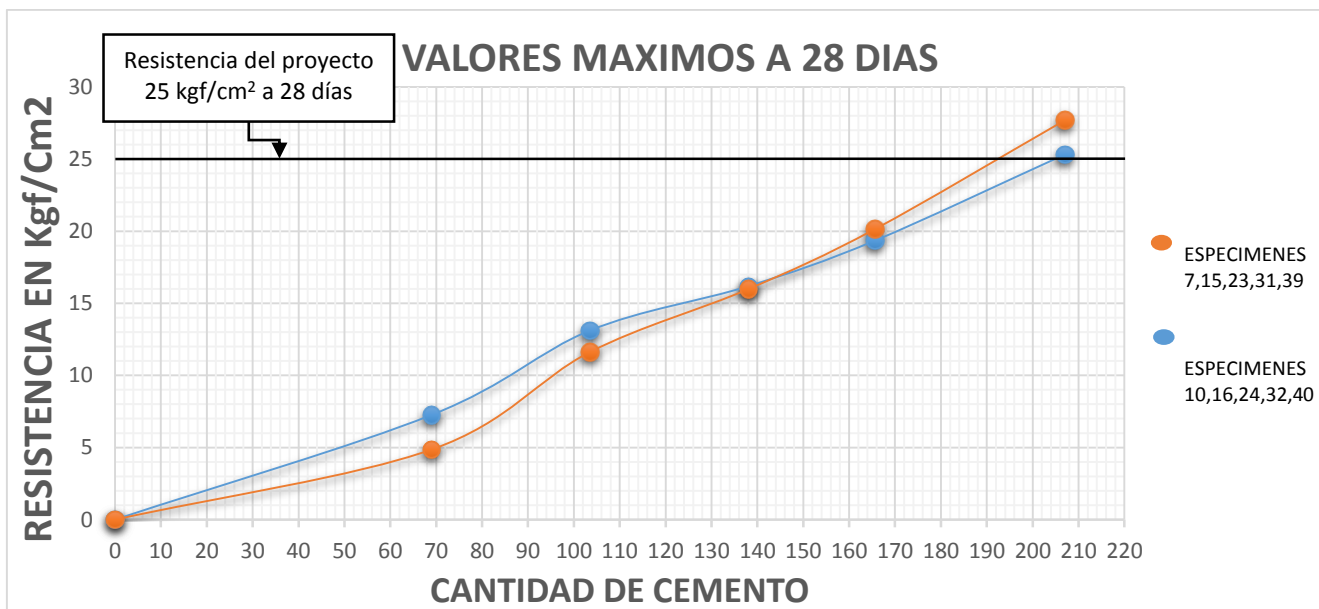
GRAFICA 19. Porcentaje de resistencia contra porcentaje de cemento, se graficaron los cilindros de nomenclatura par e impar como se muestra en la gráfica. De igual forma muestra que el porcentaje de resistencia del proyecto es del 100% a 28 días.



Esta tabla representa la carga máxima que soportaron los especímenes a la edad de 28 días con cada cantidad de cemento de acuerdo a su proporcionamiento, mostrando esto para cada espécimen de acuerdo a su nomenclatura ya sea de número par o impar.

Cantidad de cemento en Kg/m ³	CARGA MÁXIMA	
	En Kgf	
	Impares	Pares
0	0	0
69	382	570
103.5	913	1030
138	1255	1271
165.6	1582	1519
207	2175	1988

TABLA 29. Cantidad de cemento y carga máxima.



GRAFICA 20. Resistencia contra cantidad de cemento, se graficaron los cilindros de nomenclatura par e impar como se muestra en la gráfica. De igual forma muestra que la resistencia del proyecto es de 25 Kg/cm² a 28 días.



8.- ESPECÍMENES CURADOS MEDIANTE LA SATURACIÓN EN AGUA.

Para la investigación realizada sobre la determinación del porcentaje óptimo para el suelo-cemento fluido, para la región de San Miguel de Allende se realizaron 40 especímenes para ser probados a compresión simple y conocer el porcentaje óptimo con el cual se obtenga la resistencia de 25 Kg/cm².

Mediante el mismo procedimiento constructivo y de prueba, se realizaron 40 especímenes más, esto por recomendación del M.I. Felipe de Jesús Jerónimo Rodríguez, asesor de esta tesis, dichos especímenes se colocaron en una pila llena de agua para lograr que estos se mantuvieran saturados para que se llevara a cabo un curado similar al de los especímenes de concreto. Para así poder observar cuanta es la diferencia en cuanto a resistencia respecto a los especímenes anteriores los cuales solo se colocaron en un lugar de temperatura ambiente y solo se les realizó un curado mediante una bolsa húmeda que cubría el espécimen.

Para lo cual a continuación se mostrara el reporte fotográfico que muestra la realización de dichos especímenes para lo cual se omitirá el procedimiento paso por paso ya que es exactamente el mismo que se describió anteriormente para los especímenes anteriores y solo se mostrara un reporte fotográfico de este.

Para el procedimiento de prueba realizado para estos especímenes saturados en agua cabe mencionar que fue exactamente de la misma forma en que se probaron los especímenes anteriores, 20 de ellos se probaron en la máquina de prensa hidráulica para ensaye de prueba Porter, de la sección de mecánica de suelos del laboratorio de materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, los cuales fueron probados, dos especímenes a 3 y 7 días de edad, esto para cada proporcionamiento de cemento, los cuales son el, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15%. Los 20 especímenes más fueron probados en la máquina universal Forney en la sección de resistencia de materiales del laboratorio de materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, los cuales fueron probados, dos



especímenes a 14 y 28 días de edad, esto para cada proporcionamiento de cemento, los cuales son el, 5%,7.5%,10%,12.5% y 15%.

A continuación se mostrara un resumen fotográfico de la realización de los especímenes que se pusieron a saturar en agua.



FIGURA 139. Especímenes terminados colocados en un lugar seguro y curado con bolsa húmeda.



FIGURA 140. Material utilizado para la elaboración de los especímenes.



FIGURA 141. Pila donde se colocaran los especímenes.



FIGURA 142. Especímenes listos para descimbrar.



FIGURA 143. Desimbrando los especímenes.

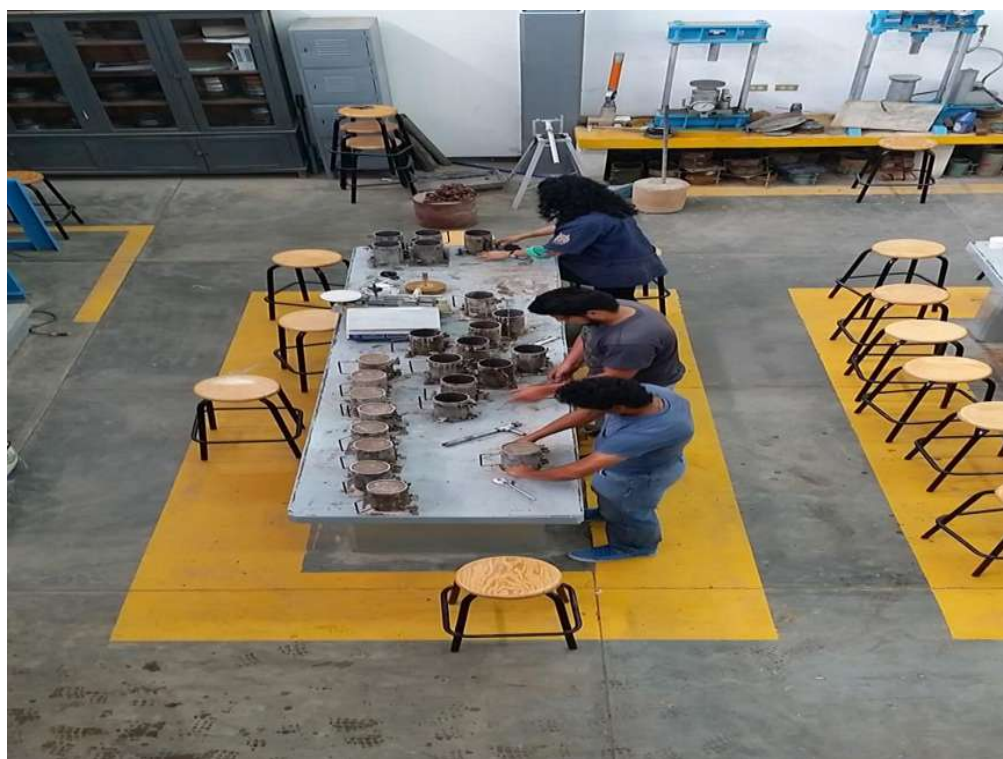


FIGURA 144. Equipo de desimbradores.



FIGURA 145. Colocando los especímenes dentro de la pila llena de agua.



FIGURA 146. Especímenes colocados dentro de la pila llena de agua.



FIGURA 147. Especímenes saturados en agua.



8.1.- PRUEBA A COMPRESIÓN SIMPLE DE LOS ESPECÍMENES SATURADOS.



FIGURA 148. Escurriendo los especímenes antes de ser probados.



FIGURA 149. Especimen antes de ser cabeceado.



FIGURA 150. Especimen cabeceado listo para probar.



FIGURA 151. Especimen colocado en la maquina antes de aplicar la carga.



FIGURA 152. Fractura del espécimen al llegar a su máxima resistencia.



FIGURA 153. Lectura de la carga aplicada.

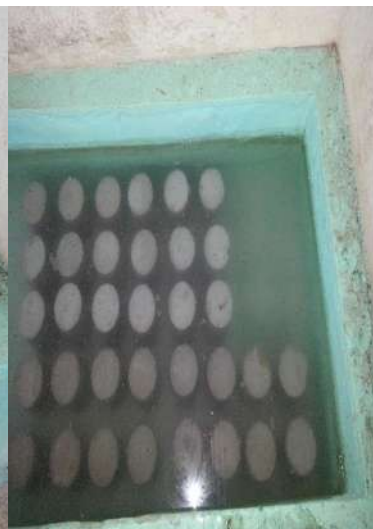


8.1.1.- Reporte fotografico.

De esta manera se realizo la prueba para los especimenes con edad de 3 y 7 dias para los proporcionamientos del, 5%,7.5%,10%,12.5% y 15% de cemento. Por lo que a continuacion se muestra un reporte fotografico de lo que fue esta prueba para cada especimen.









































Resumen fotográfico de la prueba de compresión simple de los especímenes saturados en agua con la edad de 3, 7, 14 y 28 días. Donde se muestran fotos del cabeceo de los especímenes, de la colocación en la máquina, de la ruptura del espécimen y de la lectura de la carga soportada por la muestra.



8.2.- ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE RESULTADOS.

8.2.1.- tablas, gráficas y resultados de los proporcionamientos de los especímenes saturados en agua.

RESULTADOS DE LOS PROPORCIONAMIENTOS.

Porcentaje de cemento	Volumen por 8 cilindros en m ³	15% de Desperdicio en m ³	Cemento en Kg	Agua en Lts (real)	Aditivo Maxe-h en gr	Tepe-tate en Kg	Revenimiento en cm	Proporcionamiento de cemento en Kg/m ³
5%	0.01256	0.00188	0.99	5.4	14.44	19.92	12.5	69.0
7.5%	0.01256	0.00188	1.49	5.5	14.44	19.92	9.0	103.5
10%	0.01256	0.00188	1.99	5.5	14.44	19.92	9.5	138.0
12.5%	0.01256	0.00188	2.39	5.5	14.44	19.92	10.0	165.6
15%	0.01256	0.00188	2.98	5.5	14.44	19.92	11.0	207.0

TABLA 30. Resultados de los proporcionamientos.



TEMPERATURAS DE LAS MEZCLAS.

PORCENTAJE DE CEMENTO	TEMPERATURA DE LA MEZCLA
5%	26 °C
7.5%	27 °C
10%	27 °C
12.5%	25 °C
15%	24 °C

TABLA 31. Temperaturas presentadas a la hora que se realizó la mezcla.



TABLA DE RESULTADOS DEL LOS PESOS VOLUMÉTRICOS.

No. de Muestra	Proporción de cemento en %	Diámetro en cm	Área en cm ²	Altura en cm	Volumen en m ³	Peso Húmedo en Kg	Peso volumétrico fresco en Kg/m ³	Peso en Kg	Peso volumétrico (γ_m) en Kg/m ³
1	5	10	78.54	20	0.0015708	3.620	2304	2.905	1849
2	5	10	78.54	20	0.0015708	3.020	1922	2.930	1865
3	5	10	78.54	20	0.0015708	3.020	1922	2.980	1897
4	5	10	78.54	20	0.0015708	3.010	1916	2.940	1872
5	5	10	78.54	20	0.0015708	3.140	1999	2.945	1875
6	5	10	78.54	20	0.0015708	3.055	1945	2.945	1875
7	5	10	78.54	20	0.0015708	3.130	1993	2.915	1856
8	5	10	78.54	20	0.0015708	3.000	1910	3.000	1910
9	7.5	10	78.54	20	0.0015708	3.000	1910	2.970	1891
10	7.5	10	78.54	20	0.0015708	2.940	1872	2.985	1900
11	7.5	10	78.54	20	0.0015708	3.095	1970	2.950	1878
12	7.5	10	78.54	20	0.0015708	3.305	2104	2.960	1884
13	7.5	10	78.54	20	0.0015708	3.100	1973	3.050	1942
14	7.5	10	78.54	20	0.0015708	3.185	2028	2.980	1897
15	7.5	10	78.54	20	0.0015708	4.100	2610	2.980	1897
16	7.5	10	78.54	20	0.0015708	3.380	2152	2.955	1881
17	10	10	78.54	20	0.0015708	3.050	1947	2.990	1903
18	10	10	78.54	20	0.0015708	3.110	1980	2.960	1884
19	10	10	78.54	20	0.0015708	3.065	1951	2.940	1872
20	10	10	78.54	20	0.0015708	2.970	1891	2.930	1865

TABLA 32. Peso volumétrico.



TABLA DE RESULTADOS DEL LOS PESOS VOLUMÉTRICOS.

No. de Muestra	Proporción de cemento en %	Diámetro en cm	Área en cm ²	Altura en cm	Volumen en m ³	Peso Húmedo en Kg	Peso volumétrico fresco en Kg/m ³	Peso en Kg	Peso volumétrico (γ_m) en Kg/m ³
21	10	10	78.54	20	0.0015708	3.050	1942	2.980	1897
22	10	10	78.54	20	0.0015708	3.070	1954	2.970	1891
23	10	10	78.54	20	0.0015708	3.430	2184	2.990	1903
24	10	10	78.54	20	0.0015708	2.990	1903	2.995	1907
25	12.5	10	78.54	20	0.0015708	3.410	2171	2.985	1900
26	12.5	10	78.54	20	0.0015708	3.070	1954	2.980	1897
27	12.5	10	78.54	20	0.0015708	3.070	1954	2.985	1900
28	12.5	10	78.54	20	0.0015708	3.355	2136	2.990	1903
29	12.5	10	78.54	20	0.0015708	3.490	2222	2.990	1903
30	12.5	10	78.54	20	0.0015708	3.040	1935	2.980	1897
31	12.5	10	78.54	20	0.0015708	3.195	2034	2.985	1900
32	12.5	10	78.54	20	0.0015708	3.455	2199	3.000	1910
33	15	10	78.54	20	0.0015708	3.105	1977	2.960	1884
34	15	10	78.54	20	0.0015708	3.095	1970	2.970	1891
35	15	10	78.54	20	0.0015708	3.400	2164	2.985	1900
36	15	10	78.54	20	0.0015708	3.150	2005	2.940	1872
37	15	10	78.54	20	0.0015708	3.140	1999	2.800	1782
38	15	10	78.54	20	0.0015708	3.085	1964	2.960	1884
39	15	10	78.54	20	0.0015708	3.040	1935	3.000	1910
40	15	10	78.54	20	0.0015708	2.980	1897	2.995	1907

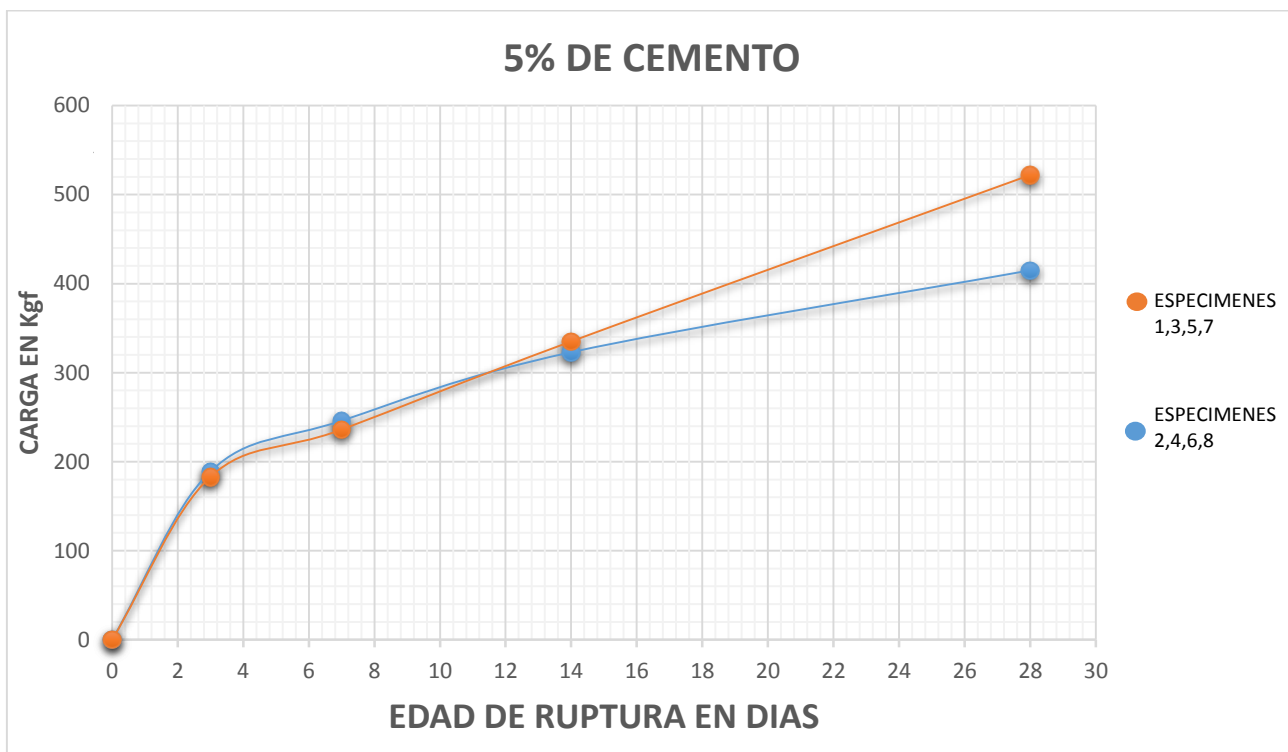
TABLA 33. Peso volumétrico.



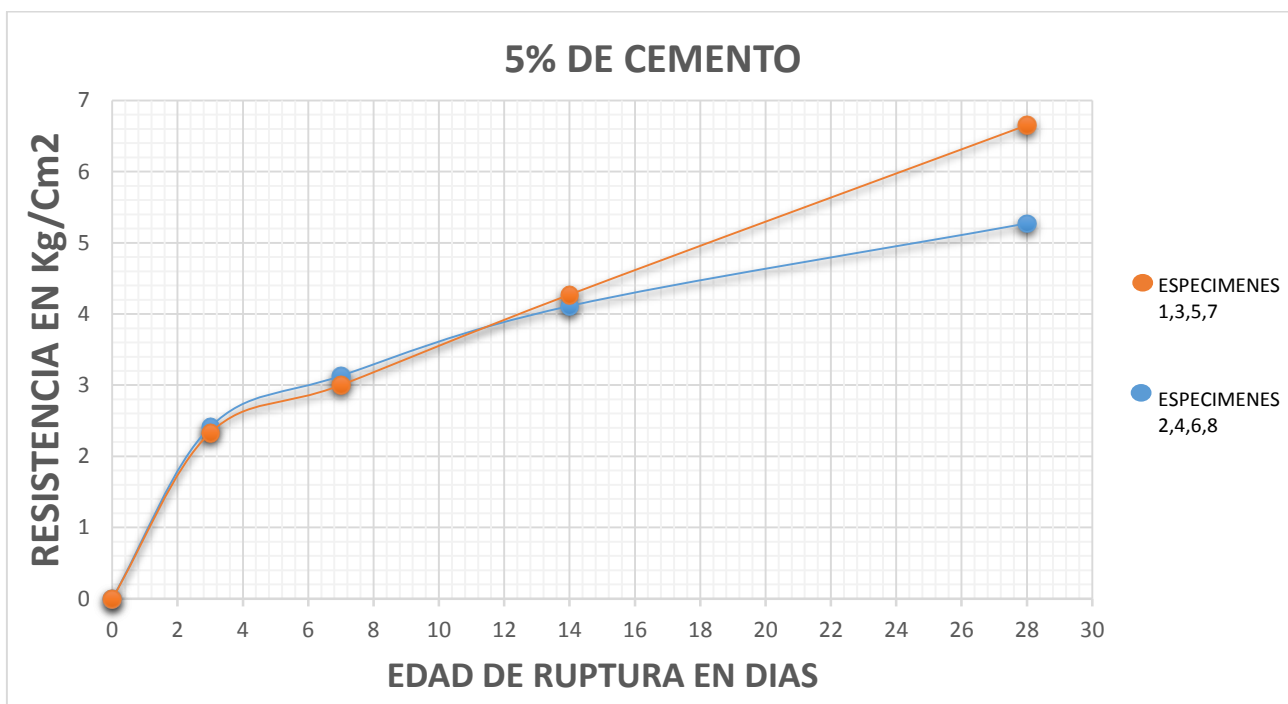
Proporcionamiento del 5% de cemento.

N° MUESTRA	PROP. CEMENTO EN Kg	PROP. MAXE-H EN grs	PROP. TEPETATE EN Kg	PROP AGUA EN Lts	REVENIMIENTO EN cm	FECHA COLADO	FECHA RUPTURA	EDAD (DÍAS)	F'c EN Kg/cm ² (MPa)	CARGA EN Kg	RESISTENCIA EN Kg/cm ² (MPa)	% DE RESIST.
1	0.99	14.44	19.92	5.4	12.5	27/Abril /2015	30/Abril /2015	3	25 (2.45)	183	2.33 (0.23)	9.32
2	0.99	14.44	19.92	5.4	12.5	27/Abril /2015	30/Abril /2015	3	25 (2.45)	189	2.41 (0.24)	9.63
3	0.99	14.44	19.92	5.4	12.5	27/Abril /2015	04/Mayo /2015	7	25 (2.45)	236	3.00 (0.29)	12.02
4	0.99	14.44	19.92	5.4	12.5	27/Abril /2015	04/Mayo /2015	7	25 (2.45)	246	3.13 (0.31)	12.53
5	0.99	14.44	19.92	5.4	12.5	27/Abril /2015	11/Mayo /2015	14	25 (2.45)	335	4.27 (0.42)	17.06
6	0.99	14.44	19.92	5.4	12.5	27/Abril /2015	11/Mayo /2015	14	25 (2.45)	323	4.11 (0.40)	16.45
7	0.99	14.44	19.92	5.4	12.5	27/Abril /2015	25/Mayo /2015	28	25 (2.45)	522	6.65 (0.65)	26.59
8	0.99	14.44	19.92	5.4	12.5	27/Abril /2015	25/Mayo /2015	28	25 (2.45)	414	5.27 (0.52)	21.08

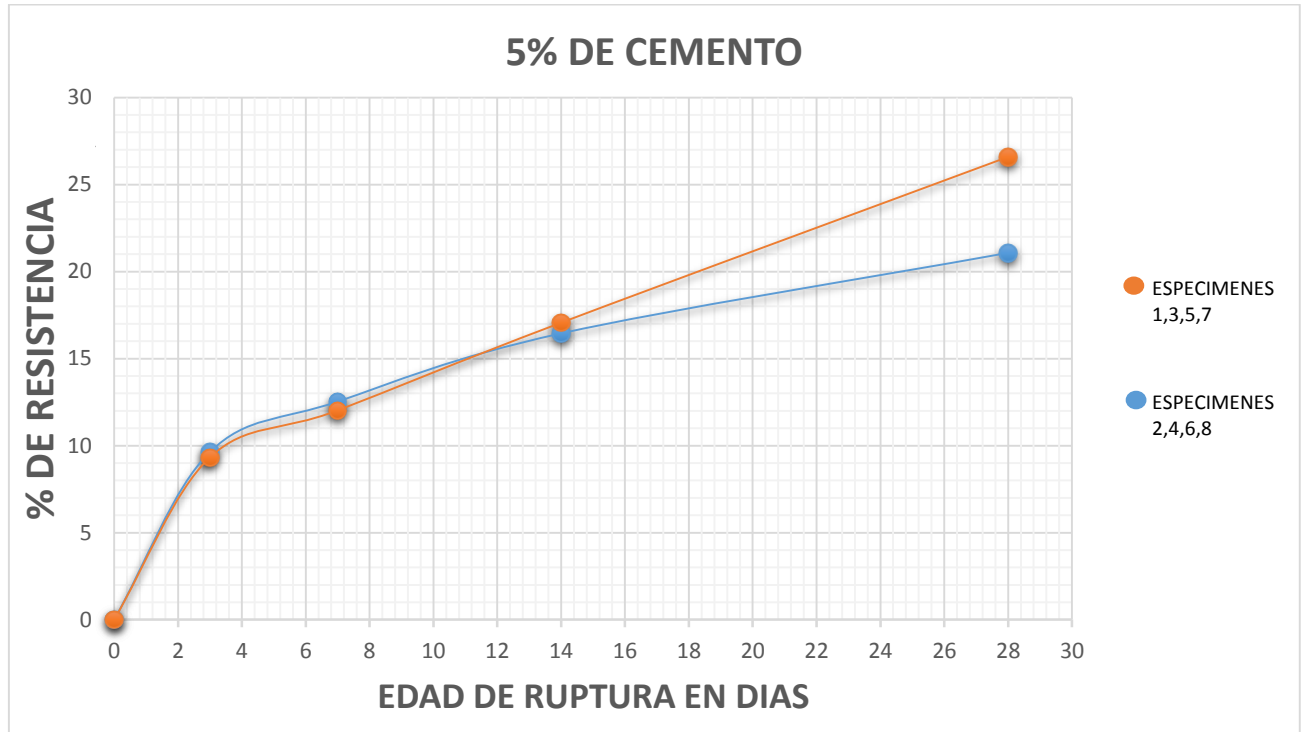
TABLA 34. Proporcionamiento del 5% de cemento.



GRAFICA 21. Carga-Edad de ruptura.



GRAFICA 22. Resistencia-Edad de ruptura.



GRAFICA 23. Porcentaje de resistencia-Edad de ruptura.

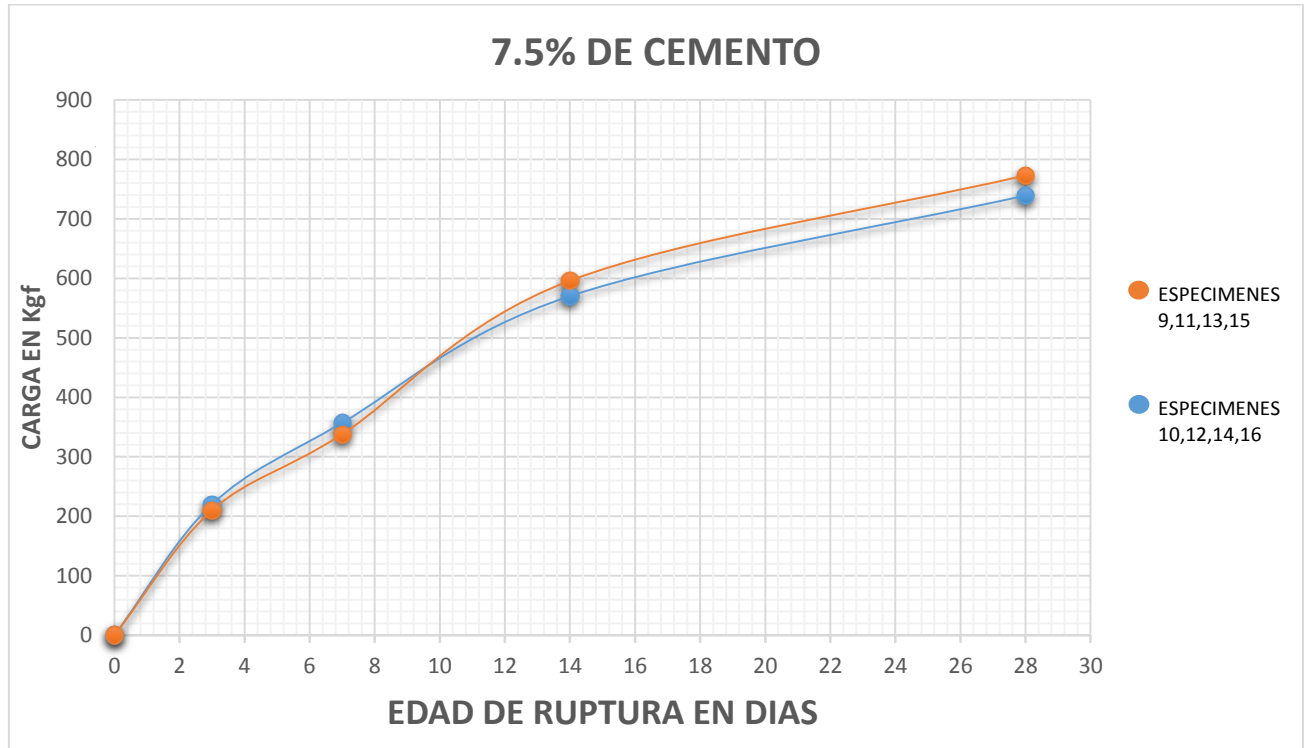
En estas graficas correspondientes para el proporcionamiento del 5% de cemento se puede observar que no se alcanzó el objetivo de esta tesis tras haber transcurrido la edad de prueba máxima que es de 28 días, el cual es obtener que soporte una carga de optima de 1963.5 Kgf, una resistencia de 25 Kgf/cm² y un 100% de resistencia.



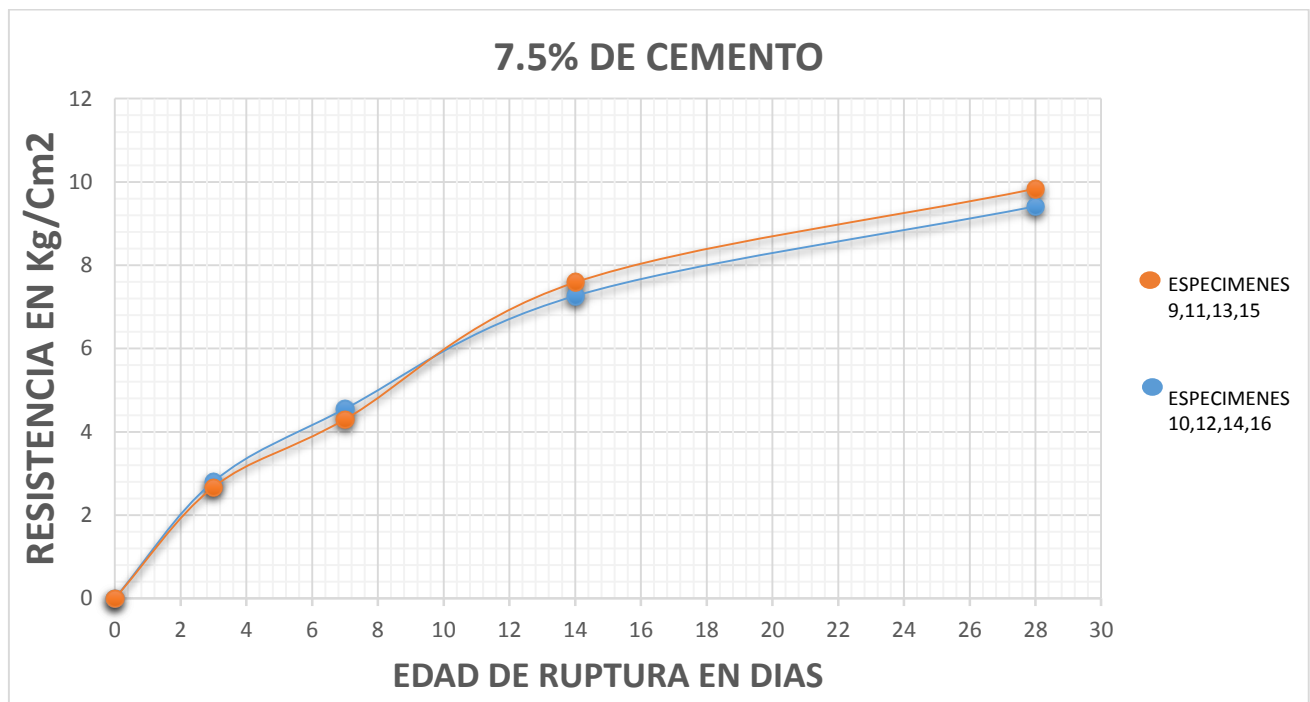
Proporcionamiento del 7.5% de cemento.

N° MUESTRA	PROP. CEMENTO EN Kg	PROP. MAXE-H EN grs	PROP. TEPETATE EN Kg	PROP. AGUA EN Lts	REVENI-MIENTO EN cm	FECHA COLADO	FECHA RUPTURA	EDAD (DÍAS)	F'c EN Kg/cm ² (MPa)	CARGA EN Kg	RESIS-TENCIA EN Kg/cm ² (MPa)	% DE RESIST.
9	1.49	14.44	19.92	5.5	9	27/Abril /2015	30/Abril /2015	3	25 (2.45)	210	2.67 (0.26)	10.70
10	1.49	14.44	19.92	5.5	9	27/Abril /2015	30/Abril /2015	3	25 (2.45)	220	2.80 (0.27)	11.20
11	1.49	14.44	19.92	5.5	9	27/Abril /2015	04/Mayo /2015	7	25 (2.45)	388	4.30 (0.42)	17.21
12	1.49	14.44	19.92	5.5	9	27/Abril /2015	04/Mayo /2015	7	25 (2.45)	357	4.55 (0.45)	18.18
13	1.49	14.44	19.92	5.5	9	27/Abril /2015	11/Mayo /2015	14	25 (2.45)	596	7.59 (0.74)	30.35
14	1.49	14.44	19.92	5.5	9	27/Abril /2015	11/Mayo /2015	14	25 (2.45)	570	7.26 (0.71)	29.03
15	1.49	14.44	19.92	5.5	9	27/Abril /2015	25/Mayo /2015	28	25 (2.45)	773	9.84 (0.97)	39.37
16	1.49	14.44	19.92	5.5	9	27/Abril /2015	25/Mayo /2015	28	25 (2.45)	739	9.41 (0.92)	37.64

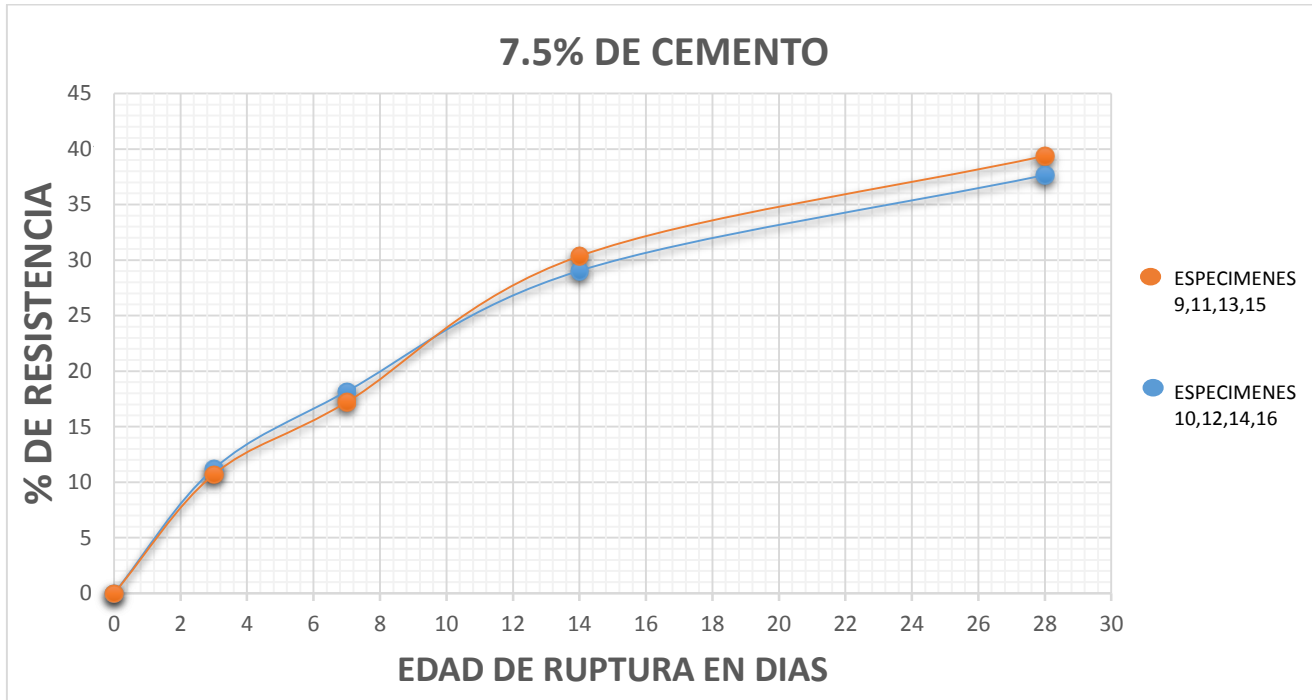
TABLA 35. Proporcionamiento del 7.5% de cemento.



GRAFICA 24. Carga-Edad de ruptura.



GRAFICA 25. Resistencia-Edad de ruptura.



GRAFICA 26. Porcentaje resistencia-Edad de ruptura.

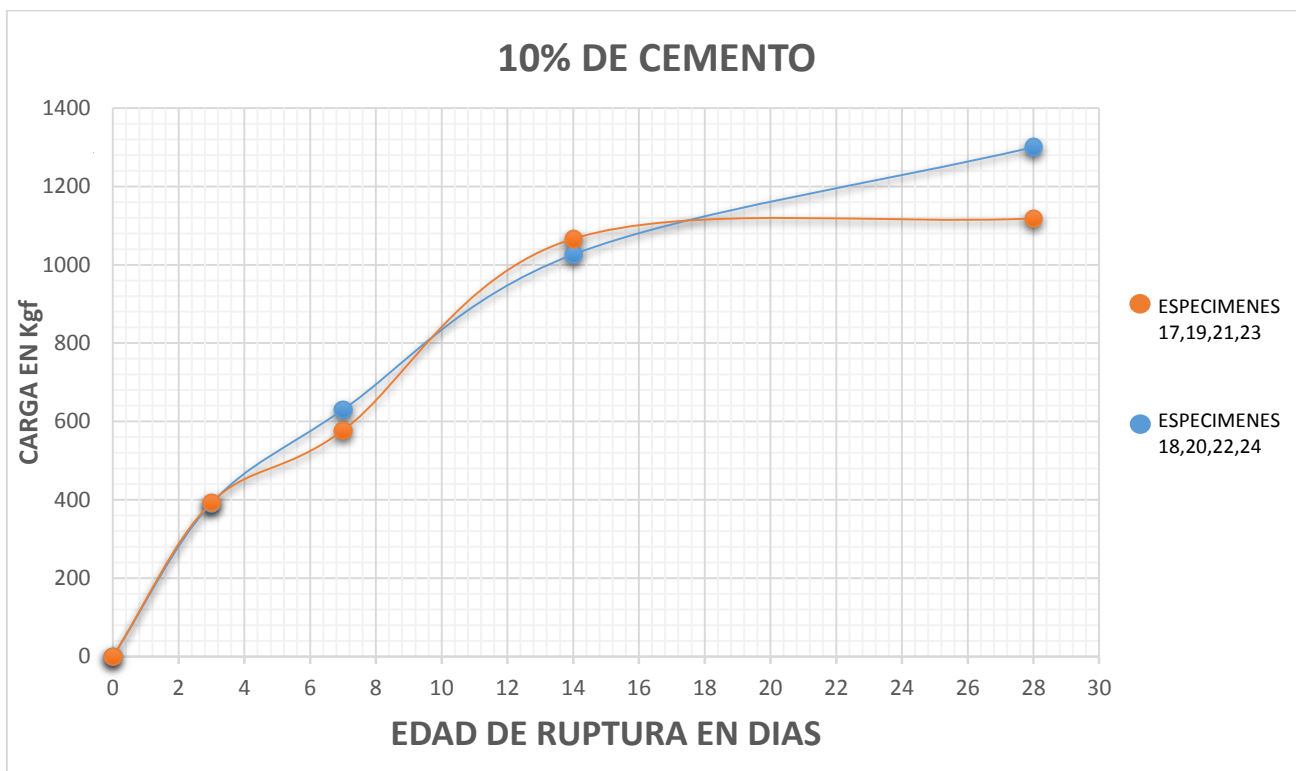
En estas graficas correspondientes para el proporcionamiento del 7.5% de cemento se puede observar que no se alcanzó el objetivo de esta tesis tras haber transcurrido la edad de prueba máxima que es de 28 días, el cual es obtener que soporte una carga de optima de 1963.5 Kgf, una resistencia de 25 Kgf/cm² y un 100% de resistencia.



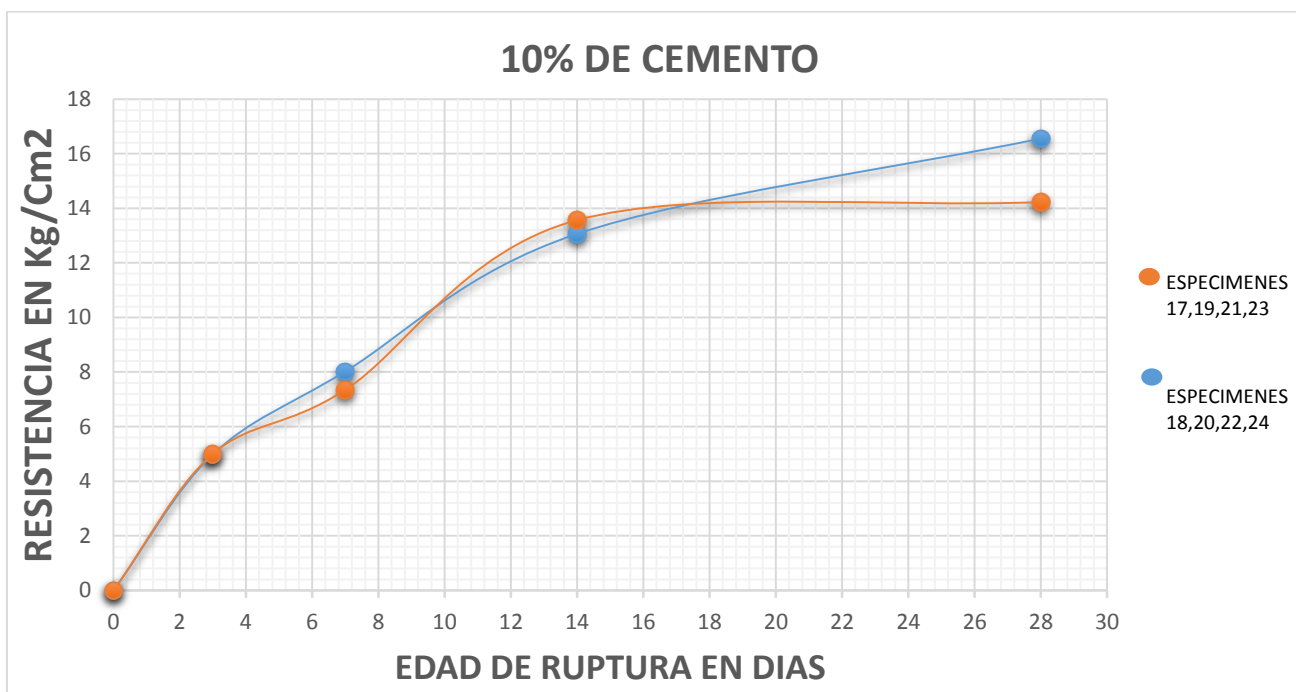
Proporcionamiento del 10% de cemento.

N° MUESTRA	PROP. CEMENTO EN Kg	PROP. MAXE-H EN grs	PROP. TEPETATE EN Kg	PROP. AGUA EN Lts	REVENIMIENTO EN cm	FECHA COLADO	FECHA RUPTURA	EDAD (DIAS)	F'c EN Kg/cm ² (MPa)	CARGA EN Kg	RESISTENCIA EN Kg/cm ² (MPa)	% DE RESIST.
17	1.99	14.44	19.92	5.5	9.5	27/Abril /2015	30/Abril /2015	3	25 (2.45)	393	5.00 (0.49)	20.02
18	1.99	14.44	19.92	5.5	9.5	27/Abril /2015	30/Abril /2015	3	25 (2.45)	391	4.98 (0.49)	19.91
19	1.99	14.44	19.92	5.5	9.5	27/Abril /2015	04/Mayo /2015	7	25 (2.45)	577	7.35 (0.72)	29.39
20	1.99	14.44	19.92	5.5	9.5	27/Abril /2015	04/Mayo /2015	7	25 (2.45)	630	8.02 (0.79)	32.09
21	1.99	14.44	19.92	5.5	9.5	27/Abril /2015	11/Mayo /2015	14	25 (2.45)	1066	13.53 (1.33)	54.29
22	1.99	14.44	19.92	5.5	9.5	27/Abril /2015	11/Mayo /2015	14	25 (2.45)	1026	13.06 (1.28)	52.25
23	1.99	14.44	19.92	5.5	9.5	27/Abril /2015	25/Mayo /2015	28	25 (2.45)	1118	14.23 (1.4)	56.94
24	1.99	14.44	19.92	5.5	9.5	27/Abril /2015	25/Mayo /2015	28	25 (2.45)	1300	16.55 (1.62)	66.21

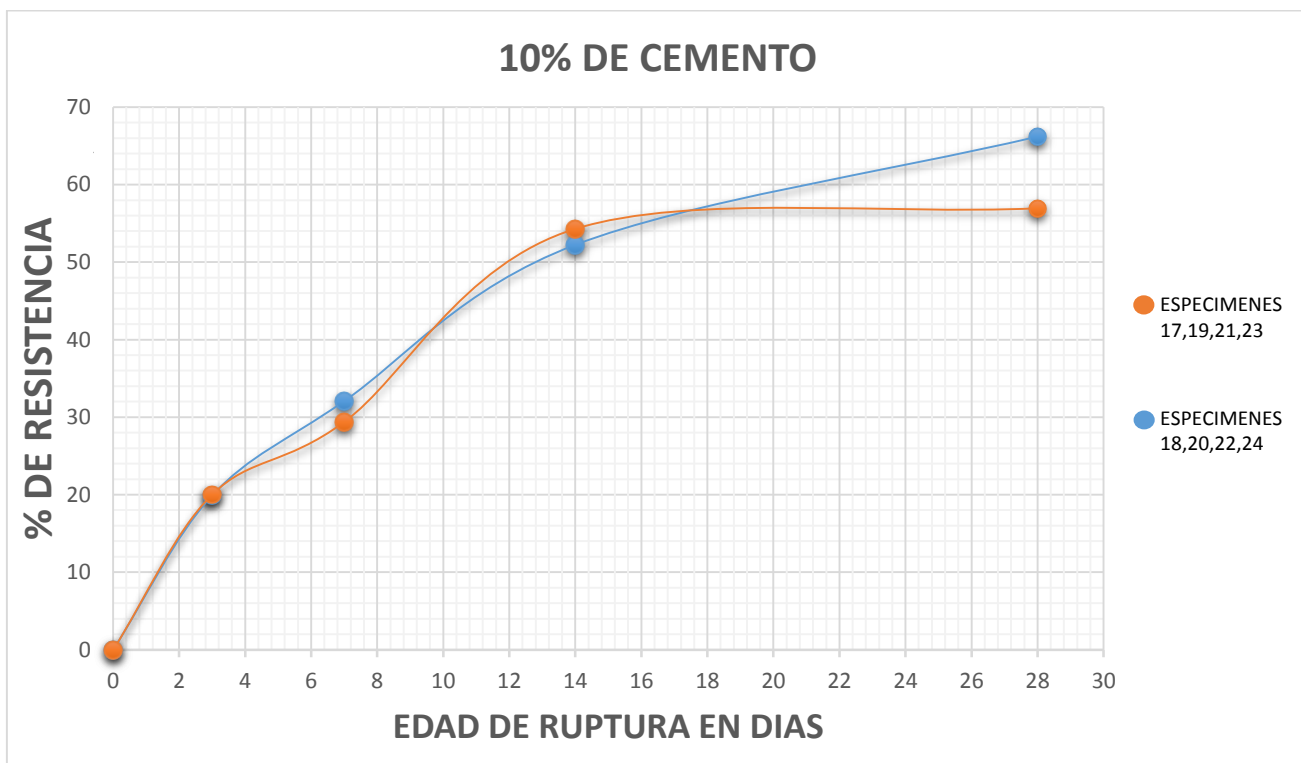
TABLA 36. Proporcionamiento del 10% de cemento.



GRAFICA 27. Carga-Edad de ruptura.



GRAFICA 28. Resistencia-Edad de ruptura.



GRAFICA 29. Porcentaje de resistencia-Edad de ruptura.

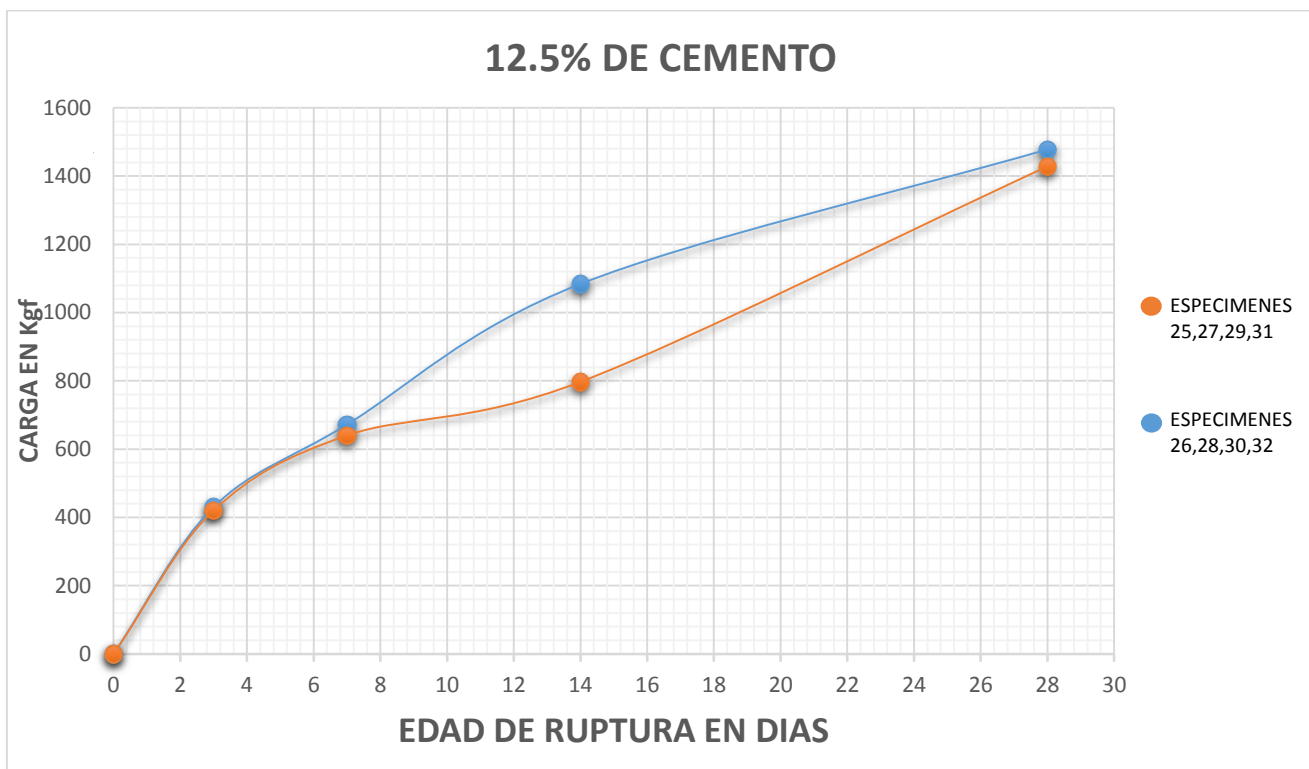
En estas graficas correspondientes para el proporcionamiento del 10% de cemento se puede observar que no se alcanzó el objetivo de esta tesis tras haber transcurrido la edad de prueba máxima que es de 28 días, el cual es obtener que soporte una carga de optima de 1963.5 Kgf, una resistencia de 25 Kgf/cm² y un 100% de resistencia.



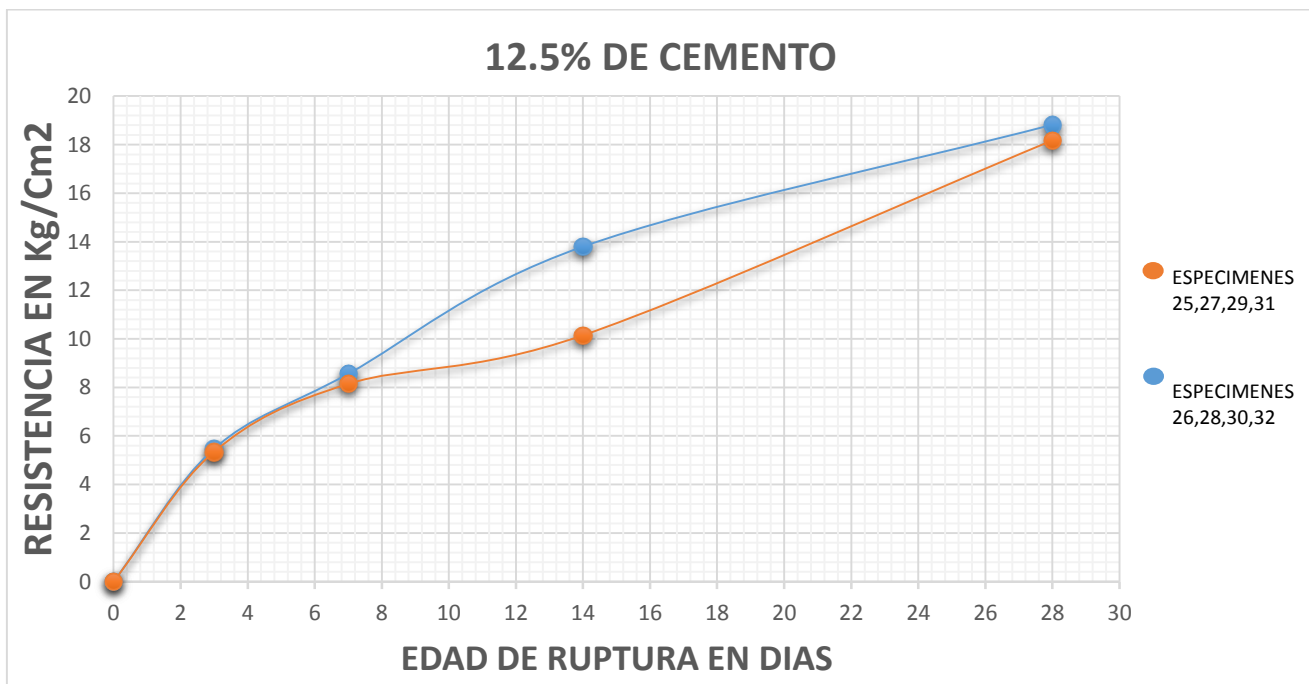
Proporcionamiento del 12.5% de cemento.

N° MUESTRA	PROP. CEMENTO EN Kg	PROP. MAXE-H EN grs	PROP. TEPETATE EN Kg	PROP. AGUA EN Lts	REVENIMIENTO EN cm	FECHA COLADO	FECHA RUPTURA	EDAD (DÍAS)	F'c EN Kg/cm ² (MPa)	CARGA EN Kg	RESISTENCIA EN Kg/cm ² (MPa)	% DE RESIST.
25	2.39	14.44	19.92	5.5	10	28/Abril /2015	01/Mayo /2015	3	25 (2.45)	420	5.35 (0.52)	21.39
26	2.39	14.44	19.92	5.5	10	28/Abril /2015	01/Mayo /2015	3	25 (2.45)	430	5.47 (0.54)	21.90
27	2.39	14.44	19.92	5.5	10	28/Abril /2015	05/Mayo /2015	7	25 (2.45)	640	8.15 (0.80)	32.59
28	2.39	14.44	19.92	5.5	10	28/Abril /2015	05/Mayo /2015	7	25 (2.45)	672	8.56 (0.84)	34.22
29	2.39	14.44	19.92	5.5	10	28/Abril /2015	12/Mayo /2015	14	25 (2.45)	797	10.15 (1.00)	40.59
30	2.39	14.44	19.92	5.5	10	28/Abril /2015	12/Mayo /2015	14	25 (2.45)	1084	13.80 (1.35)	55.21
31	2.39	14.44	19.92	5.5	10	28/Abril /2015	26/Mayo /2015	28	25 (2.45)	1428	18.18 (1.78)	72.27
32	2.39	14.44	19.92	5.5	10	28/Abril /2015	26/Mayo /2015	28	25 (2.45)	1478	18.82 (1.85)	75.27

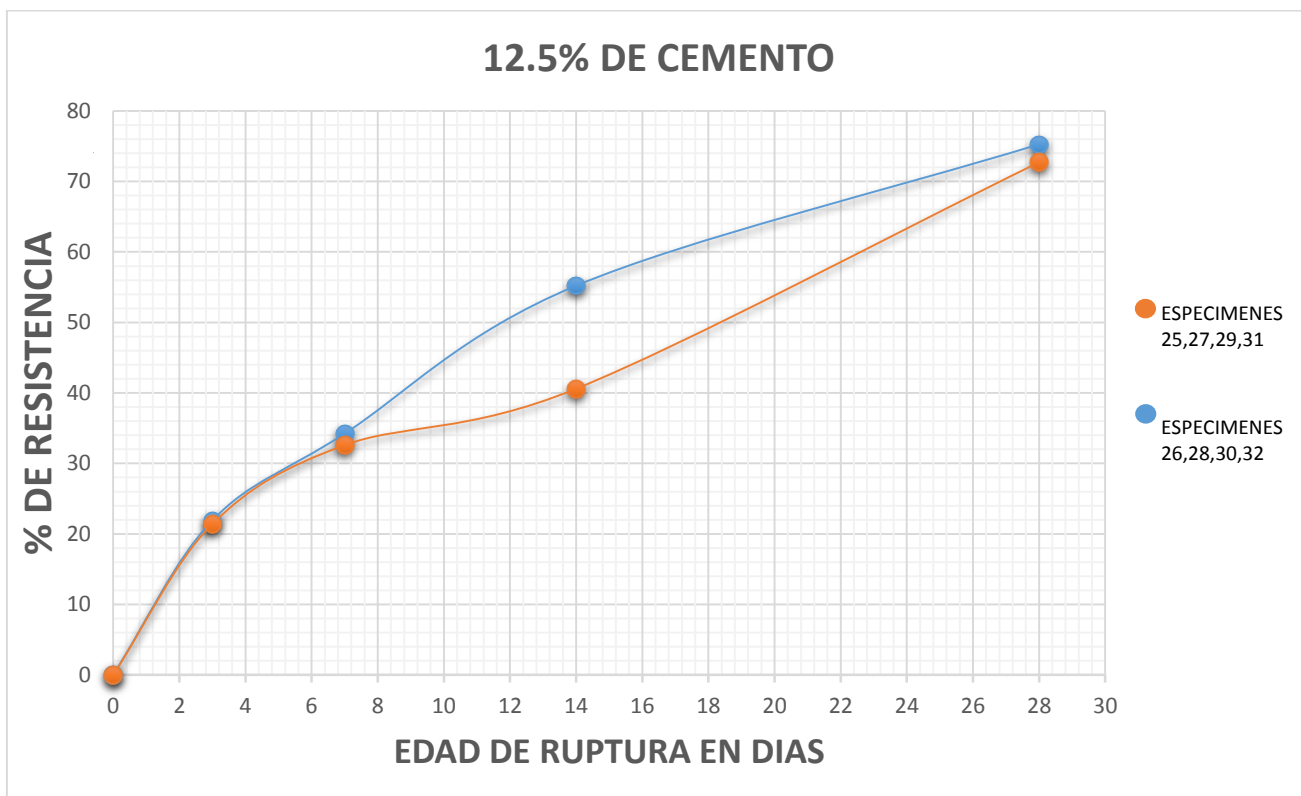
TABLA 37. Proporcionamiento del 12.5% de cemento.



GRAFICA 30. Carga-Edad de ruptura.



GRAFICA 31. Resistencia-Edad de ruptura.



GRAFICA 32. Porcentaje de resistencia-Edad de ruptura.

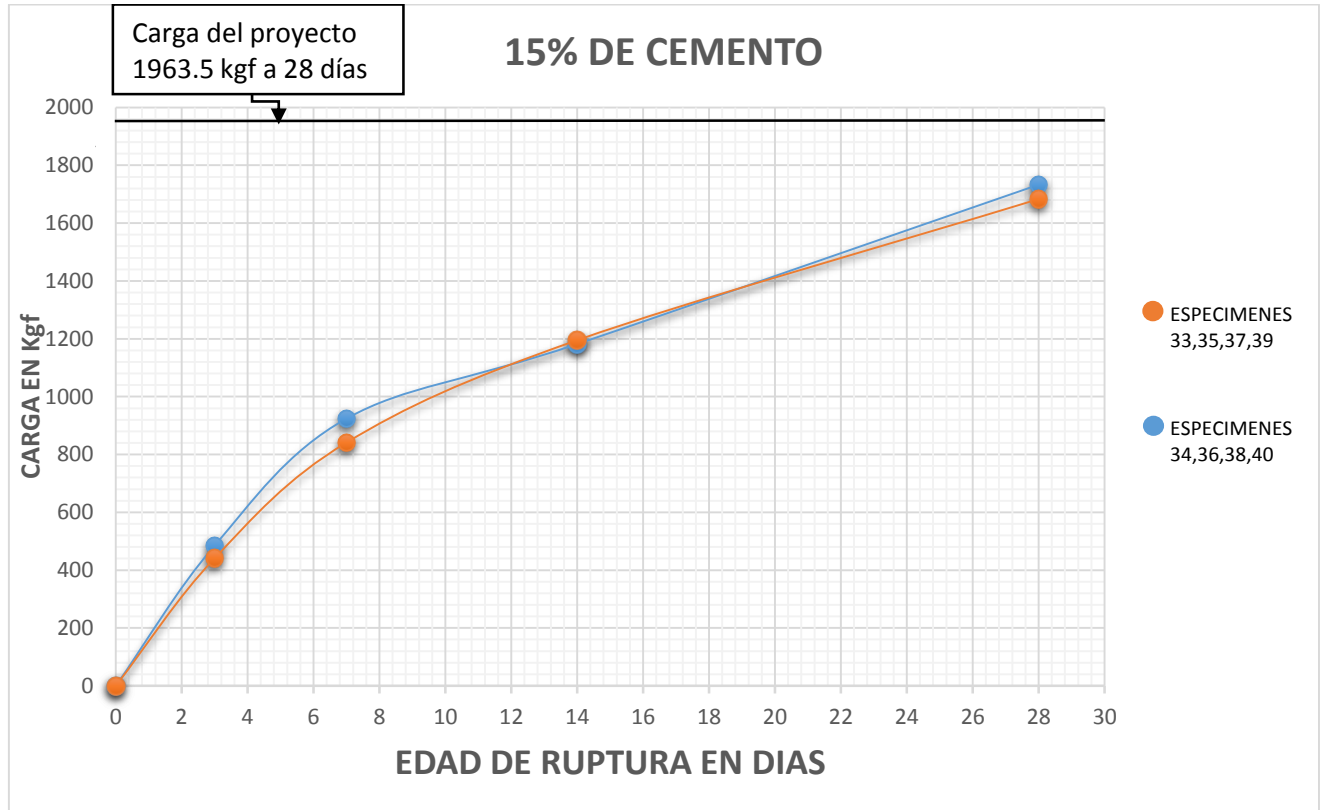
En estas graficas correspondientes para el proporcionamiento del 12.5% de cemento se puede observar que no se alcanzó el objetivo de esta tesis tras haber transcurrido la edad de prueba máxima que es de 28 días, el cual es obtener que soporte una carga de optima de 1963.5 Kgf, una resistencia de 25 Kgf/cm² y un 100% de resistencia.



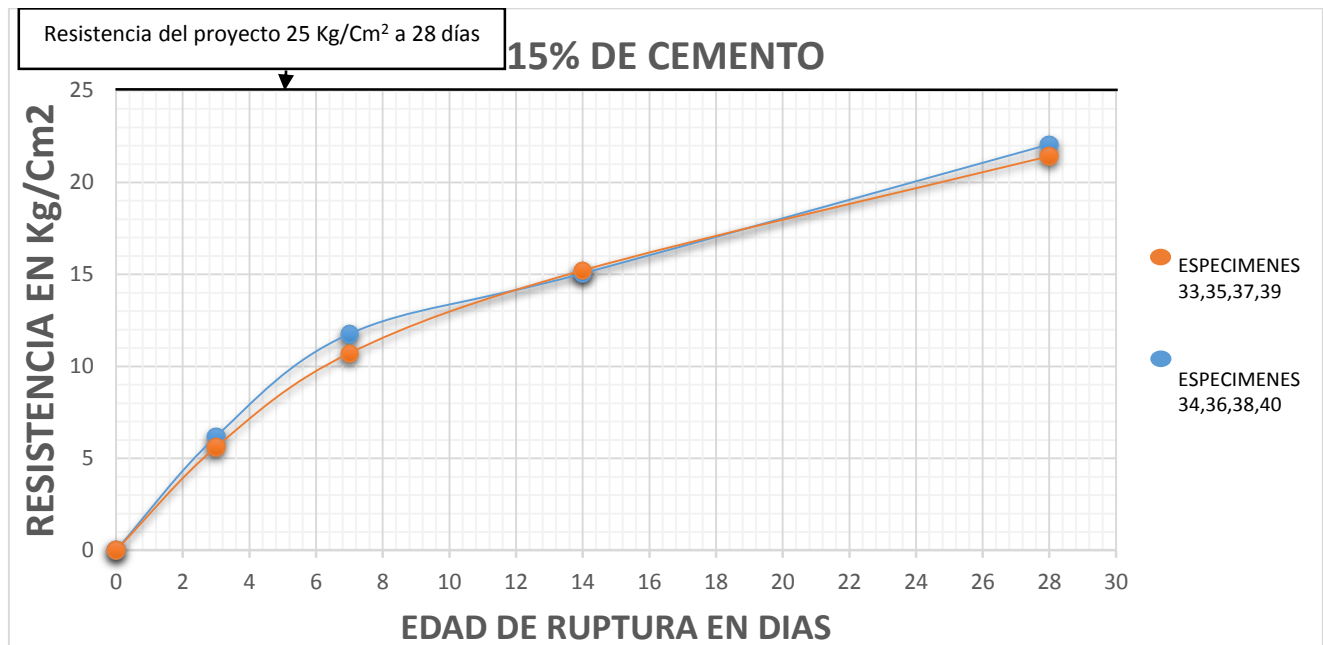
Proporcionamiento del 15% de cemento.

N° MUESTRA	PROP. CEMENTO EN Kg	PROP. MAXE-H EN grs	PROP. TEPETATE EN Kg	PROP. AGUA EN Lts	REVENIMIENTO EN cm	FECHA COLADO	FECHA RUPTURA	EDAD (DÍAS)	F'c EN Kg/cm ² (MPa)	CARGA EN Kg	RESISTENCIA EN Kg/cm ² (MPa)	% DE RESIST.
33	2.98	14.44	19.92	5.5	11	28/Abril /2015	01/Mayo /2015	3	25 (2.45)	441	5.61 (0.55)	22.46
34	2.98	14.44	19.92	5.5	11	28/Abril /2015	01/Mayo /2015	3	25 (2.45)	485	6.18 (0.61)	24.70
35	2.98	14.44	19.92	5.5	11	28/Abril /2015	05/Mayo /2015	7	25 (2.45)	841	10.71 (1.05)	42.83
36	2.98	14.44	19.92	5.5	11	28/Abril /2015	05/Mayo /2015	7	25 (2.45)	924	11.76 (1.15)	47.06
37	2.98	14.44	19.92	5.5	11	28/Abril /2015	12/Mayo /2015	14	25 (2.45)	1195	15.22 (1.49)	60.86
38	2.98	14.44	19.92	5.5	11	28/Abril /2015	12/Mayo /2015	14	25 (2.45)	1182	15.05 (1.48)	60.20
39	2.98	14.44	19.92	5.5	11	28/Abril /2015	26/Mayo /2015	28	25 (2.45)	1683	21.43 (2.10)	85.71
40	2.98	14.44	19.92	5.5	11	28/Abril /2015	26/Mayo /2015	28	25 (2.45)	1733	22.07 (2.16)	88.26

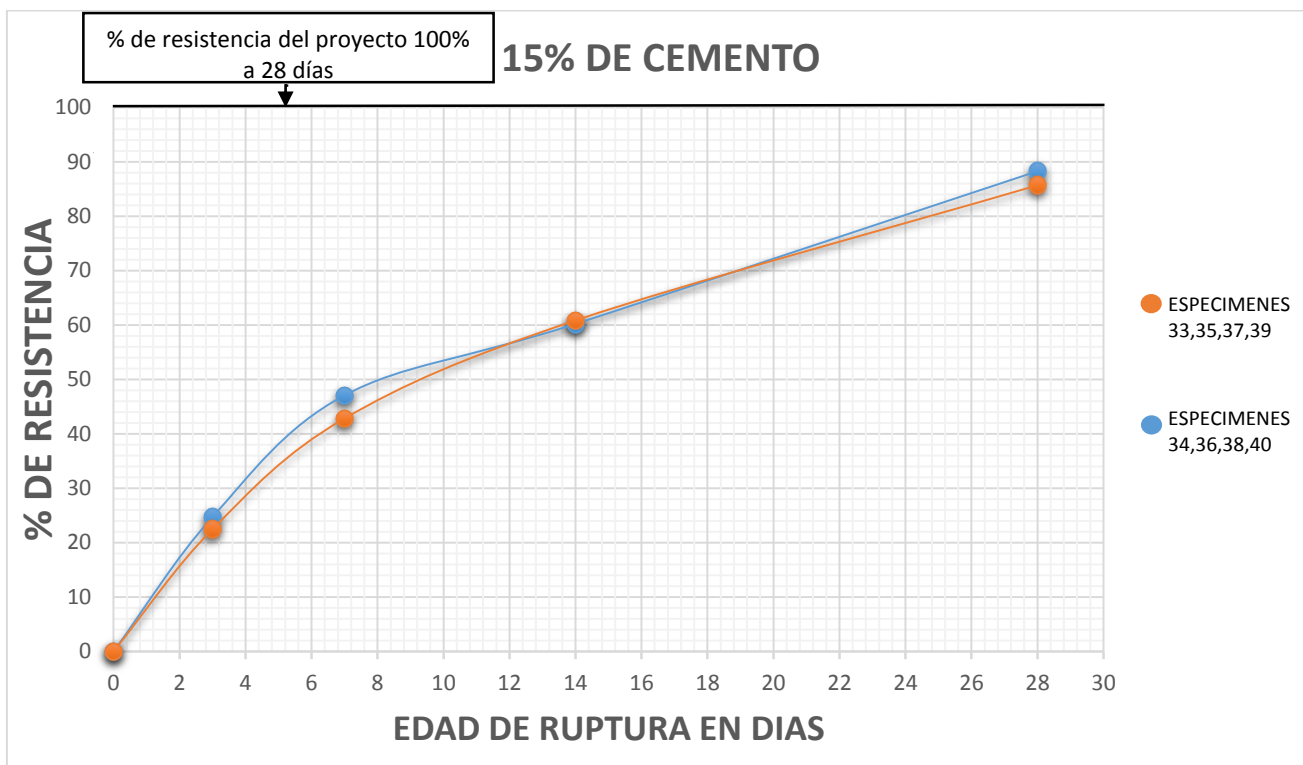
TABLA 38. Proporcionamiento del 15% de cemento.



GRAFICA 33. Carga-Edad de ruptura.



GRAFICA 34. Resistencia-Edad de ruptura.



GRAFICA 35. Porcentaje de resistencia-Edad de ruptura.

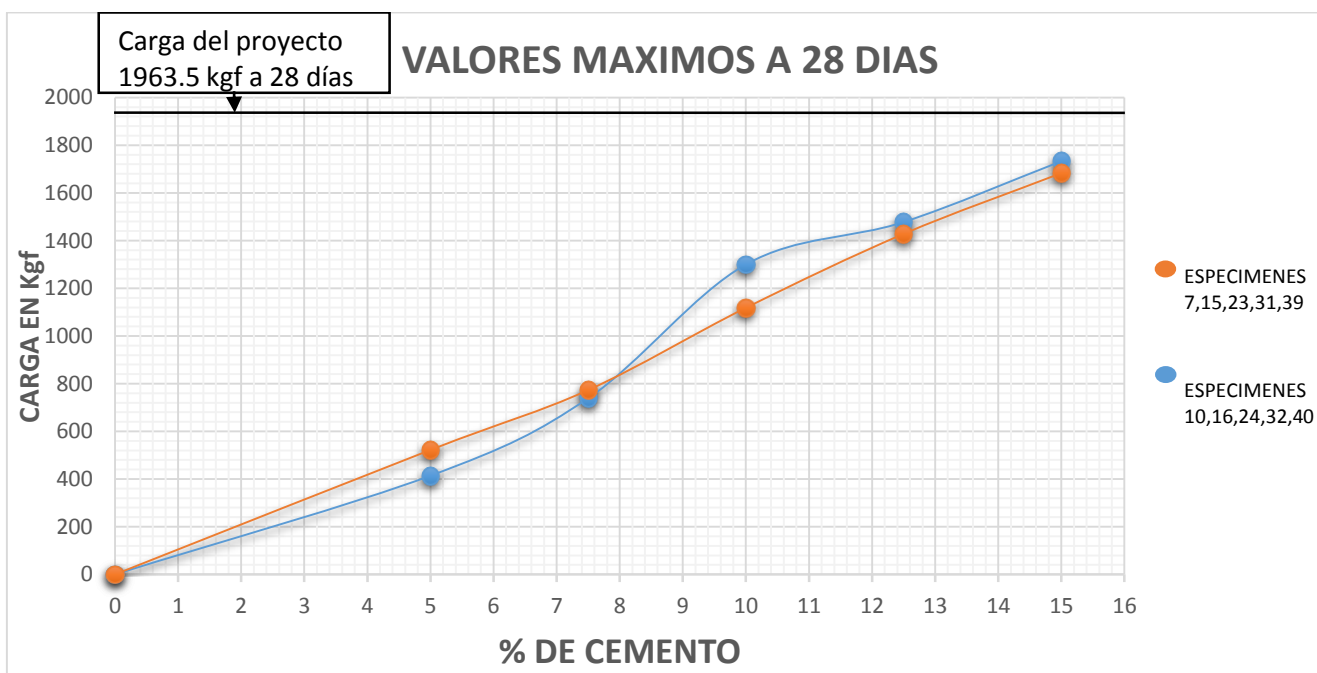
En estas graficas correspondientes para el proporcionamiento del 15% de cemento se puede observar que no se alcanzó el objetivo de esta tesis tras haber transcurrido la edad de prueba máxima que es de 28 días el cual es obtener que soporte una carga de optima de 1963.5 Kgf, una resistencia de 25 Kgf/cm² y un 100% de resistencia.



Esta tabla representa la carga máxima que soportaron los especímenes a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, mostrando esto para cada espécimen de acuerdo a su nomenclatura ya sea de número par o impar.

% Cemento	CARGA MÁXIMA En Kgf	
	Impares	Pares
0 %	0	0
5%	522	414
7.5%	773	739
10%	1118	1300
12.5%	1428	1478
15%	1683	1733

TABLA 39. % de cemento y carga máxima.



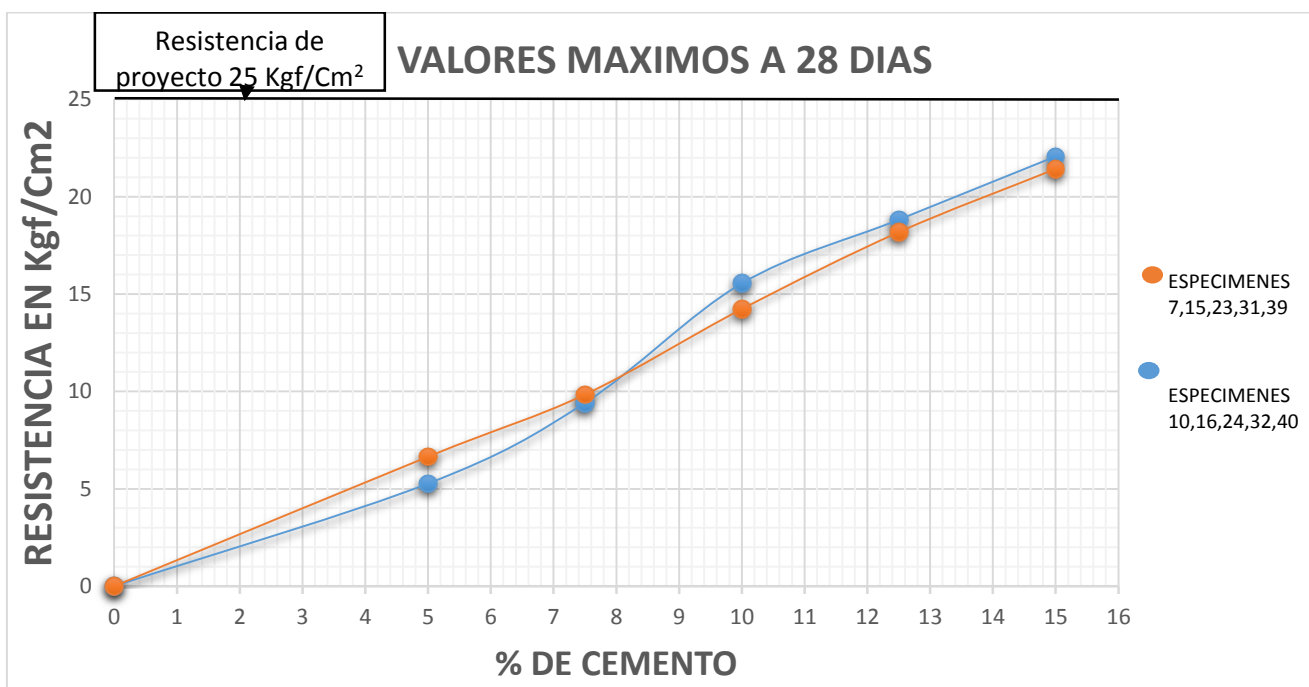
GRAFICA 36. Carga contra porcentaje de cemento, se graficaron los cilindros de nomenclatura par e impar como se muestra en la gráfica. De igual forma muestra que la carga del proyecto es de 1963.5 Kgf a 28 días.



Esta tabla representa la resistencia máxima que soportaron los especímenes a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, mostrando esto para cada espécimen de acuerdo a su nomenclatura ya sea de número par o impar.

% Cemento	RESISTENCIA MÁXIMA En Kg/cm ²	
	Impares	Pares
0 %	0	0
5%	6.65	5.27
7.5%	9.84	9.41
10%	14.23	15.55
12.5%	18.18	18.82
15%	21.43	22.07

TABLA 40. % de cemento y resistencia máxima.



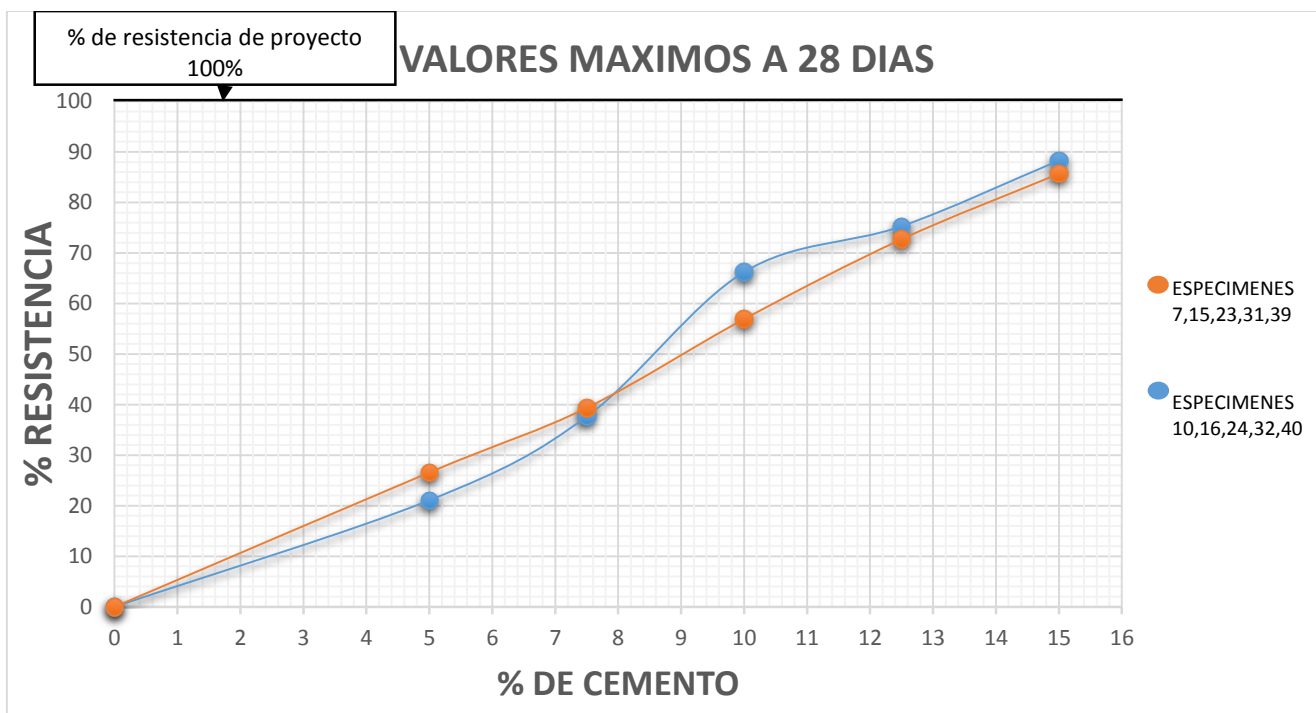
GRAFICA 37. Resistencia contra porcentaje de cemento, se graficaron los cilindros de nomenclatura par e impar como se muestra en la gráfica. De igual forma muestra que la resistencia del proyecto es de 25 kg/cm² a 28 días.



Esta tabla representa el % resistencia máxima que soportaron los especímenes a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, mostrando esto para cada espécimen de acuerdo a su nomenclatura ya sea de número par o impar.

% Cemento	% RESISTENCIA MÁXIMA	
	Impares	Pares
0 %	0%	0%
5%	26.59%	21.08%
7.5%	39.37%	37.64%
10%	56.94%	66.21%
12.5%	72.73%	75.27%
15%	85.71%	88.26%

TABLA 41. % de cemento y % de resistencia máxima.



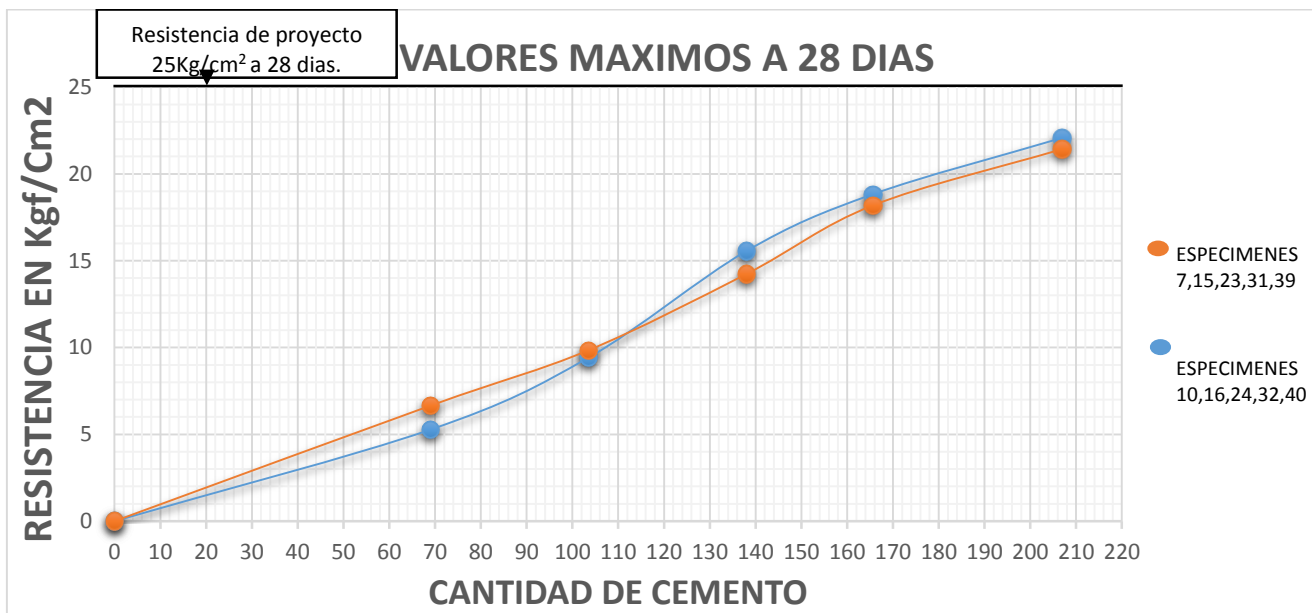
GRAFICA 38. Porcentaje de resistencia contra porcentaje de cemento, se graficaron los cilindros de nomenclatura par e impar como se muestra en la gráfica. De igual forma muestra que el porcentaje de resistencia del proyecto es del 100% a 28 días.



Esta tabla representa la carga máxima que soportaron los especímenes a la edad de 28 días con cada cantidad de cemento de acuerdo a su proporcionamiento, mostrando esto para cada espécimen de acuerdo a su nomenclatura ya sea de número par o impar.

Cantidad de cemento en Kg/m ³	CARGA MÁXIMA	
	En Kgf	
	Impares	Pares
0	0	0
69	522	414
103.5	773	739
138	1118	1300
165.6	1428	1478
207	1683	1733

TABLA 42. Cantidad de cemento y carga máxima.



GRAFICA 39. Resistencia contra cantidad de cemento, se graficaron los cilindros de nomenclatura par e impar como se muestra en la gráfica. De igual forma muestra que la resistencia del proyecto es de 25 Kg/cm² a 28 días.



9.- OBSERVACIONES Y COMPARACIONES ENTRE ESPECÍMENES CURADOS CON BOLSA HÚMEDA Y ESPECÍMENES SATURADOS EN AGUA.

Durante las pruebas a compresión que se les realizó a los especímenes saturados en agua se pudo observar que presentaban pequeñas zonas donde se disgregaba el material de suelo-cemento debido a la saturación, se observó que se podían disgregar fácilmente al tocarlos y que presentaban algunas partes desmoronadas debido al efecto mencionado. De igual forma se podía observar que mientras más pasa el tiempo que permanecían saturados en el agua estos presentaban una pequeña expulsión de cemento y de aditivo ya que al sacarlos del agua se podía observar este efecto el cual se muestra en la siguiente imagen.



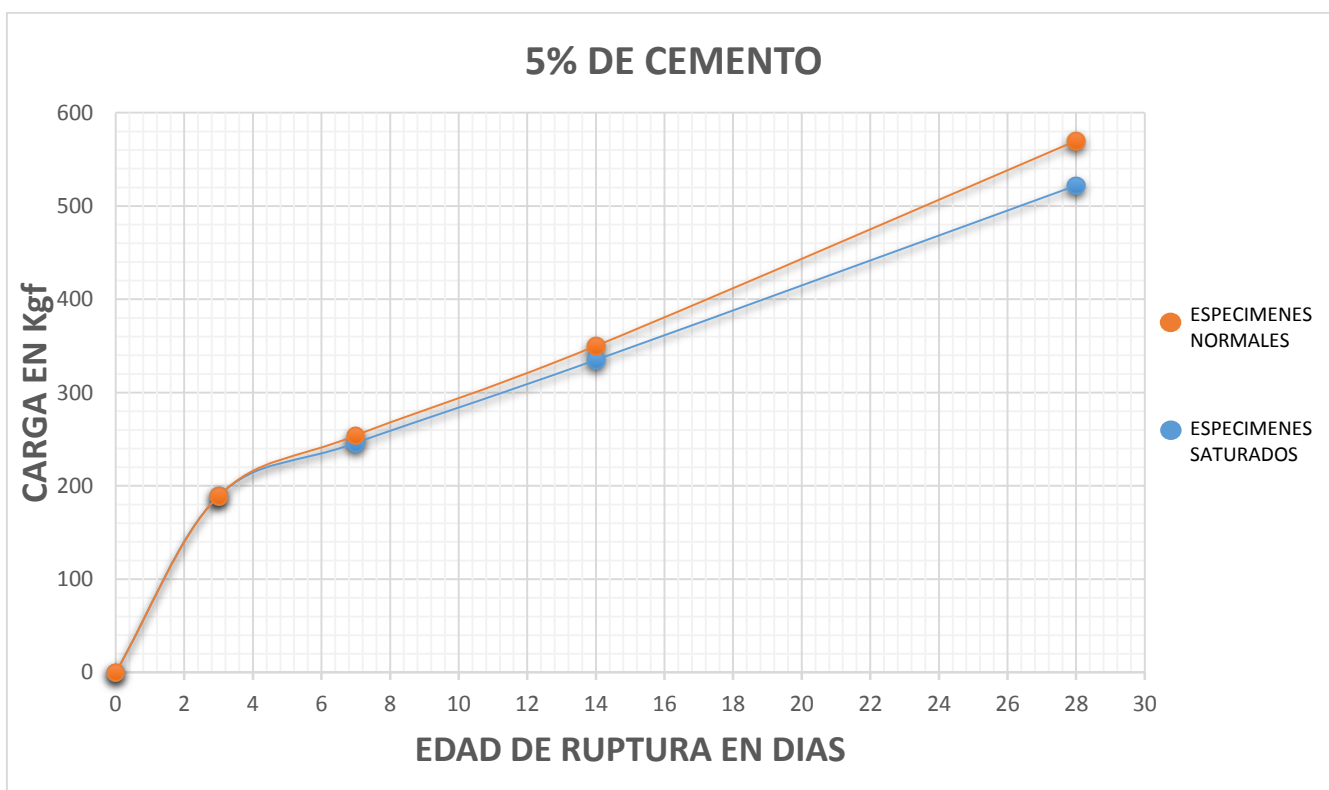
FIGURA 154. Especimen que muestra expulsión de cemento.

Como se observa en la imagen el espécimen presenta un color gris que tiende a ser el cemento que este ha expulsado debido al efecto de estar saturado en agua. De igual manera se alcanza a observar pequeñas partes donde este se ha desmoronado debido al mismo efecto.

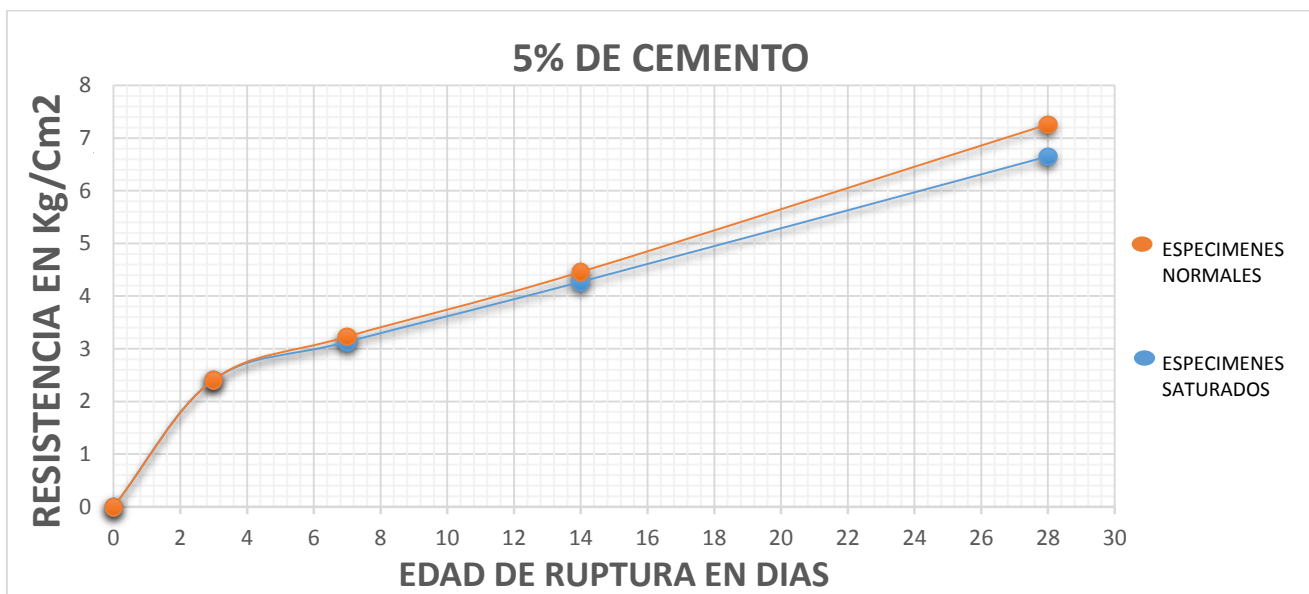


En las siguientes graficas se muestra una comparativa de los especimenes curados solo con bolsa humeda nombrando a estos como “normales” y los especimenes saturados en agua nombrando a estos como “saturados”. Mostrando como se comportaron de acuerdo al porcentaje de cemento que contienen y de acuerdo a la edad de prueba.

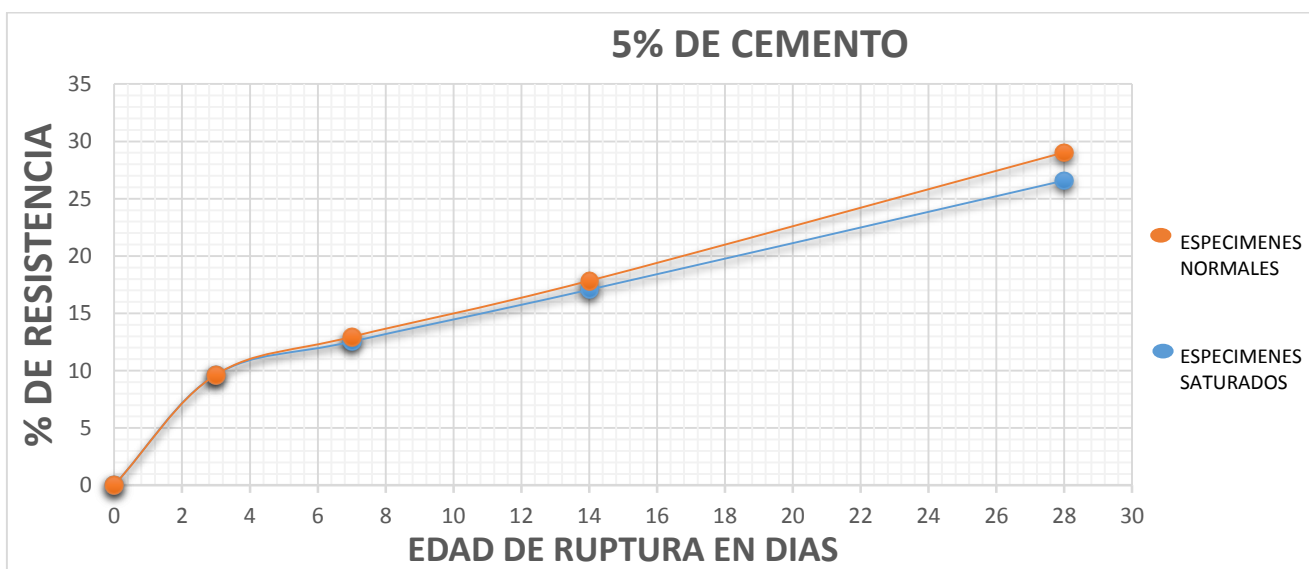
Cabe mencionar que se grafico un valor de resultado solamente de los dos especimenes probados por porcentaje, el valor que se tomo fue el mas alto.



GRAFICA 40. Carga-Edad de ruptura.

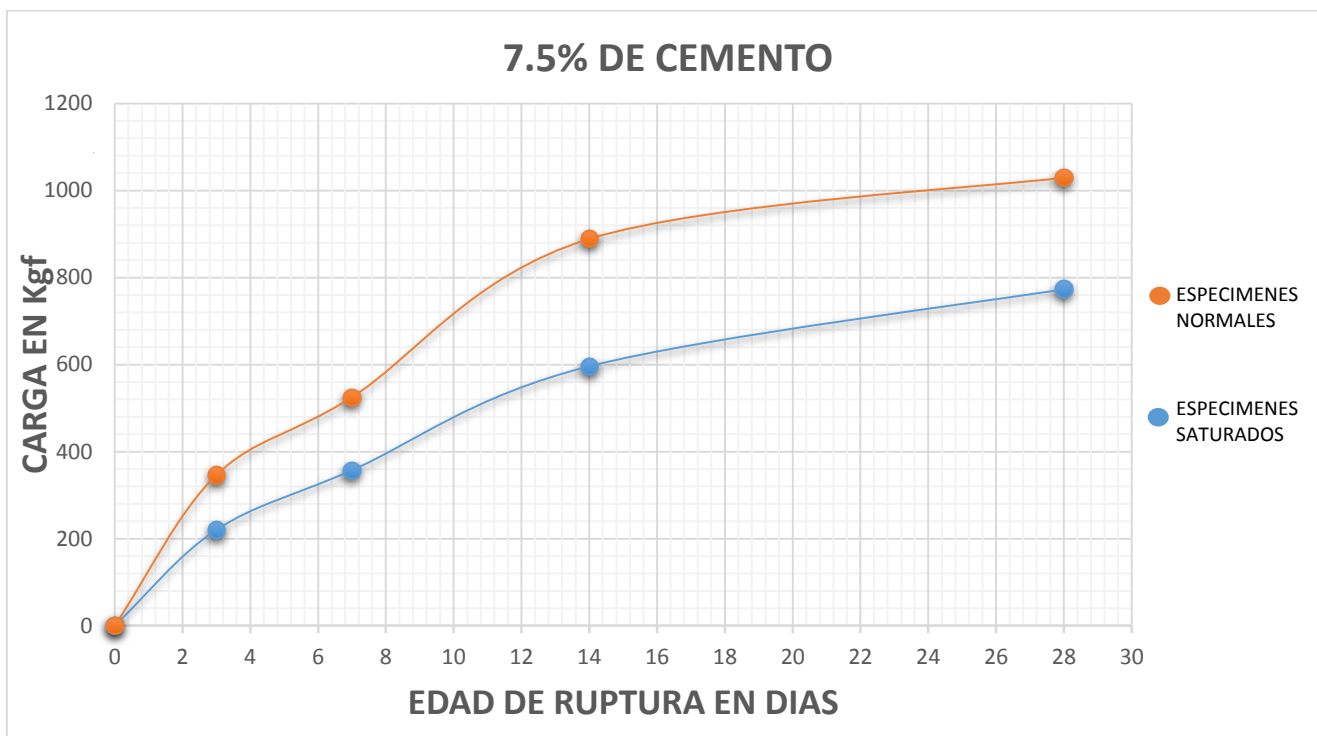


GRAFICA 41. Resistencia-Edad de ruptura.

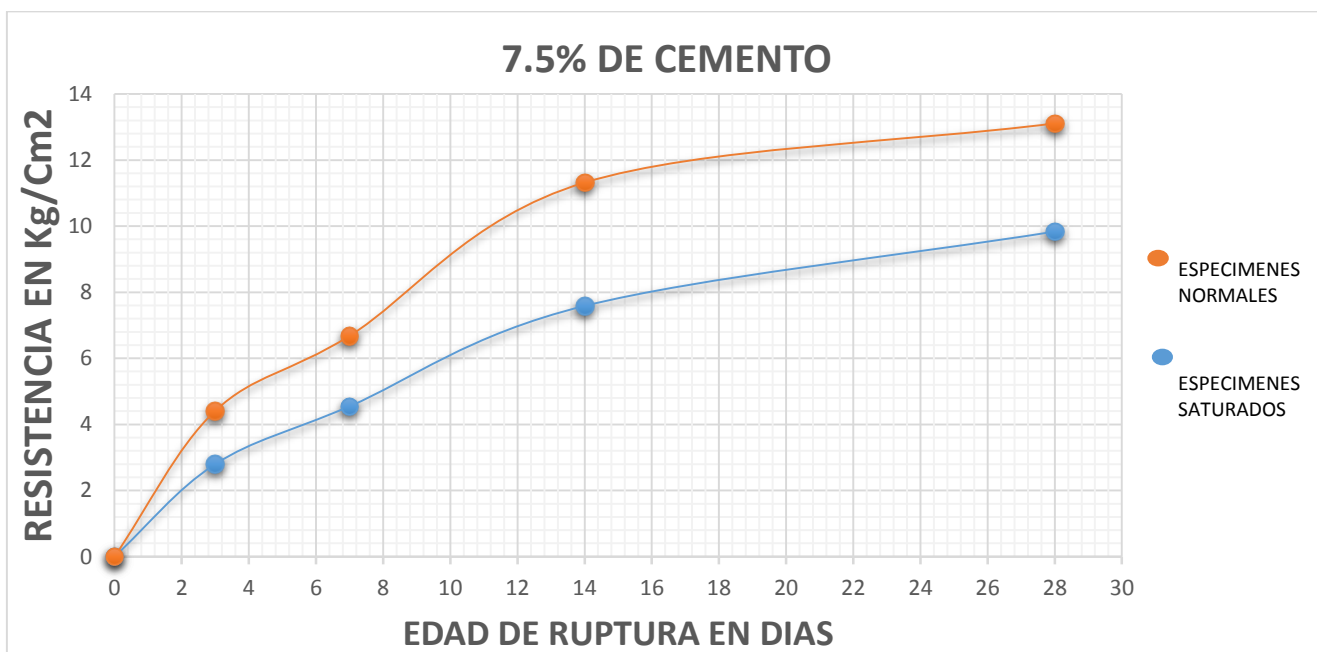


GRAFICA 42. Porcentaje de resistencia-Edad de ruptura.

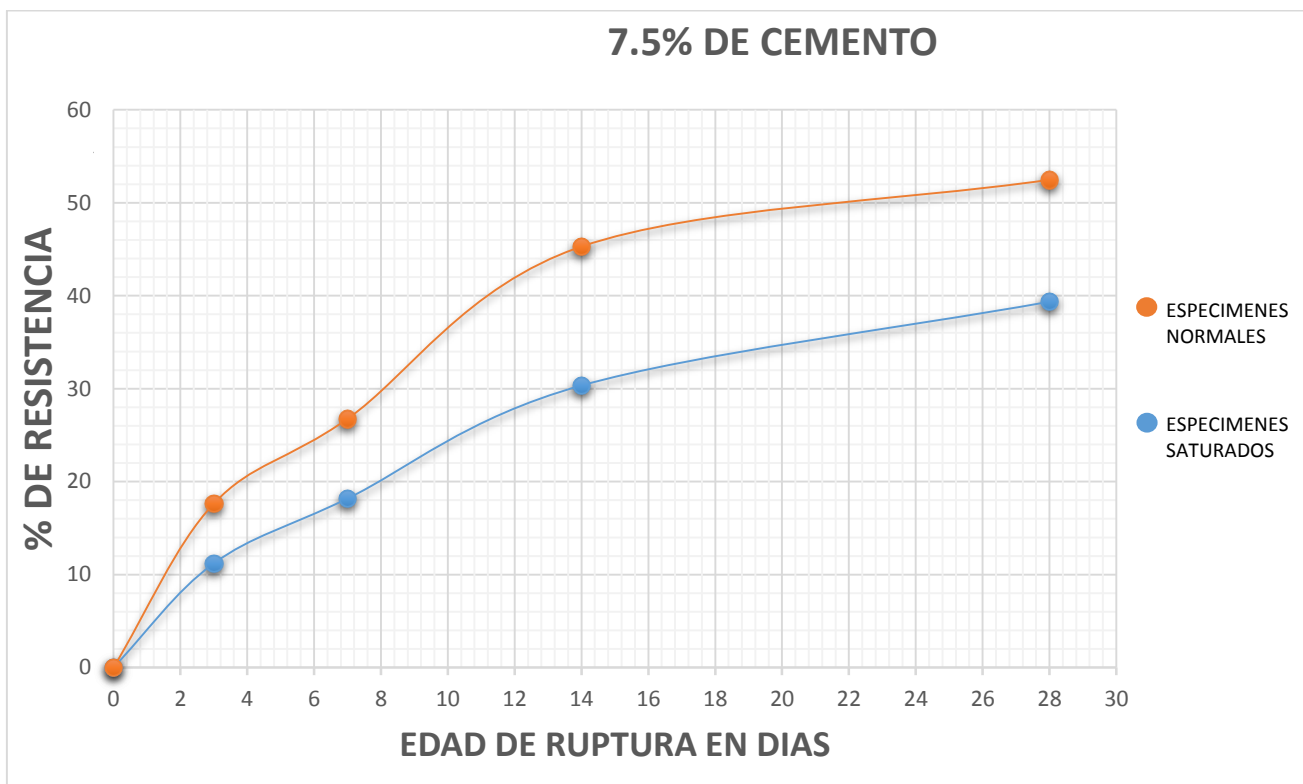
En estas graficas correspondientes para el proporcionamiento del 5% de cemento donde se puede observar que para ninguno de los dos casos se alcanzó el objetivo de esta tesis tras haber transcurrido la edad de prueba máxima que es de 28 días, el cual es obtener que soporte una carga de optima de 1963.5 Kgf, una resistencia de 25 kgf/cm² y un 100% de resistencia.



GRAFICA 43. Carga-Edad de ruptura.

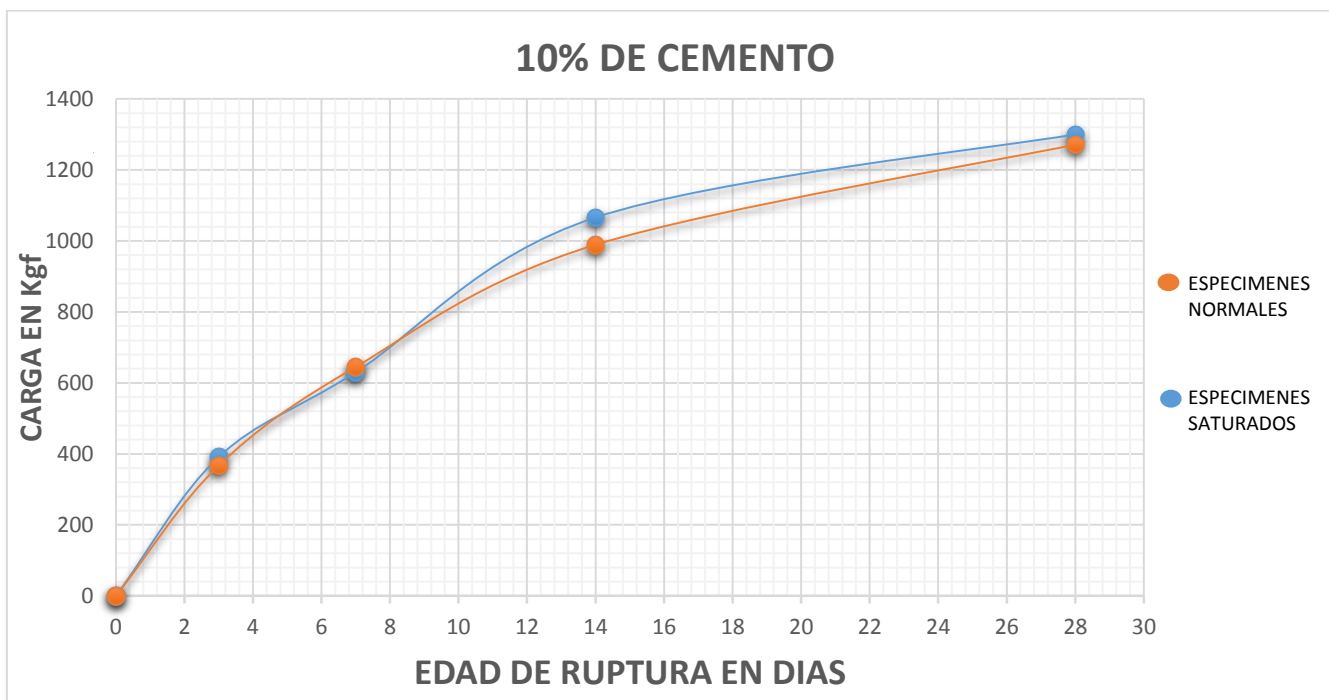


GRAFICA 44. Resistencia-Edad de ruptura.

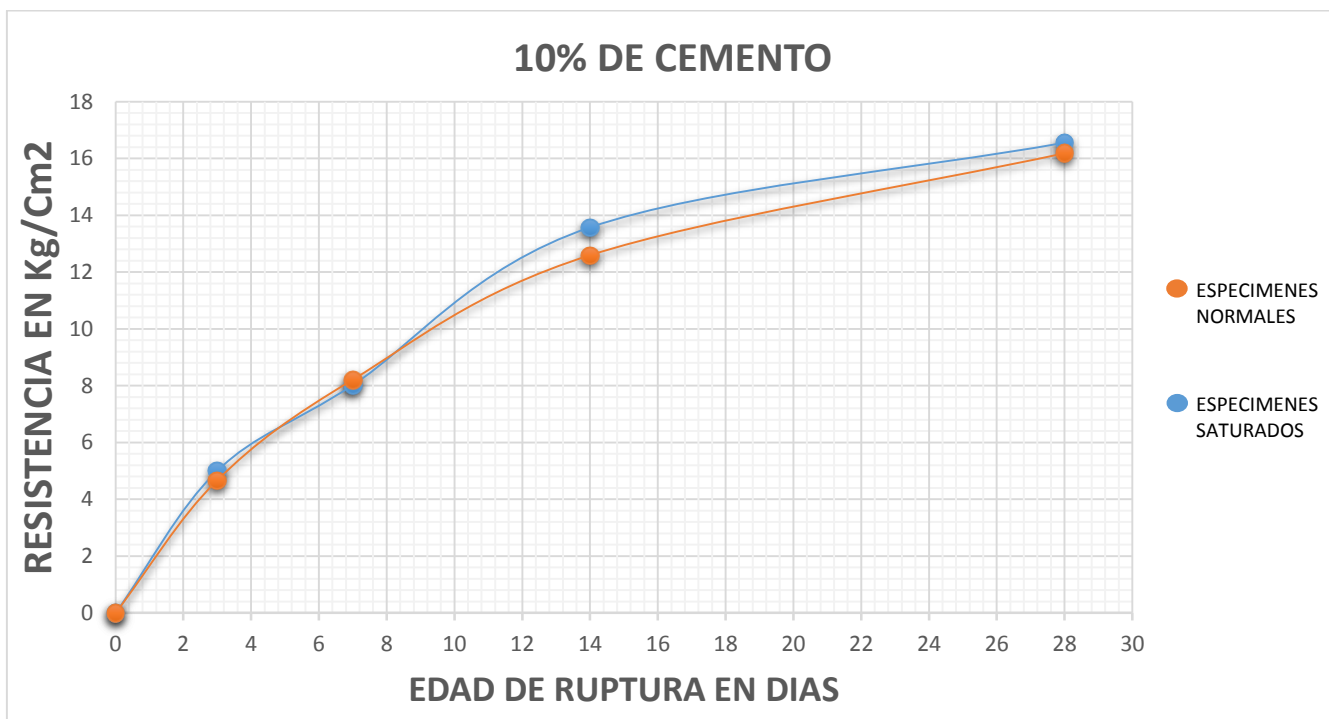


GRAFICA 45. Porcentaje de resistencia-Edad de ruptura.

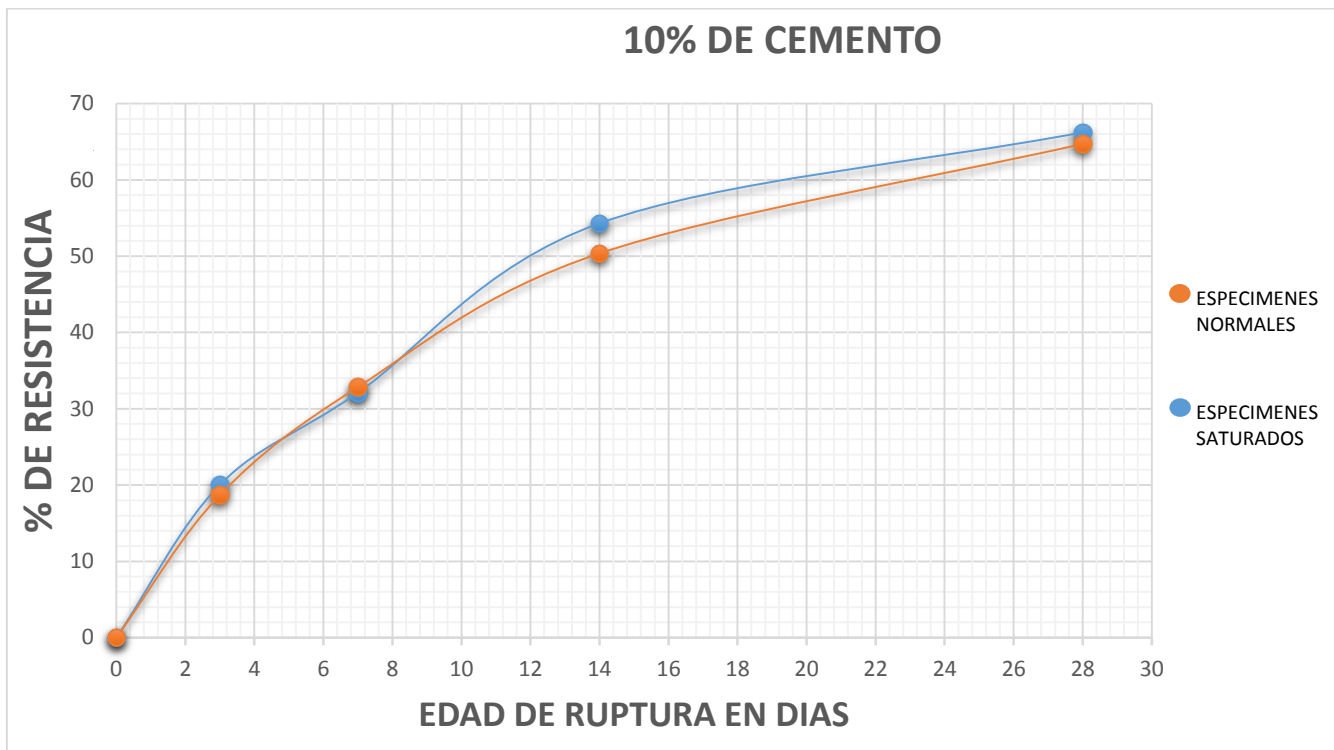
En estas graficas correspondientes para el proporcionamiento del 7.5% de cemento donde se puede observar que para ninguno de los dos casos se alcanzó el objetivo de esta tesis tras haber transcurrido la edad de prueba máxima que es de 28 días, el cual es obtener que soporte una carga de optima de 1963.5 Kgf, una resistencia de 25 kgf/cm² y un 100% de resistencia.



GRAFICA 46. Carga-Edad de ruptura.

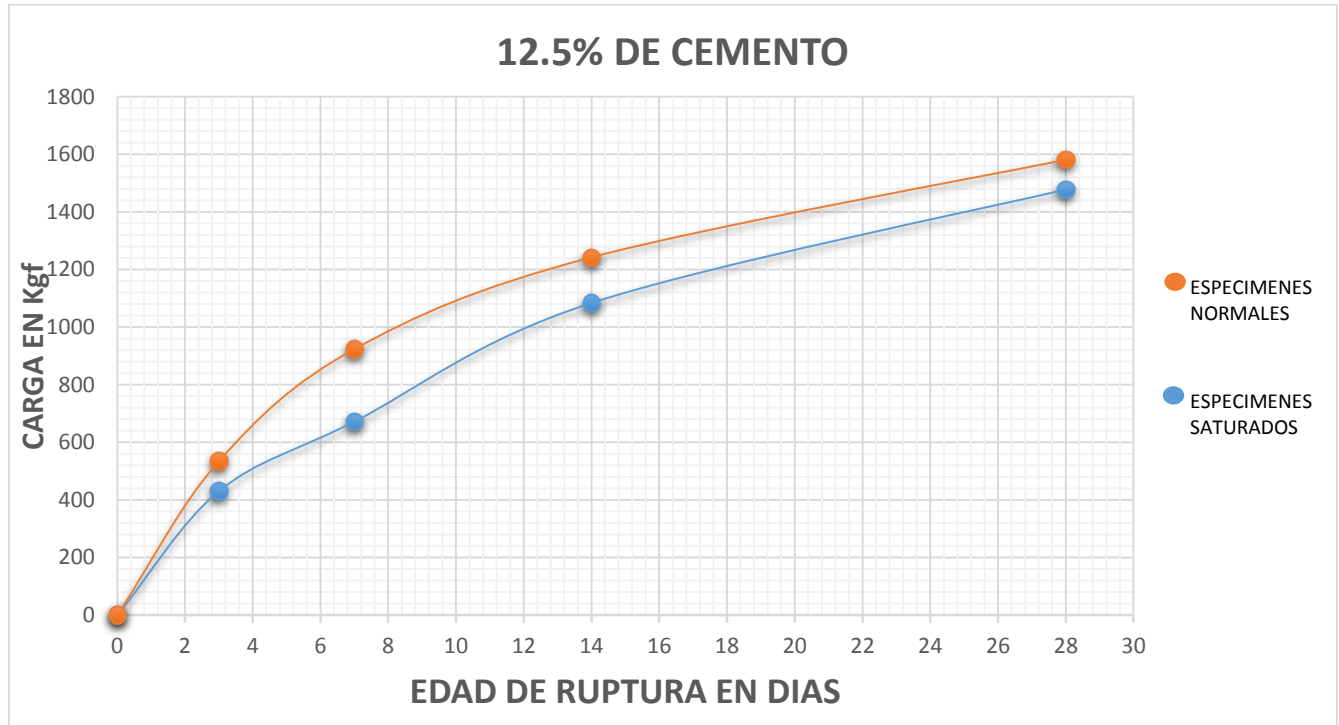


GRAFICA 47. Resistencia-edad de ruptura.

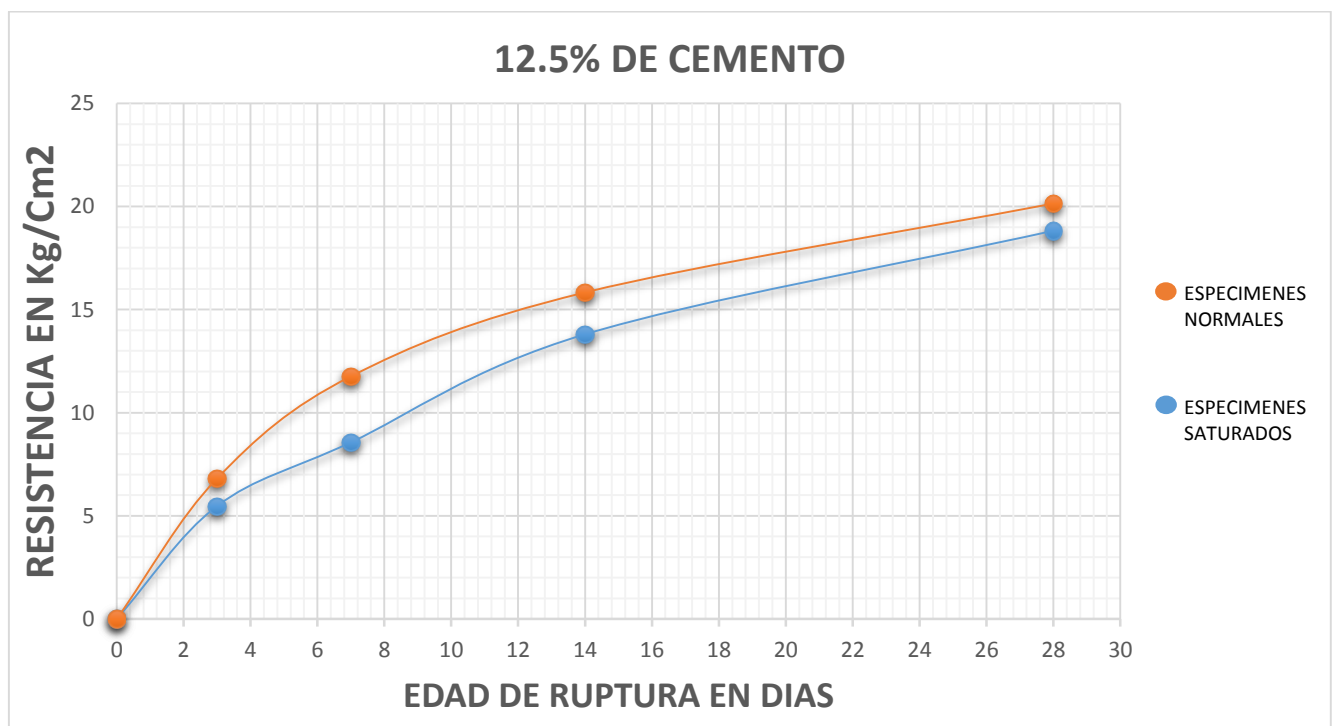


GRAFICA 48. Porcentaje de resistencia-Edad de ruptura.

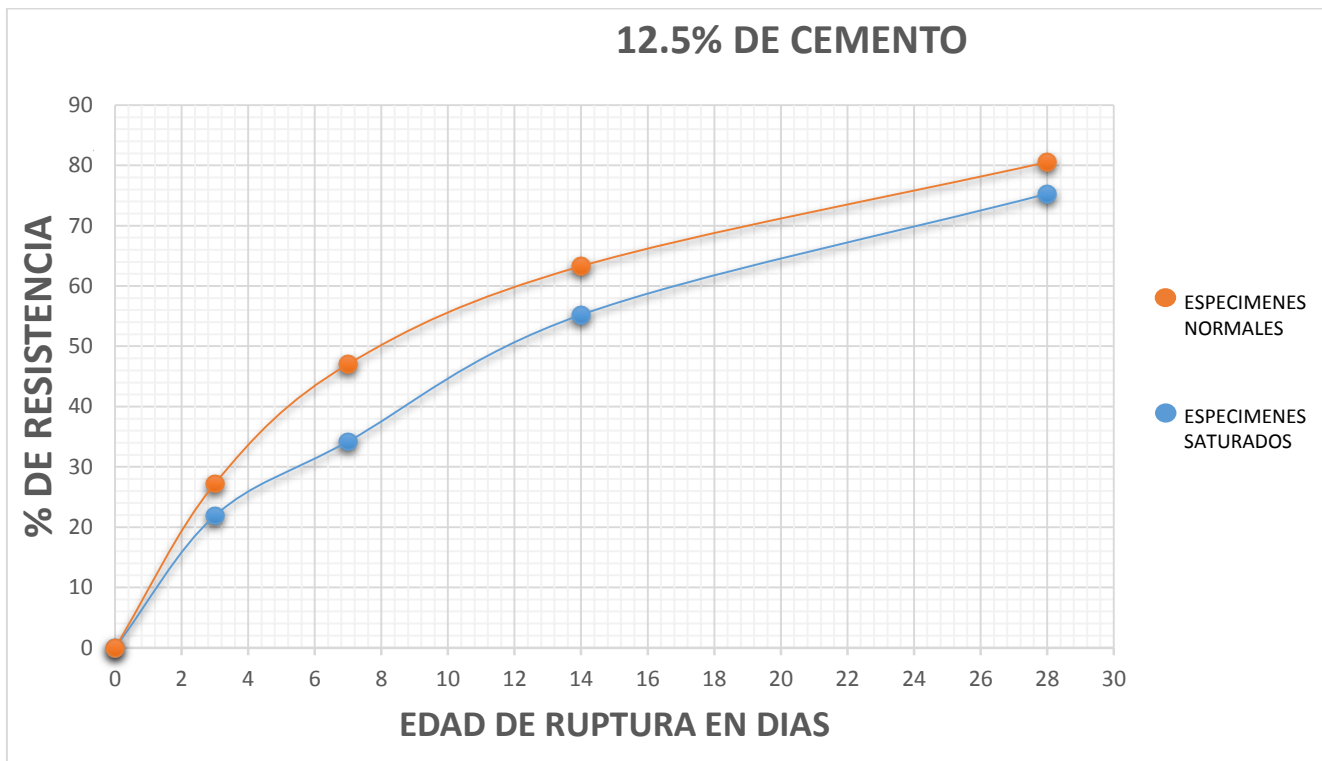
En estas graficas correspondientes para el proporcionamiento del 10% de cemento donde se puede observar que para ninguno de los dos casos se alcanzó el objetivo de esta tesis tras haber transcurrido la edad de prueba máxima que es de 28 días, el cual es obtener que soporte una carga de optima de 1963.5 Kgf, una resistencia de 25 kgf/cm² y un 100% de resistencia.



GRAFICA 49. Carga-Edad de ruptura.

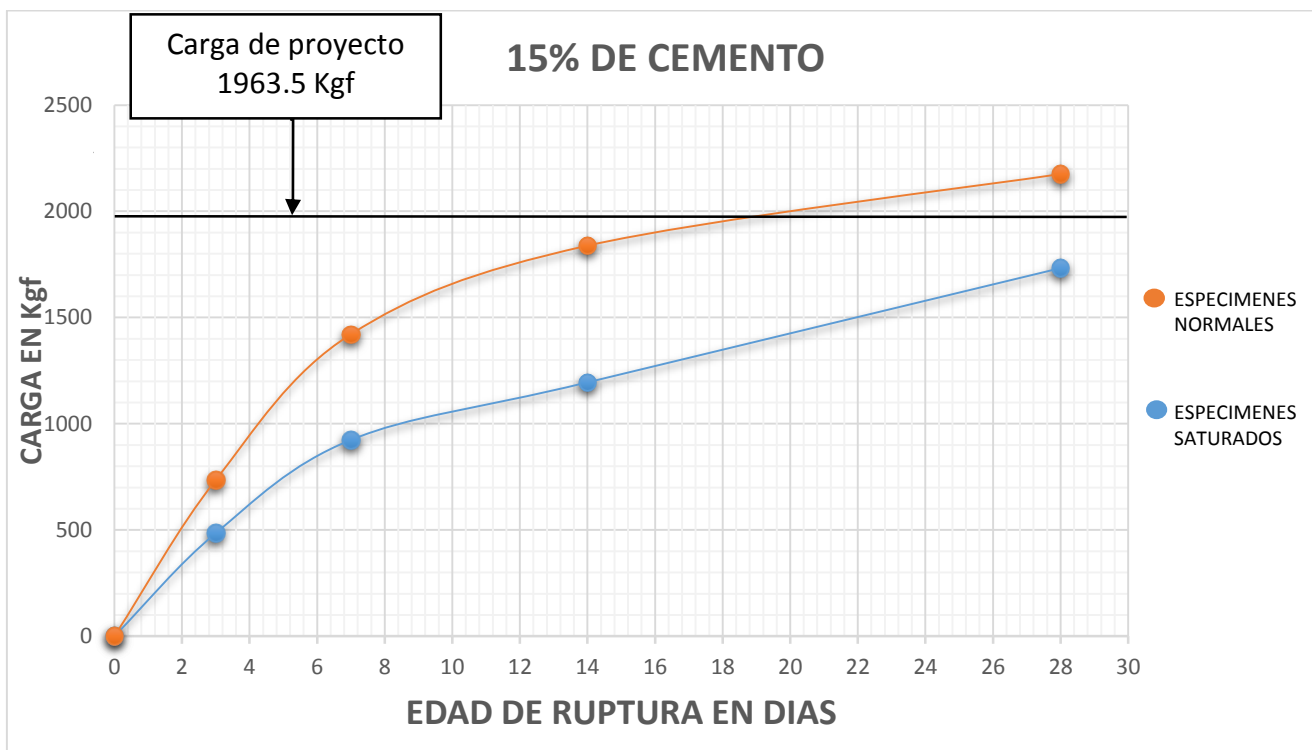


GRAFICA 50. Resistencia-Edad de ruptura.

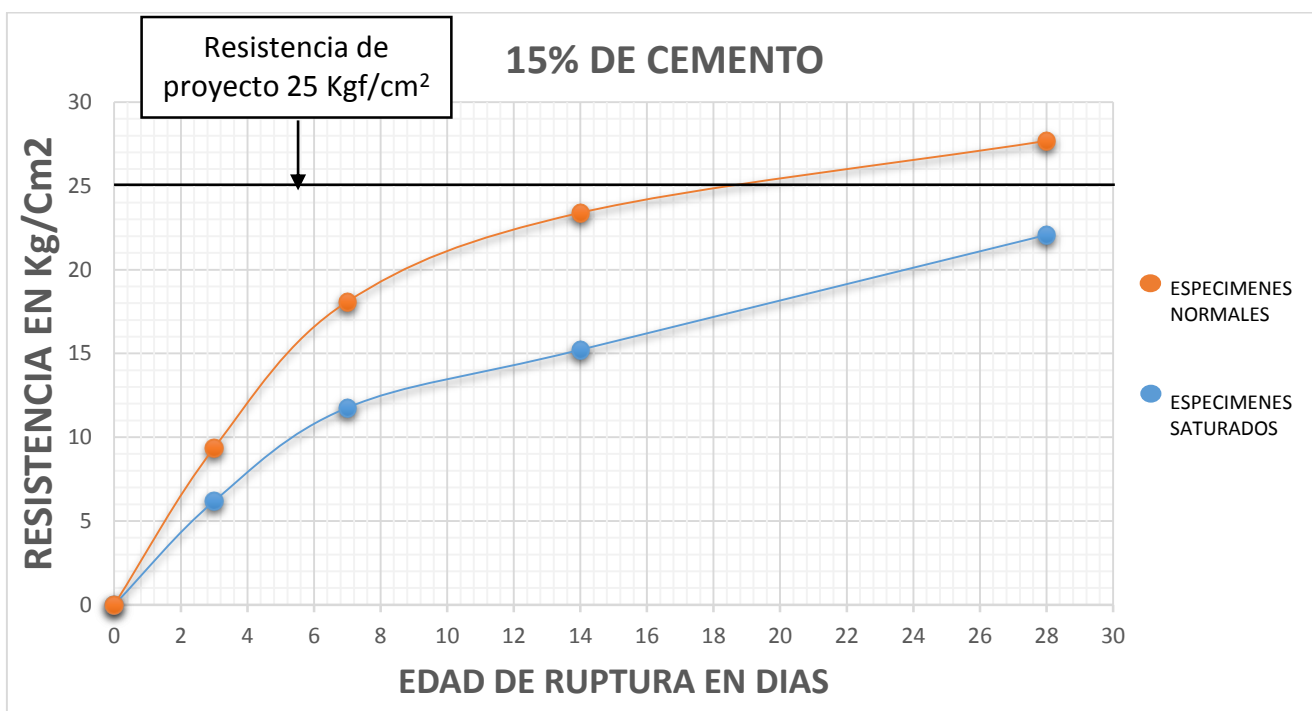


GRAFICA 51. Porcentaje de resistencia-Edad de prueba.

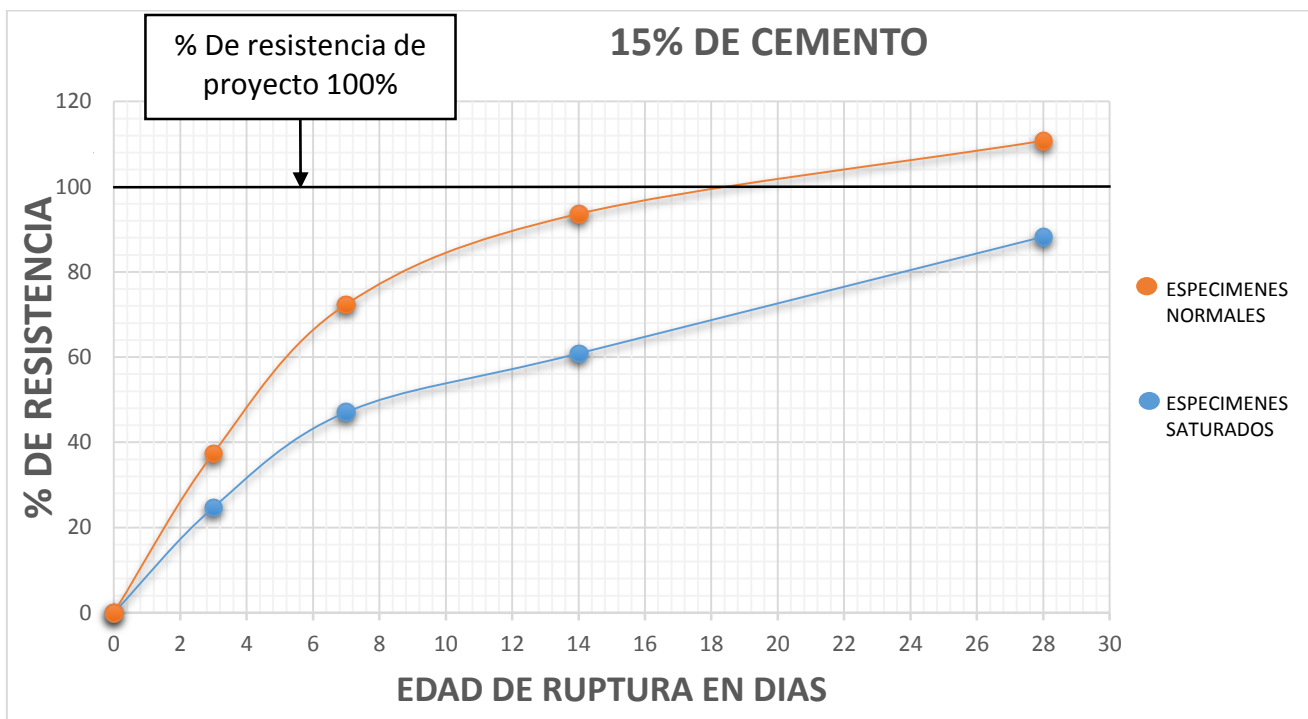
En estas graficas correspondientes para el proporcionamiento del 12.5% de cemento donde se puede observar que para ninguno de los dos casos se alcanzó el objetivo de esta tesis tras haber transcurrido la edad de prueba máxima que es de 28 días, el cual es obtener que soporte una carga de optima de 1963.5 Kgf, una resistencia de 25 Kgf/cm² y un 100% de resistencia.



GRAFICA 52. Carga-Edad de ruptura.



GRAFICA 53. Resistencia-Edad de prueba.



GRAFICA 54. Porcentaje de resistencia-Edad de prueba.

En estas graficas correspondientes para el proporcionamiento del 15% de cemento donde se puede observar que solamente para el caso de los especímenes normales (curados solamente con bolsa húmeda) cumplió el objetivo de esta tesis tras haber transcurrido la edad de prueba máxima que es de 28 días, el cual es obtener que soporte una carga de optima de 1963.5 Kgf, una resistencia de 25 Kgf/cm² y un 100% de resistencia.

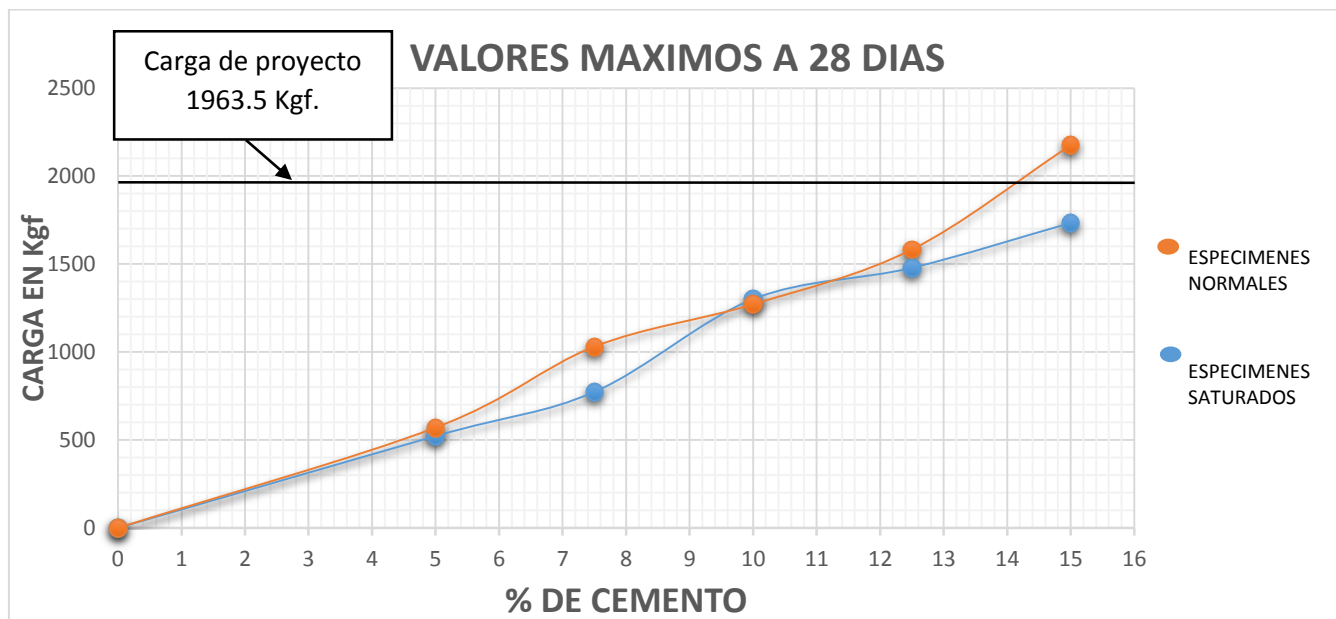
Lo cual cabe mencionar que para el caso de los especímenes saturados en agua no se alcanzó el objetivo de la tesis.



Esta tabla representa la carga máxima que soportaron los especímenes a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, mostrando esto para los especímenes con mayor valor de resultado de acuerdo a su clasificación ya sea normal o saturado.

% Cemento	CARGA MÁXIMA En Kgf	
	NORMALES	SATURADOS
0 %	0	0
5%	570	522
7.5%	1030	773
10%	1271	1300
12.5%	1582	1478
15%	2175	1733

TABLA 43. % de cemento y carga máxima.



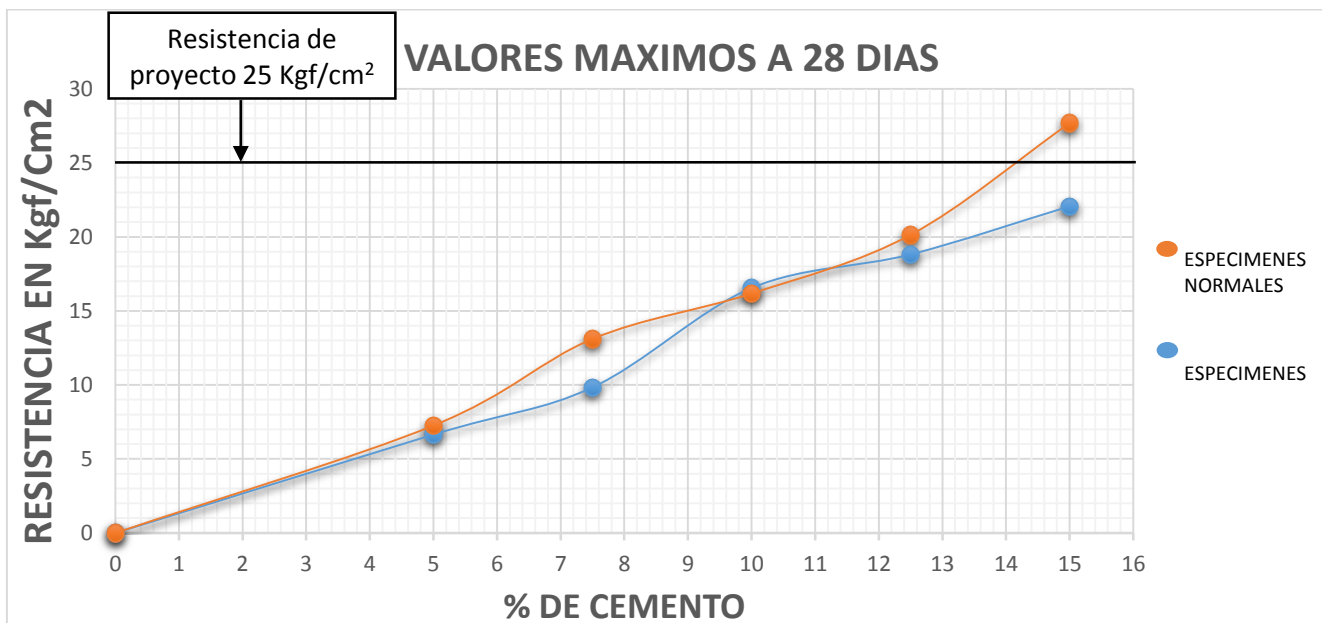
GRAFICA 55. Carga contra porcentaje de cemento, se graficaron los cilindros de clasificación normal y saturados como se muestra en la gráfica. De igual forma muestra que la carga del proyecto es de 1963.5 Kgf a 28 días.



Esta tabla representa la resistencia máxima que soportaron los especímenes a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, mostrando esto para los especímenes con mayor valor de resultado de acuerdo a su clasificación ya sea normal o saturado.

% Cemento	RESISTENCIA MÁXIMA En Kgf/cm ²	
	NORMALES	SATURADOS
0 %	0	0
5%	7.26	6.65
7.5%	13.11	9.84
10%	16.18	16.55
12.5%	20.14	18.82
15%	27.69	22.07

TABLA 44. % de cemento y resistencia máxima.



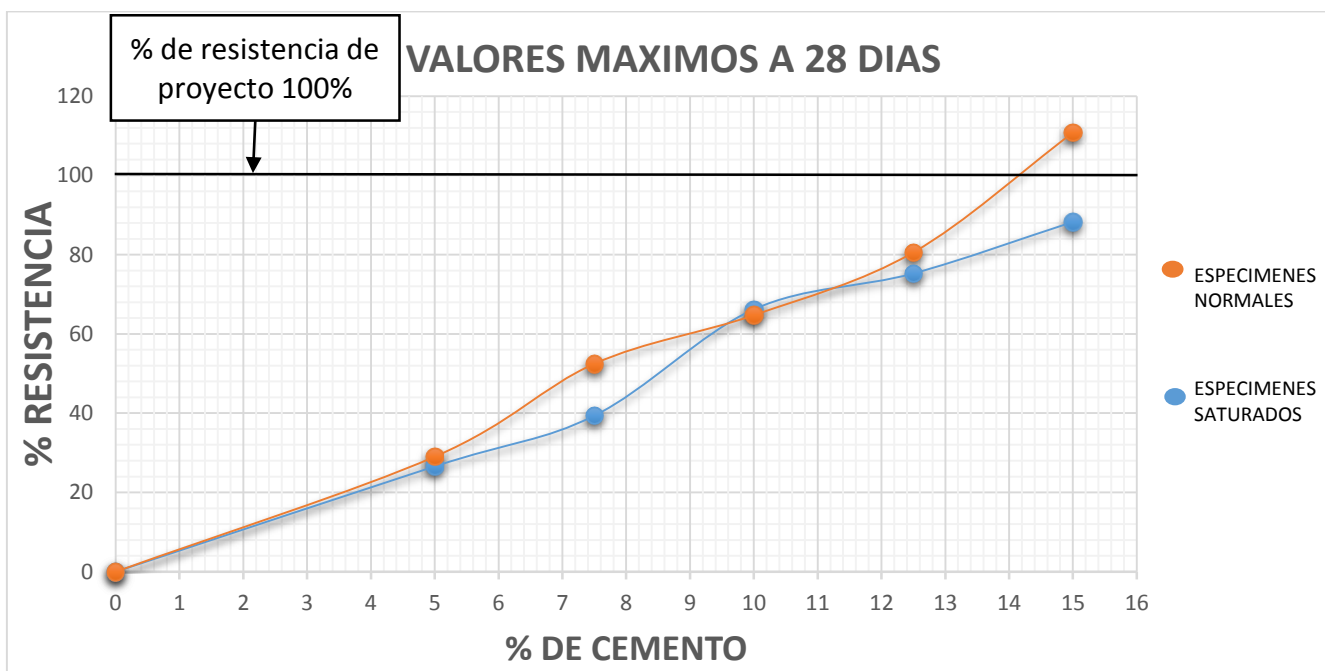
GRAFICA 56. Resistencia contra porcentaje de cemento, se graficaron los cilindros de clasificación normal y saturados como se muestra en la gráfica. De igual forma muestra que la resistencia del proyecto es de 25 kgf/cm² a 28 días.



Esta tabla representa el porcentaje de resistencia máxima que soportaron los especímenes a la edad de 28 días con cada porcentaje de cemento, mostrando esto para los especímenes con mayor valor de resultado de acuerdo a su clasificación ya sea normal o saturado.

% Cemento	% RESISTENCIA MÁXIMA	
	NORMALES	SATURADOS
0 %	0%	0%
5%	29.03%	26.59%
7.5%	52.46%	39.37%
10%	64.73%	66.21%
12.5%	80.57%	75.27%
15%	110.77%	88.26%

TABLA 45. % de cemento y % de resistencia.



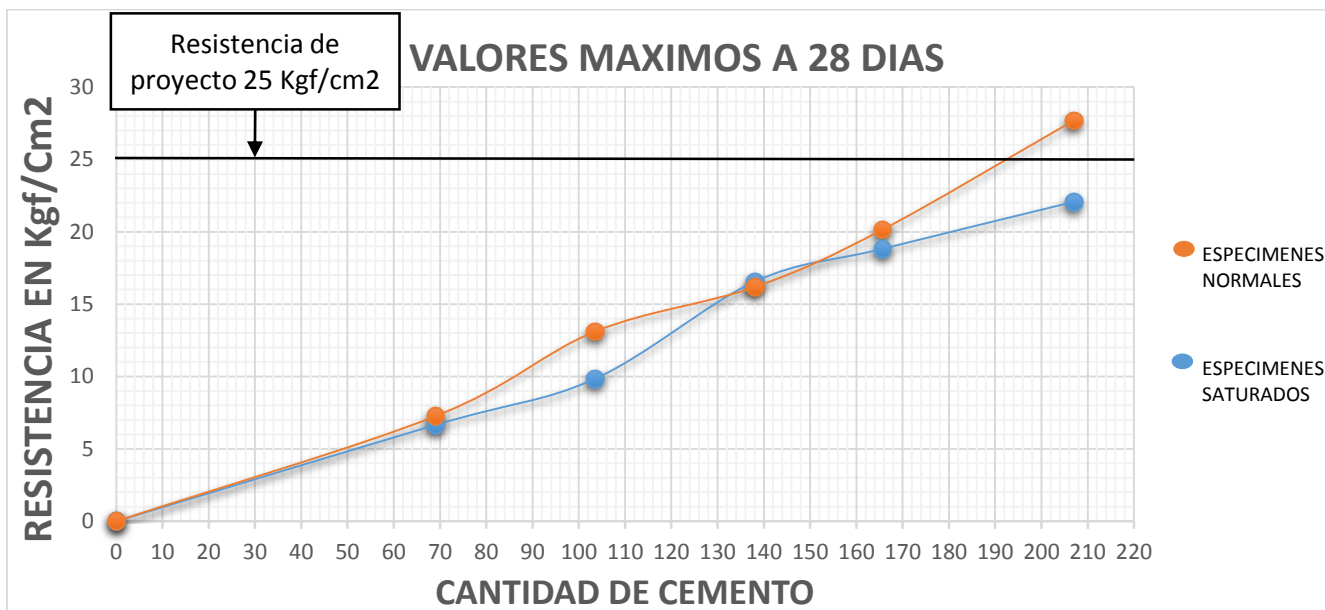
GRAFICA 57. Porcentaje de resistencia contra porcentaje de cemento, se graficaron los cilindros de clasificación normal y saturados como se muestra en la gráfica. De igual forma muestra que el porcentaje de resistencia del proyecto es del 100% a 28 días.



Esta tabla representa la carga máxima que soportaron los especímenes a la edad de 28 días con cada cantidad de cemento de acuerdo a su proporcionamiento, mostrando esto para los especímenes con mayor valor de resultado de acuerdo a su clasificación ya sea normal o saturado.

Cantidad de cemento en Kg/m ³	CARGA MÁXIMA	
	En Kgf	
	NORMALES	SATURADOS
0	0	0
69	570	522
103.5	1030	773
138	1271	1300
165.6	1582	1478
207	2175	1733

TABLA 46. Cantidad de cemento y carga máxima.



GRAFICA 58. Resistencia contra cantidad de cemento, se graficaron los cilindros de clasificación normal y saturados como se muestra en la gráfica. De igual forma muestra que la resistencia del proyecto es de 25 Kg/cm² a 28 días.



10.- CONCLUSIONES.

De acuerdo a las investigaciones realizadas en esta tesis se ha llegado a la conclusión de que la resistencia que presenta el material denominado suelo-cemento fluido, depende de la plasticidad que presente el material por lo que concluyo con que si el material es inerte es mucho mejor para la realización de este material ya mencionado.

Para este estudio se utilizó un material de suelo proveniente de un banco de materiales ubicado en la ciudad de San Miguel de Allende, de acuerdo a los resultados de laboratorio, el suelo está compuesto principalmente por arenas limosas (SM), donde la muestra analizada, resulta un material inerte, es decir que no tiene cohesión (contracción lineal C.L.=0.78% un valor muy aproximado a cero), por lo tanto tiene mejores características o parámetros geotécnicos como son: $PVSM=1.775 \text{ tn/m}^3$, $VRS=93.67\%$, $Exp=0.10\%$, lo que representaría menores consumos de cemento, en el diseño de mezclas de suelo-cemento fluido. Esto debido a que con el valor de expansión podemos ver que el material se clasifica como una sub-rasante de entre regular y buena calidad.

Debido a que sus límites son inapreciables recurrimos a la clasificación del material mediante la granulometría lo cual de la clasificación S.U.C.S. se puede decir que es una SM ya que el porcentaje que pasa la malla nº 200 es mayor al indicado por esta clasificación.

Para comprobar la calidad y como se comportaría el material se realizaron testigos (especímenes) los cuales se elaboraron mediante una mezcla de arena limosa (SM) con cemento un cemento Portland compuesto CPC30R de marca Tolteca, agua y un aditivo Maxe-h.



Para la elaboración de los especímenes se calcularon 5 proporcionamientos para la mezcla basados en un porcentaje de su peso volumétrico seco suelto (P.V.S.S.) los cuales son: 5%, 7.5%, 10%, 12.5%, y 15%. Calculado el proporcionamiento pasamos a realizar los especímenes con el método conocido para cilindros de concreto expresado en el punto “5.-PREPARACION DE ESPECÍMENES”, de esta tesis.

Por recomendación del M.I. Felipe de Jesús Jerónimo Rodríguez se realizaron 40 especímenes más para colocar en una pila de agua y poner a saturar para así poder hacer una comparativa de su comportamiento a carga uniaxial y poder especificar que método de curado es el más adecuado para el suelo-cemento fluido.

Realizando todas las pruebas necesarias a los especímenes los cuales fueron probados a 3, 7, 14 y 28 días de edad.

Para los especímenes curados normalmente como se indica en esta tesis (con bolsa húmeda) se llegó a la conclusión de que el porcentaje o proporcionamiento más adecuado que ha cumplido con el objetivo de esta tesis el cual es que tenga una resistencia de 25 Kg/cm² a una edad de 28 días de colado, es el proporcionamiento de 15% de cemento para la mezcla, siendo este el que mejor se comporta y el que cumple el objetivo de esta tesis lo cual se demuestra con los resultados, tablas y graficas presentadas en el punto “7.- ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE RESULTADOS”. Donde se observa que sobrepasa el objetivo. El espécimen número 39 alcanzo una resistencia de 27.69 Kg/cm², siendo esto un 110% de resistencia, y el espécimen número 40 alcanzo una resistencia de 25.31 Kg/cm², siendo esto un 101.25% de resistencia. Así nos hemos podido dar cuenta de que dicho porcentaje de cemento (15%) cumple con fácilmente con el objetivo ya que presentan un porcentaje arriba del 100% de resistencia en los dos cilindros realizados.

Para los especímenes curados mediante saturación como se indica en esta tesis (saturados en agua) se llegó a la conclusión de que ningún porcentaje o



proporcionamiento es adecuado y que no se ha cumplido con el objetivo de esta tesis el cual es que tenga una resistencia de 25 Kg/cm² a una edad de 28 días de descimbrado, por lo que se concluye con que no se ha cumplido el objetivo de esta tesis para los especímenes saturados en agua, lo cual se demuestra con los resultados, tablas y graficas presentadas en el punto “8.2.- RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO”. Donde se observa que no se alcanza el objetivo ya que el espécimen número 39 solo soporto una resistencia de 21.43 kg/cm² equivalente a un 85.7% de resistencia y el espécimen número 40 solo soporto una resistencia de 22.07 Kg/cm² equivalentemente a un 88.26% de resistencia, analizado esto nos podemos dar cuenta de que no se cumple ya que como se puede observar, los valores de resistencia no se acercaron al objetivo que era de 100% de resistencia y que estuvieron algo bajo o lejanos a este. Por lo que para el caso de que se quiera emplear este método de curado en una obra se tendría que utilizar un porcentaje mucho más grande de cemento para obtener la resistencia necesaria y esto implicaría y afectaría la obra en un gran costo.

Dicho esto se pudo comparar el comportamiento de los dos tipos de espécimen que se realizó en esta tesis mediante tablas y gráficas, las cuales nos demuestran que presenta una resistencia mucho mayor y mejor los especímenes normales curados solamente con una bolsa de plástico húmeda que los que se curaron mediante saturación en agua. Esto pueda ser debido a que dicho que el material usado como agregado para la mezcla es un suelo específicamente una arena con gran cantidad de limo.

Durante la saturación se observó que los especímenes presentaban una expulsión de cemento mientras estaban sumergidos en el agua, se pueda decir que esto también es un efecto que tiende a afectar la resistencia de estos a la hora de ser probados. De igual manera presentaban algunas pequeñas zonas donde se desmoronaban y pueda que esto también sea otro punto en contra de si resistencia.



Para concluir cabe mencionar que se ha cumplido el objetivo de esta tesis y que ahora sabemos qué porcentaje es el óptimo para realizar una mezcla de suelo-cemento fluido en la región de San Miguel de Allende y que gracias a los resultados de esta tesis se podrá agilizar la realización de dicho material y así llevar acabo gran variedad de obras de ingeniería civil y sobre todo realizarlas al mejor costo posible ya que es mucho mejor el utilizar este material en lugar de concreto en obras que requieran poca resistencia y sobre todo en obras grandes donde se pueda ahorrar gran cantidad de capital.

Cabe mencionar nuevamente y para finalizar que el método de curado más apropiado para la elaboración de suelo-cemento para este material en específico es el de solo curar con bolsas húmedas ya que los valores de resistencia comparados fueron mucho mejores y esto se vería reflejado en la cuestión económica de la obra en donde se pudiera emplear este material.



11.- BIBLIOGRAFIA.

- 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
- ACI 229R-99, "Controlled low strength materials", Materials and general properties of concrete, Manual of concrete practice, Part 1, ACI, Farmington Hills, (2000).
- Aggour, M S y Brown, C B, "Resonance of retaining wall", Engineering Structural, pp. 3-7, (1978).
- Aguilar, P O S, "Análisis sísmico de muros de retención", Tesis de Maestría, UNAM FI, México D.F., (1999).
- ASTM, "Concrete and aggregates", Annual book of ASTM standards, Section four construction, Vol. 04.02, (2000).
- Ayala, G, Aranda, R y Romo, M P, "Diseño sísmico de muros de retención", Informe del Instituto de Ingeniería, UNAM a SAHOP, No. 7117, (1978).
- Barrera, R, "Relleno de densidad controlada", CDT, Chile, (1999).
- Bonola, A I, "Método híbrido de elemento finito y de frontera para la evaluación de la respuesta sísmica de muros de retención", Tesis Maestría, UNAM FI, México D.F., (2002).
- 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.
- Revista Cemento Año I, N° 2.
- 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).
- Tesis Profesional "Caracterización de suelo-cemento para muros de contención mediante resistencia a compresión simple o uniaxial". UNIVERSIDAD LATINA DE AMERICA.
- Manual de mecánica de suelos, séptimo semestre, facultad de ingeniería civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- <http://www.maxeh-mx.blogspot.mx>
- <http://www.maxehterracreto.com.mx>
- http://www.univo.edu.sv:8081/tesis/016294/016294_Cap5.pdf
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. Revista Construcción y Tecnología Abril 2000
<http://www.imcyc.com/revista/2000/abril2000/rellenofluido.htm>