



**UNIVERSIDAD  
MICHOCANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARACTERIZACIÓN DEL SUELO-CEMENTO FLUIDO EN CONDICIONES  
SATURADAS Y NO SATURADAS PARA LA CENIZA VOLCÁNICA DEL  
BANCO DE MATERIAL DE CHARAPAN, MICH.**

**TESIS PROFESIONAL**

Que para obtener el título de:

**INGENIERO CIVIL**

*Presenta:*

**Ernesto Gómez Hernández**

*Asesor de Tesis:*

**M. en I. Felipe de Jesús Jerónimo Rodríguez.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, a mi Dios que es muy grande y permitir que hoy llegue hasta este punto en mi vida para poder culminar un sueño el cual es ser un Ingeniero civil, dándome la fortaleza, la salud, la sabiduría e iluminar mi mente para poder estar hoy aquí.

A mis Padres Indalecio e Hilda por darme la vida, los cuales nunca me dejaron solo, apoyándome en todo momento brindándome su confianza y amor incondicional influyéndome con sus consejos y educación, forjándome así hacer un hombre de bien, “los Amo Papás” Gracias por todo.

Mis hermanos Jorge, Jesús y Berenice.

A mi Wendy (Mi Prometida y Madre de mi hija). Por llegar a mi vida y aun después de todo este tiempo transcurrido y por todo lo vivido, cosas buenas y malas sigues a mi lado esperando por mí y este momento. Gracias por todo por ser esa persona la cual me motiva día a día, influyendo para bien desde el día en que nos conocimos, por ser tal como eres y por darme a una niña la cual amo tanto. Siendo hoy el día que esperábamos tanto tiempo.

A mi niña Samantha el cual llego a mi vida para estar hoy en este día tan importante, a ella que es mi felicidad entera en el mundo y que es la fuerza para continuar, mi motor, mi inspiración para seguir superándome cada vez más.

A mi asesor de tesis el M.I. Felipe de Jesús Jerónimo Rodríguez, el cual admiro y respeto mucho. Gracias por su tiempo, dedicación y enseñanzas dedicada para poder hacer y culminar mi tesis, cumpliendo así una meta en mi vida.

Al personal del laboratorio de mecánica de suelos.

Al maestro Ernesto Alberto Núñez Guzmán y al Ingeniero Omar Miranda Leal que me apoyaron en todo este proceso. ¡Gracias!

# ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.1- OBJETIVO.....	4
1.1.1- OBJETIVO GENERAL.....	4
1.1.2- OBJETIVOS PARTICULAR.....	4
1.2- ANTECEDENTES.....	4
1.2.1- ANTECEDENTES GENERALES.....	4
1.2.2- ANTECEDENTES PARTICULES.....	6
1.3- JUSTIFICACIÓN.....	7
1.4- HIPÓTESIS.....	7
1.5- UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	8
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
2.1.- SUELOS.....	10
2.1.1.- SUELOS FINOS.....	11
2.1.2.- SUELOS GRUESOS.....	11
2.2.- SUELO-CEMENTO.....	11
2.3.- SUELO-CEMENTO FLUIDO.....	12
2.4.- CENIZA VOLCÁNICA.....	13
2.5.- CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS.....	13
2.6.- LÍMITES DE PLASTICIDAD.....	14
2.7.- ADITIVO MAXE-h.....	14
<b>3.- PROCEDIMIENTO Y ENSAYES DE LABORATORIO.....</b>	<b>16</b>
3.1.- MUESTREO DEL MATERIAL.....	16
3.2.- DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE EL USO DE MALLAS.....	16
3.3.- DETERMINACIÓN DE LÍMITES DE CONSISTENCIA Y CONTRACCIÓN LINEAL.....	23
3.3.1.- DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO.....	26
3.3.2.- DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE PLÁSTICO.....	28
3.3.3.- DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN LINEAL.....	29

3.4.- DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA O PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LOS SÓLIDOS .....	30
3.5.- PRUEBA DE COMPACTACIÓN PORTER ESTÁNDAR.....	35
3.6.- VALOR RELATIVO DE SOPORTE ESTÁNDAR (VRS) .....	42
3.7.-DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (PVSS)	49
3.8.- CÁLCULO PARA LA ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES .....	52
3.8.1.- PROCEDIMIENTO DEL CALCULO CON 0 % DE ADITIVO MAXE-h .	53
3.8.2.- PROCEDIMIENTO DEL CALCULO CON 0.5 % DE ADITIVO MAXE-h .....	57
3.9.- ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES .....	58
3.9.1.- PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE SUELO-CEMENTO FLUIDO .....	60
3.9.2.- PRUEBA DE REVENIMIENTO.....	65
3.9.3.- PRUEBA DE COMPRESIÓN SIMPLE EN ESPECÍMENES DE SUELO-CEMENTO FLUIDO.....	67
3.9.4.- PRUEBA DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ESTÁNDAR (VRS) .....	69
<b>4.- ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>71</b>
4.1.- TABLAS, GRAFICAS Y RESULTADOS DE LOS PROPORCIONAMIENTOS PARA ESPECÍMENES EN CONDICIONES SATURADAS Y NO SATURADAS CON 0% DE ADITIVO MAXE-h. ....	71
4.1.1.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0% MAXE-h, 5% DE CEMENTO Y DE SUELO.....	72
4.1.2.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0% MAXE-h, 10% DE CEMENTO Y DE SUELO 11.69 Kg. ....	76
4.1.3.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0% MAXE-h, 15% CEMENTO Y 11.69 Kg DE SUELO .....	79
4.1.4.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0% MAXE-h, 20% CEMENTO Y 11.68 Kg DE SUELO .....	82
4.1.5.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0% MAXE-h, 30% CEMENTO Y 11.68 Kg DE SUELO. ....	85
4.1.6.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0%MAXEh, 40% CEMENTO Y 11.68 Kg DE SUELO. ....	88
4.2.- TABLAS, GRÁFICAS Y RESULTADOS DE LOS PROPORCIONAMIENTOS PARA ESPECIMENES EN CONDICIONES SATURADAS Y NO SATURADAS CON 0.5% DE ADITIVO MAXE-h. ....	92

4.2.1.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0.5% MAXEh, 5% CEMENTO Y 11.68 Kg DE SUELO. ....	92
4.2.2.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0.5% MAXEh, 10% CEMENTO Y 11.68 Kg DE SUELO. ....	96
4.2.3.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0.5%MAXEh, 15% CEMENTO Y 11.68 Kg DE SUELO. ....	99
4.2.4.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0.5%MAXEh, 20% CEMENTO Y 11.68 Kg DE SUELO. ....	102
4.2.5.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0.5%MAXEh, 30% CEMENTO Y 11.68 Kg DE SUELO. ....	105
4.2.6.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0.5%MAXEh, 40% CEMENTO Y 11.68 Kg DE SUELO .....	108
4.3.- RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS CILINDROS SATURADOS Y NO SATURADOS EN LA PRUEBA PORTER.....	111
4.4.- RESUMEN DE RESULTADOS DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE	113
4.5.- ANÁLISIS DEL COSTO DE 1 M <sup>3</sup> DE SUELO-CEMENTO FLUIDO.....	116
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	<b>117</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS</b> .....	<b>119</b>

## RESUMEN.

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, volumétricas y físicas las cuales mejoran con el tiempo hasta alcanzar su máxima resistencia.

Debido a que en la construcción surgen nuevas necesidades de crear y aprovechar nuevos materiales, es por este motivo surge la necesidad probar nuevos materiales el cual igualen o mejoren la calidad y resistencia de un concreto común siendo así un de costo más bajo y aprovechando los materiales de la zona que en nuestro caso es un suelo.

Es por este motivo en el presente trabajo se estudiará el comportamiento físico y mecánico a resistencia de compresión de un suelo-cemento fluido aplicando un 5 por ciento de aditivo MAXE-h a diferentes porcentajes de cemento para esa arena en específica para esa zona proveniente del poblado llamado Charapan Mich. Se deberá alcanzar la resistencia a compresión simple de 25 kg/cm<sup>2</sup>, en el cual se obtendrán cilindros que se probarán a los 3, 7, 14 y 28 días de fraguado en condiciones saturadas y no saturadas encontrando así el porcentaje óptimo para la determinación de la resistencia antes mencionada.

**Palabras clave:** Carga, Resistencia, Porcentaje de Resistencia, Proporcionamiento, Porcentaje óptimo de cemento, fraguar.

## ABSTRACT

The fluid soil-cement is a material of cementitious, homogeneous origin that flows in the fresh state as if it were a liquid, without segregating or exuding, transforming once hardened into a stable structure that supports loads as if it were a solid; presenting properties of an improved soil, whose mechanical, volumetric and physical characteristics which improve with time until reaching maximum resistance.

Because in the construction new needs arise to create and take advantage of new materials, it is for this reason the need arises to test new materials which match or improve the quality and resistance of a common concrete being thus a lower cost and taking advantage of the materials of the area that in our case is a soil.

It is for this reason in this work we will study the physical and mechanical behavior to compressive strength of a fluid soil-cement by applying a 5 percent MAXEh additive to different percentages of cement for that specific sand for that area from the town called Charapan Mich. The simple compressive strength of 25 kg / cm<sup>2</sup> must be achieved, in which cylinders will be obtained which will be tested at 3, 7, 14 and 28 days of setting in saturated and unsaturated conditions, thus finding the optimum percentage for the determination of the resistance mentioned above.

**Key words:** Load, Resistance, Resistance Percentage, Proportion, Optimum Cement Percentage, set.

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico alcanzado por las sociedades modernas en las últimas décadas ha brindado la posibilidad de producir continuamente toda una serie de nuevos materiales que les permiten satisfacer sus incesantes requerimientos de construcción.

Un suelo-cemento fluido es la mezcla de suelo pulverizado con determinadas cantidades de cemento, agua y un porcentaje de aditivo produciendo un endurecimiento efectivo y obteniendo un nuevo material resistente a los esfuerzos de compresión. Encontrar el contenido efectivo de porcentajes para el diseño de la mezcla de suelo-fluido para aprovechar el material que se encuentra

Como antecedente tenemos que, el tratamiento del suelo-cemento fluido ha sido considerado en las notas históricas de la ingeniería como una aportación importante al desarrollo tecnológico, principalmente porque permite ampliar de manera considerable la utilización de casi todos los suelos como materiales de construcción. En la construcción de muros y pisos ha sido usado extensamente en todas las regiones del país, usando casi exclusivamente suelos predominantemente arenosos, por lo que se presenta un estudio de combinaciones de materiales para ver su comportamiento.

## 1.1- OBJETIVO

### 1.1.1- OBJETIVO GENERAL

Estudiar combinaciones de mezclas de suelo-cemento fluido, para encontrar las cantidades óptimas de cemento, agua y aditivo MAXEh que en combinación con el material (suelo) alcance la carga de proyecto para el desarrollo de la región.

### 1.1.2- OBJETIVOS PARTICULAR

- Conocer las propiedades índices y la calidad de suelo.
- Realizar mezclas de suelo-cemento fluido con diferentes porcentajes de cemento (5%,10%,15%,20%,30% y 40%) y aditivo MAXEh (0% y 0.5%) de los cuales se fabricarán cilindros que deberán ser probados a diferentes edades; 3,7,14 y 28 días.
- De la mezcla de suelo-cemento fluido realizada, elaborar especímenes para la prueba de Valor Relativo de Soporte (VRS), saturados a 3 días y 28 días.
- Encontrar la cantidad de agua necesaria para la que la prueba de revenimiento se encuentre en el rango de 8 cm y 14 cm.
- Elegir el proporciona miento que alcance la compresión mínima de 25 kgf/cm<sup>2</sup> (2.45MPa) en los 28 días de los cilindros, y la prueba del Valor Relativo de Soporte Estándar (VRS), a los 3 y 28 días.

## 1.2- ANTECEDENTES

### 1.2.1- ANTECEDENTES GENERALES

Se considera que el suelo es un material esencial de construcción; ya que sus usos son tan variados como la cantidad de infraestructura que se pueda llegar a realizar. La aplicación del suelo-cemento empezó a estudiarse en forma metódica y científica en los años de 1910 a 1920, sin embargo, existen muchos antecedentes en la

literatura que muestran que su utilización en pisos y muros comenzó desde mucho antes.

Parece ser que la utilización del suelo-cemento en forma científica, esto es con metodología y técnicas apropiadas, se originó casi simultánea e independientemente en los E.U.A. e Inglaterra.

En Filadelfia, E.U.A., Joseph Hay Amies, el 24 de febrero de 1914, adquirió la patente llamada Soilamies e incremento el uso del suelo cemento. Además, posteriormente Amies presento otras dos patentes del mismo tipo en 1914 y 1915.

En Inglaterra, en el año de 1917, el Ing. H. E. BrookeBradley aplicó exitosamente una mezcla de cemento con suelos arcillosos en la construcción de unas carreteras en el Condado de Wiltshire.

En el año de 1932, el Departamento de Caminos Estatales de Carolina del Sur, E.U.A creó laboratorios para la investigación del suelo-cemento e impulsó científicamente su estudio. Ya con sólidas bases en 1935, se hizo la primera construcción supervisada de suelo-cemento con técnica moderna, cerca de Johnsonville, South Carolina. A partir de entonces se tuvo la certeza de la factibilidad técnica y económica de su construcción masiva con éxito. Desde esta fecha el departamento anterior, junto con otros departamentos estatales de los EUA, la Portland Cement Association, la Highway Research Board y la Transport Research Board, se han distinguido como sus activos divulgadores y promotores de investigación, tanto en los E.U.A. como en otros países.

Resulta interesante conocer el hecho que finalmente lo impulsó y fue que durante la segunda guerra mundial las fuerzas militares alemanas utilizaron eficientemente el suelo-cemento para una muy rápida construcción de 130 aeropuertos en Europa, que funcionarían en condiciones muy difíciles ya que buen número de éstos estaban situados en la U.R.R.S. y otros en la Europa Central donde ocurren condiciones climatológicas sumamente severas de congelación en el invierno.

Parece ser que la principal razón por la que se recurrió al uso del cemento fue por la escasez de asfaltos que siempre ha existido en la Europa Central. Un tiempo

después de pasada la guerra no dejó de admirar a los ingenieros el sorprendente buen estado que guardaban las pistas a pesar del uso constante y de los intensos bombardeos a que fueron sometidas, por lo que se consideró muy conveniente seguir aprovechando, pero ahora casi exclusivamente para la construcción de obras civiles. Por haber probado su bondad en condiciones tan adversas después de pasada la segunda guerra mundial se le utilizó en forma masiva para la construcción de modernas aeropistas y carreteras en Alemania y en las Naciones más desarrolladas.

Actualmente se le han encontrado toda una serie de nuevos usos en las obras hidráulicas, como son las protecciones de costas marítimas y márgenes de ríos, así como en las cimentaciones de ciertas estructuras y la construcción de silos enterrados, muros de contención, muros pantalla, etc., por lo que es de esperarse que su utilidad y aprovechamiento se incremente todavía más.

### 1.2.2- ANTECEDENTES PARTICULES

Debido a las múltiples ventajas que tienen los suelos tratados con cemento, diversos países lo aplican de forma casi generalizada. Por ejemplo, en El Salvador, el 95% de los caminos rurales pavimentados tiene base de suelo-cemento y en los últimos 10 años, el 100% de nuevas vías urbanas e interurbanas y pisos industriales tienen bases de suelo-cemento.

En México, el suelo-cemento ha sido muy poco utilizado en las vías terrestres, aeropuertos y campos donde ya ha demostrado ampliamente sus posibilidades, a pesar de que existen condiciones muy favorables para su uso en gran escala. Por otra parte, en la construcción de muros y pisos ha sido usado extensamente en todas las regiones del país, usando casi exclusivamente suelos predominantemente arenosos.

### 1.3- JUSTIFICACIÓN

En teoría cualquier suelo puede estabilizarse con cemento, a excepción de los suelos con bastante contenido tanto de sales (Lavalle,2013).

Por lo que prácticamente no se tiene una limitante para la fabricación de un suelo-cemento fluido.

Con el presente trabajo de investigación se pretende conocer las características mecánicas para el aprovechamiento de la ceniza volcánica como material de construcción en el pueblo de Charapan Michoacán de Ocampo.

### 1.4- HIPÓTESIS

La población de Charapan es una localidad purépecha con potencial turístico; uno de los problemas para desarrollar ese potencial es la falta de infraestructura en la zona. El suelo predominante en la zona es una arena de origen volcánico de color negro, la cual no tiene ningún uso aparente para la población. Por lo que se pretende investigar las características mecánicas del material, y que la población pueda llevar a cabo construcciones de calidad a base de suelo-cemento fluido a un bajo costo.

## 1.5.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA

### MACROLOCALIZACIÓN

Michoacán colinda al norte con el estado de Jalisco, Guanajuato y Querétaro; al este con Querétaro, México y Guerrero; al sur con Guerrero y el Océano Pacífico; al oeste con el Océano Pacífico, Colima y Jalisco.



**Imagen1.-** Ubicación de Michoacán en México.

**Referencia:** <http://mr.travelbymexico.com/imgBase/2012/04/michoacan.jpg>

## MICROLOCALIZACIÓN



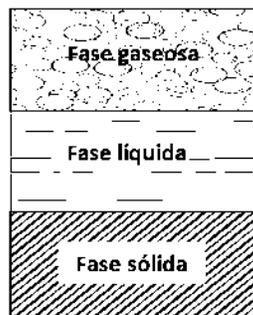
**Imagen 2.-** Ubicación geográfica del municipio de Charapan Michoacán y lugar de extracción del material.

**Referencia:** Google Earth, 2019.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1.- SUELOS

En un suelo se distinguen tres fases constituyentes: la sólida, la líquida y la gaseosa. La fase sólida está formada por las partículas minerales del suelo (incluyendo la capa sólida adsorbida); la líquida por el agua (libre, específicamente), aunque en los suelos pueden existir otros líquidos de menor significación; la fase gaseosa comprende sobre todo el aire, si bien pueden estar presentes otros gases (vapores sulfurosos, anhídrido carbónico, etc.) (Juárez & Rodríguez, 2005).



*Imagen 3.- Esquema de una muestra de suelo.*

**Referencia:** Juárez Badillo, 2005.

Los suelos para su estabilización pueden considerarse en los grupos siguientes:

- Granulares limpios
- Granulares con cantidades apreciables de finos
- Mezclas de finos y granulares
- Suelos predominantemente arcillosos
- Suelos predominantemente limosos

Los tres primeros son los que casi exclusivamente se utilizan para suelo-cemento y los dos últimos se procuran desechar.

### 2.1.1.- SUELOS FINOS

De acuerdo al sistema de clasificación unificado estas partículas tienen un tamaño inferior a 0.075 mm, que corresponden a la categoría del limo y la arcilla, por lo que toda fracción de suelo que pasa el tamiz No. 200 es considerado como suelo fino.

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

Estos suelos están constituidos de partículas con textura granular, tienen un tamaño comprendido entre 75 y 0.075 mm, que corresponden al tamaño de la grava y arena.

Son 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.

## 2.2.- SUELO-CEMENTO

La Portland Cement Association propone la definición siguiente:

El suelo-cemento es una mezcla íntima de suelo, convenientemente pulverizado, con determinadas porciones de agua y cemento que se compacta y cura para obtener mayor densidad. Cuando el cemento se hidrata la mezcla se transforma en un material duro, durable y rígido. Se usa principalmente como base en los pavimentos de carreteras, calles y aeropuertos.

### 2.3.- SUELO-CEMENTO 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.

En cuanto a la compactación por medio de vibrado u otros métodos, no es necesaria puesto que se realiza por el propio peso del material.

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.
- 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.

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.

## 2.4.- CENIZA VOLCÁNICA

La ceniza volcánica está formada por partículas producidas por la fragmentación de las rocas durante las erupciones y tienen un tamaño menor a 2mm. Esta ceniza suele estar caliente en las inmediaciones del volcán, pero se enfría cuando cae a mayor distancia.

Su color va de un tono gris claro hasta el negro, y pueden variar en tamaño: desde ser como arenilla hasta ser tan finas como los polvos de talco. (CENAPRED, 2016).

## 2.5.- CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

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

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

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

## 2.6.- LÍMITES DE PLASTICIDAD

Los tres estados de la materia que se identifican son: el sólido, el líquido y el gaseoso.

El estado sólido se identifica por su permeabilidad, el líquido y el gaseoso se reconocen porque son estados fluidos. Sin embargo, existe un cuarto estado conocido como estado plástico, caracterizado porque a la materia se le puede dar la forma que uno quiera, esto es que puede ser moldeada (Manual de Mécanica de Suelos, 2008).

**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.

A la diferencia aritmética entre el límite líquido y el límite plástico se le conoce como índice plástico.

## 2.7.- 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 MAXEh, en proporción tal que la mezcla obtenga su característica más notoria, la alta fluidez, y algunas otras como el aligeramiento y estabilidad de volumen.

MAXEh es un aditivo que al mezclarse con suelos inorgánicos areno-limosos, cemento y agua produce un material de construcción similar al concreto. Además por ser un material de menor densidad es mucho más térmico que el concreto. El

tradicional protocolo de pruebas de concreto no aplica en su totalidad con las características y modelo de prueba de las muestras adicionales con el aditivo MAXEh. Las principales diferencias se refieren a las características del agregado y a la forma en que el aditivo MAXEh deben ser tratadas de manera diferente a las mezclas de concreto, tanto en el diseño y aplicación como en las pruebas tradicionales aplicables al concreto.

Ha sido utilizado en diversas aplicaciones como: muros de contención, plataformas, losas de cimentación, estacionamientos, camino y secciones de puentes. Además, debido a sus propiedades térmicas y no necesitar acabado también se ha utilizado en viviendas coladas en sitio, viviendas construidas con elementos prefabricados como tabiques y otros elementos decorativos.

### 3.- PROCEDIMIENTO Y ENSAYES DE LABORATORIO

#### 3.1.- MUESTREO DEL MATERIAL

Previamente se debe de remover la capa superficial intemperizada y posteriormente tomar la cantidad de muestra requerida para realizar las pruebas correspondientes de laboratorio, y conocer las características físicas, mecánicas y propiedades del material para determinar si es apto o no, para la elaboración del suelo-cemento fluido.

La extracción del material se hizo en el banco de material el cual se encuentra a un kilómetro y medio de distancia del pueblo de Charapan.

Las muestras se tomaron al azar en el terreno, ya que el área presenta características similares en toda su extensión. El material fue colocado en costales y trasladado al laboratorio de mecánica de suelos en el departamento de materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo para su posterior análisis.

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

##### **OBJETIVO**

El objetivo de esta prueba consiste en separar por tamaños las partículas de suelo pasando a través de una sucesión de mallas de aberturas cuadradas y pesar las proporciones que se retienen en cada una de ellas, expresando dicho retenido como porcentajes en peso de la muestra total.

## EQUIPO

- Un juego de mallas no. 4, 10, 20, 40, 60, 100, y 200; incluyendo tapa y fondo.
- Vaso de aluminio de 1 litro.
- Charola de lámina.
- Cucharón.
- Cepillo de cerdas.
- Cepillo de cerdas de alambre delgado.
- Báscula de 600 gr. y 0.1 gr de aproximación.
- Desecador de cristal.
- Horno de termostato para mantener la temperatura constante de  $105 \pm 5^\circ \text{C}$ .

## PROCEDIMIENTO

1. Se toma una muestra representativa, obtenida mediante el cuarteo, de la ceniza volcánica previamente secado al sol.



*Imagen 4.- Secado al sol de la ceniza volcánica.*

2. Se realiza el cribado de la muestra de 15 kg antes mencionada a través de la malla N°4 para verificar si el total del material pasa dicha malla, o si existe

algún porcentaje retenido; para este caso pasó el 100% de la ceniza volcánica.



**Imagen 5.-** Material cribado por la malla N° 4.

3. De la muestra cribada por la malla N°4 se realiza un nuevo cuarteo de la ceniza volcánica y se toman aproximadamente 200 gr de material y se le agrega 500 cm<sup>3</sup>, se deja en reposo durante 24 horas.



**Imagen 5.-** Saturación de la ceniza volcánica.

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



*Imagen 6.- Forma de lavar la arena N°200.*

5. A continuación se regresa al vaso metálico el material que se haya retenido en la malla N°.200, para ser secado nuevamente en el horno a una temperatura de constante de  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$  en un lapso de 24 horas, transcurrido el tiempo, se saca del horno y se deja enfriar a temperatura ambiente.
6. Se realiza el cribado colocando las mallas en orden decreciente de la N°4, 10, 20, 40, 60, 100, 200 y charola, Se aplica el movimiento al juego de mallas, durante un tiempo de 10 min.



**Imagen 7.-** Colocación de las mallas para efectuar el cribado del material.

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



**Imagen 8.-** Material cribado por mallas.

## CÁLCULOS:

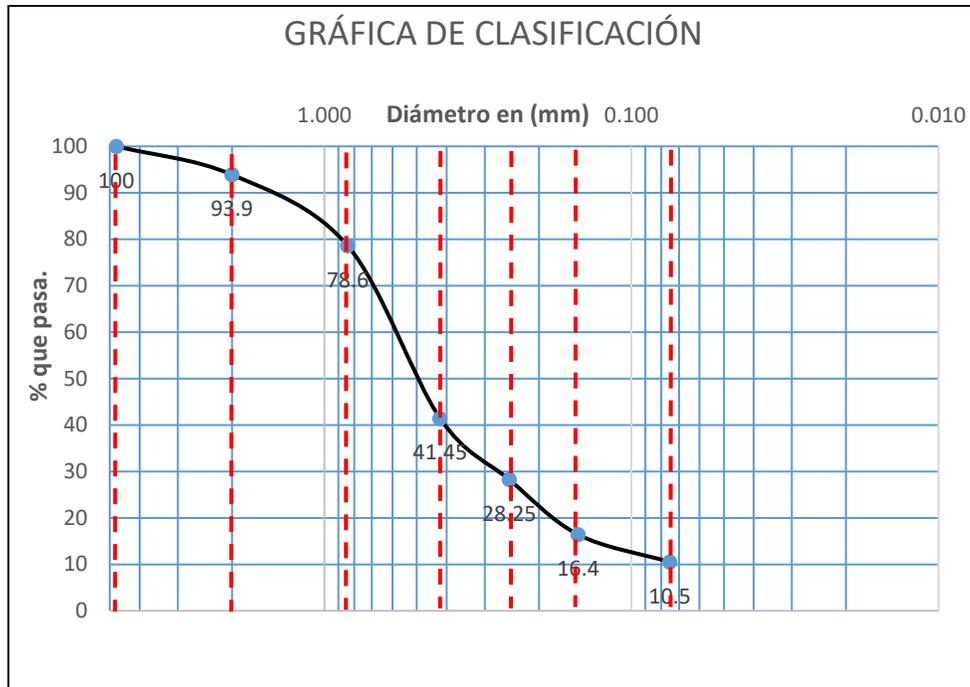
### POR CIENTO RETENIDO PARCIAL

$$\text{Por ciento reten. parcial} = \frac{\text{Peso suelo retenido} * 100}{200}$$

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos en la prueba con su gráfica correspondiente

**Tabla 2.-** Resultados de la granulometría.

Malla No.	Abertura (mm)	Peso suelo retenido (gr)	Por ciento retenido parcial (%)	Por ciento que pasa (%)
4	4.760	0.00	0.00	100
10	2.000	12.20	6.10	93.9
20	0.840	30.60	15.30	78.60
40	0.420	74.30	37.15	41.45
60	0.250	26.40	13.20	28.25
100	0.149	23.70	11.85	16.40
200	0.074	11.80	5.90	10.50
Pasa 200		21.00	10.50	0
<b>SUMA</b>		<b>200.0</b>		



**Imagen 9.-** Curva granulométrica de clasificación del material en estudio.

En base al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); si en la malla No.200 se retiene un porcentaje mayor al 50 % se tiene un suelo grueso, los suelos gruesos se dividen en arenas y gravas; si en la malla No.4 pasa un porcentaje mayor al 50 % de suelo, se clasifica como arena.

De acuerdo con los resultados en la tabla, el 100 % pasa la malla No.4, es decir, que la ceniza volcánica se clasifica de acuerdo al (SUCS) en arena.

Sin embargo, no se puede determinar el coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura (Cc) por contener más del 14 % de finos. De tal manera que se deben de conocer las características de plasticidad del material fino con ayuda de la carta de plasticidad (S.U.C.S) para realizar la clasificación completa del material.

### 3.3.- DETERMINACIÓN DE LÍMITES DE CONSISTENCIA Y CONTRACCIÓN LINEAL

Límites de consistencia: límite líquido (LL), límite plástico (LP) y límite de contracción (LC).

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

#### **OBJETIVO**

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

#### **EQUIPO**

- Copa de Casagrande con las características que se indican en la norma M-MMP-1-07/07
- Cápsula de porcelana de 12 cm de diámetro.
- Espátula de hoja de acero flexible de 7.5 cm de longitud y de 2 cm de ancho, con punta redonda.
- Cuenta gotas.
- Vidrio de reloj.
- Balanza de 200 gr de capacidad y 0.01 gr de aproximación.
- Horno de termostato que mantenga una temperatura constante de  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Paño absorbente.

## 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, en un lugar fresco, cubriendo con el paño absorbente a fin de reducir al mínimo las pérdidas de agua por evaporación.



*Imagen 10.- Cribado y saturación del material.*

## PROCEDIMIENTO:

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



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



*Imagen 11.- Colocación del material en la copa de casa grande*

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



*Imagen 12.- Forma de ranurar el material.*

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

En esta prueba de las cuatro determinaciones efectuadas, se registraron valores menores a 10 golpes por lo que la prueba fue **INAPRECIABLE**.

### 3.3.1.- DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO

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

#### **EQUIPO**

- Cápsula de porcelana de 12 cm de diámetro.
- Espátula de hoja de acero flexible de 7.5 cm de longitud y de 2 cm de ancho, con punta redondeada.
- Placa de vidrio aprox. de 40 cm de lado y 0.6 cm de espesor.
- Balanza de 200 gr y 0.01 gr de aproximación
- Horno con termostato que mantenga una temperatura constante de  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

## PROCEDIMIENTO

1. Se toma una muestra del material preparado de acuerdo con la prueba de límite líquido.
2. Se moldea el material con los dedos para que pierda la humedad, se forma un cilindro manipulándolo sobre la palma de la mano, aplicando la presión necesaria para lograr tal fin.



*Imagen 13.- Manipulación del material para formar rollitos.*

3. A continuación, se rola con los dedos de la mano sobre la placa de vidrio, dando la presión necesaria para lograr un cilindro ligeramente mayor de 3 mm uniforme en toda su longitud. La velocidad de rodado deberá ser de 60 a 80 ciclos por minuto.
4. Se debe lograr que el cilindro se rompa en varios segmentos precisamente en el momento de alcanzar el diámetro de 3 mm.

Si al alcanzar dicho diámetro el cilindro no se rompe en varias secciones simultáneamente, su humedad es superior a la del límite plástico, por lo que quiere decir que el material contiene mucha agua.

Nota: el material (ceniza volcánica) no fue posible manipular con la palma de la mano para realizar los rollitos con ningún contenido de agua, al realizarse se desmoronaba; Por lo tanto, no se pudo calcular el límite plástico, por consiguiente, se considera como **NO PLÁSTICO**.

### 3.3.2.- DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE PLÁSTICO

El índice plástico se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$IP = LL - LP$$

Donde:

*IP*= Es el índice plástico del suelo, en por ciento.

*LL*= Es el límite líquido del suelo, en por ciento.

*LP*= Es el límite plástico del suelo, en por ciento.

Cuando el suelo sea muy arenoso y no pueda determinarse el límite plástico, se reporta el límite plástico y el índice plástico como NP (no plástico). (MANUAL DE MECÁNICA DE SUELOS, 2008).

En la clasificación del suelo (ceniza volcánica) se obtuvo el 84.65 % de arena, y en la determinación del límite plástico no se logró el objetivo; de acuerdo al párrafo anterior se concluye el límite plástico y el índice plástico como NP (no plástico).

### 3.3.3.- DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN LINEAL

La contracción lineal de un suelo se define como la reducción en la mayor dimensión de un espécimen de forma prismática rectangular, elaborado con la fracción de suelos que pasa la malla N° 0.425 (N° 40), cuando su humedad disminuye desde la correspondiente al límite líquido hasta la del límite de contracción, expresada como un porcentaje de la longitud inicial del espécimen.

#### EQUIPO

- Cápsula de porcelana de 12 cm de diámetro.
- Espátula de hoja de acero flexible de 7.5 cm de longitud y de 2 cm de ancho, con punta redonda.
- Moldes de lámina galvanizada, con sección 2 por 2cm y 10 cm de longitud.
- Calibrador con vernier del tipo Máuser.
- Horno con termostato que mantenga una temperatura constante de  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Aceite lubricante

#### PROCEDIMIENTO

1. Se toma una muestra del material húmedo que haya sobrado de la determinación del límite líquido, verificando que cumpla con las condiciones de la copa de Casagrande (que la ranura cierre en una longitud de 13 mm precisamente a los 25 golpes).
2. Se procede a llenar el molde de prueba, se efectúa en 3 capas, utilizando la espátula y golpeándolo después de la colocación de cada capa contra una superficie dura. Se enrasa el material en el molde utilizado, con la espátula.
3. Se deja secar el espécimen en condiciones ambientales por 24 horas para evitar su agrietamiento y posteriormente se pone a secar en el horno por 18 horas.

4. Se extrae del horno de secado el molde con el espécimen, se deja enfriar y se saca la barra del molde.
5. Finalmente se mide con el calibrador, la longitud de la barra del material seco (longitud final) y la longitud interior del molde (longitud inicial).

Aunque el material (ceniza volcánica) no haya cumplido con las condiciones de la copa de Casagrande, se realizó el llenado del molde siguiendo el resto del procedimiento.

Como resultado se observó a simple vista que no hubo reducción del material (ceniza volcánica); por lo que se concluye que la contracción es **INAPRECIABLE**.



*Imagen 14.- Resultado del secado en el horno.*

### 3.4.- DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA O PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LOS SÓLIDOS

#### **OBJETIVO**

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 (4.75mm) y en la porción que pasa dicha malla.

En esta prueba se siguió el protocolo empleado en el laboratorio de mecánica de suelos; por lo que se utiliza la malla No. 40 para cribar el material.

## **EQUIPO**

- Malla N°40
- Balanza de 3000 gr de capacidad y 0.01 gr de aproximación.
- Horno capaz de mantener una temperatura de  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Lienzo o trapo.
- Matraz Calibrado.
- Probeta graduada.
- Termómetro de  $0.1^{\circ}\text{C}$  de aproximación.
- Fuente de calor (estufa).
- Bomba de vacío.
- Espátula
- Capsula de porcelana.
- Embudo.
- Agua destilada
- Pipeta o cuentagotas

## **PROCEDIMIENTO**

1. Se pesa 50 gr de material cribado por la malla N°40, utilizando el embudo se introduce el material en el matraz previamente calibrado. Posteriormente se llena el matraz con agua destilada hasta aproximadamente la mitad de su capacidad.

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

Nota: En esta ocasión se agilizó la prueba poniendo el matraz a baño maría, hasta lograr la ebullición de la muestra moviendo al mismo tiempo el material mientras hierve, hasta expulsar el aire atrapado. Posteriormente se lleva al dispositivo de succión.



**Imagen 15.-** Expulsión del aire atrapado mediante la ebullición.



**Imagen 16.-** Succión del aire atrapado con ayuda de la bomba.

Se debe tener el cuidado de no succionar el material contenido en el matraz, ya que de lo contrario se tendrán pérdidas de material y será necesario repetir la prueba.

3. Se adiciona el volumen de agua destilada, necesaria para alcanzar la marca de aforo.
4. Se secan cuidadosamente la superficie exterior del matraz y el interior del cuello del mismo, y se tapa. Para esta última operación se emplea un trapo absorbente enrollado, evitando tocar el menisco. Se obtiene la masa del matraz con el material y el agua registrándolo como  $W_{fsw}$ , en gr.
5. 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  $t_p$ .
6. 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.



**Imagen 17.-** Secado al horno las muestras realizadas en la prueba.

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

## CÁLCULOS

Se calcula la densidad relativa del material seco con la siguiente fórmula:

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

Donde:

$S_s$  = Densidad relativa de sólidos del material, (adimensional)

$W_s$  = Masa del material secado al horno, (gr)

$W_{fw}$  = Masa del matraz lleno de agua a la temperatura de prueba  $t_p$ , determinada gráficamente de la curva de calibración del matraz, (gr)

$W_{fsw}$  = Masa del matraz contenido al suelo y agua hasta la marca de aforo, a la temperatura de prueba  $t_p$ , (gr).

## RESULTADOS

**Tabla 3.-** Promedio de 3 pruebas realizadas.

<b>Prueba N°.</b>	1	2	3
<b>Matraz N°.</b>	X	VII	XV
<b>W<sub>fsw</sub> (gr)</b>	714.8	715	717.6
<b>Temperatura (°C)</b>	27	27	27
<b>W<sub>fw</sub> (gr)</b>	690.62	686.06	685.23
<b>Cápsula de evaporación N°.</b>	74	A	20
<b>Peso cápsula + muestra seca (gr)</b>	813	812.8	705.6
<b>Peso cápsula (gr)</b>	763.6	763.4	656.4
<b>W<sub>s</sub> (gr)</b>	49.4	49.4	49.2
<b>S<sub>s</sub></b>	1.96	2.41	2.92
		<b>Promedio</b>	<b>2.43</b>

### 3.5.- PRUEBA DE COMPACTACIÓN PORTER ESTÁNDAR

#### OBJETIVO

En esta prueba se determina la compactación por carga estática para calcular el Peso Volumétrico Seco Máximo ( $Y_{dm\acute{a}x}$ ) 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.

#### 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 dispositivo 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

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".



**Imagen19.-** Material para realizar la prueba.

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

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 humedad muy ligeramente. Para favorecer lo anterior en algunos casos será necesario dejar el material húmedo un cierto tiempo en reposo cubierto con una lona húmeda. Con ayuda de una espátula se remueve el material del fondo de la charola para lograr una buena homogenización.



**Imagen 17.-** Homogenización del material con el agua.

5. 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.



*Imagen 18.- Colocación y varillado del material.*

6. 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  $140.6 \text{ kg/cm}^2$ , equivalente a una carga de 26.5 toneladas, aproximadamente; se mantiene esta carga durante 1 minuto y se hace la descarga en el siguiente minuto. Al llegar a la carga máxima se observa la base del molde y si está ligeramente humedecida, el material tiene la Humedad Óptima de Compactación y ha alcanzado su peso específico volumétrico máximo.



*Imagen 19.- Colocación en la máquina de carga.*

7. 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  $80 \text{ cm}^3$ ; 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.
  
8. Si antes de llegar a la carga máxima se humedece la base del molde al haberse iniciado la expulsión de agua, la humedad con la que se preparó la muestra es superior a la óptima y en este caso se procede como se indica en el paso 6, con la diferencia que en lugar de adicionar  $80 \text{ cm}^3$  de agua, se disminuyen estos  $80 \text{ cm}^3$  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.

9. Terminada la compactación del espécimen preparado con la humedad óptima, se retira el molde de la máquina de compresión y se determina la altura del espécimen,  $h_e$ , restando 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 0.01 mm.



*Imagen 20.- Forma de medir el borde superior del molde con el vernier.*

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 óptimo de agua WO.



**Imagen 21.-** Obtención del contenido óptimo de humedad.

## CÁLCULOS

El volumen del espécimen compactado con la humedad óptima se calcula con la siguiente fórmula:

$$V_m = A_m * h_e$$

Donde:

$V_m$ = Es el volumen del espécimen, ( $\text{cm}^3$ )

$A_m$ = Es el área de la sección transversal del cilindro de compactación, ( $\text{cm}^2$ )

$h_e$ = Es la altura del espécimen, (cm)

El contenido de agua óptima se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$W_o = \frac{\text{peso suelo humedo} - \text{peso suelo seco}}{\text{peso suelo seco}}$$

El peso específico húmedo del espécimen se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$\gamma_m = \frac{W_t}{V_m} = \frac{4000}{2133.75} = 1.88 \text{ gr/cm}^3$$

Donde:

$W_t$ : peso del material.

$V_m$ : volumen del espécimen.

El peso específico seco máximo ( $\gamma_{dmax}$ ), del espécimen se calcula:

$$\gamma_{dmax} = \frac{\gamma_m}{1 + \frac{W_o}{100}}$$

DONDE:

$\gamma_{dmax}$  = Peso específico máximo del espécimen en estado seco, en gr/cm<sup>3</sup> = ton/m<sup>3</sup>.

Enseguida se muestra la conversión.

$$\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} * \frac{1 \text{ ton}}{1,000,000 \text{ gr}} * \frac{1,000,000 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3} = \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$\gamma_m$  = Es el peso específico del espécimen húmedo, (gr/cm<sup>3</sup>)

$W_o$  = Es la humedad óptima del espécimen, (%)

**Tabla 4.- Humedad óptima.**

Datos Generales del molde					
Nº de molde					
Altura del molde (L1) =	12.69	cm <sup>2</sup>			
Area del molde (Am) =	193.10	cm <sup>2</sup>			
Peso de la muestra (W) =	4000	gr			
Diametro (D) =	15.68	cm			
Lecturas obtenidas con el vernier :					
H <sub>1</sub> =	2.84	cm	Li =	10.3	cm
H <sub>2</sub> =	3	cm	Lf =	10.3	cm
H <sub>3</sub> =	2.8	cm			
H <sub>4</sub> =	2.92	cm			
h2 ( Lectura promedio ) =	2.89	cm			
he = h1 - h2					
<b>he =</b>	9.80	cm			
Volumen (Vm) =	1892.38	cm <sup>3</sup>			
Humedad optima (Wo)					
<b>Peso suelo humedo =</b>	200	gr			
<b>Peso suelo seco =</b>	170.40	gr			
<b>Humedad optima (Wo)</b>	17.37	%			
<b>Y<sub>dmax</sub> =</b>	1.80	kg/m <sup>3</sup>			

### 3.6.- VALOR RELATIVO DE SOPORTE ESTÁNDAR (VRS)

#### OBJETIVO

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

Para esta prueba se utiliza el suelo compactado en la prueba anterior, Porter estándar.

## EQUIPO

- 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.
- 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 esta, las 2 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.



**Imagen 22.-** Colocación de la placa perforada para su posterior saturación en la pila.

3. Se introduce el conjunto a la pila de saturación, de tal forma que el molde quede sumergido, con un tirante de 2 cm arriba del borde superior de la extensión del molde.
4. Utilizando el vernier, se hace la primera lectura de altura, medida sobre el trípode hasta la parte central del vástago de la placa circular perforada; anotando esta lectura como (Li), se verifica cada 24 horas y cuando en dos lecturas sucesivas se observe que no hay diferencia, se anota su valor como lectura final (Lf), con aproximación a 0.01 mm. El periodo de saturación varía de 3 a 5 días.



**Imagen 23.-** Muestra la forma de medir las lecturas con ayuda del vernier.

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.

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

Donde:

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

6. Se retira el molde del agua, se retira la expansión, 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.



*Imagen 24.- Retiro del molde de la pila de saturación.*

7. Se coloca el extensómetro que va a indicar las penetraciones estandarizadas para esta prueba.
8. Se aplica una precarga para ajustar el extensómetro en cero, para iniciar la penetración del pistón en forma vertical.



**Imagen 25.-** Forma de colocar el molde en la máquina.

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.
  
10. 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:

## CÁLCULOS

Para el Valor Relativo de Soporte (VRS)

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

Para la carga (y) en función de la penetración

$$y = 8.65x$$

Donde:

8.65 = Coeficiente de calibración propio de la máquina.

X = Penetración, mm.

C<sub>2.54</sub> = 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.

## RESULTADOS

**Tabla 5.-** Resultados de prueba VRS.

Resistencia a la penetración (kg)				
	X (mm)	Y (kg)	VRS %	VRS % CORREGIDO
1.27	6	51.9	3.82	
<b>2.54</b>	<b>23.8</b>	<b>205.87</b>	<b>15.14</b>	<b>46.32</b>
3.81	57.5	497.375	36.57	
5.08	102	882.3	64.88	
7.62	172.5	1492.125	109.72	
10.16	211	1825.15	134.20	
12.7	256	2214.4	162.82	

**Tabla 6.-** Expansión del material.

Expansión		
Li=	10.3	cm
Lf=	10.3	cm
% expansión =	0.00	cm

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de la resistencia, se calculó el valor relativo de soporte de la ceniza volcánica a diferentes penetraciones.

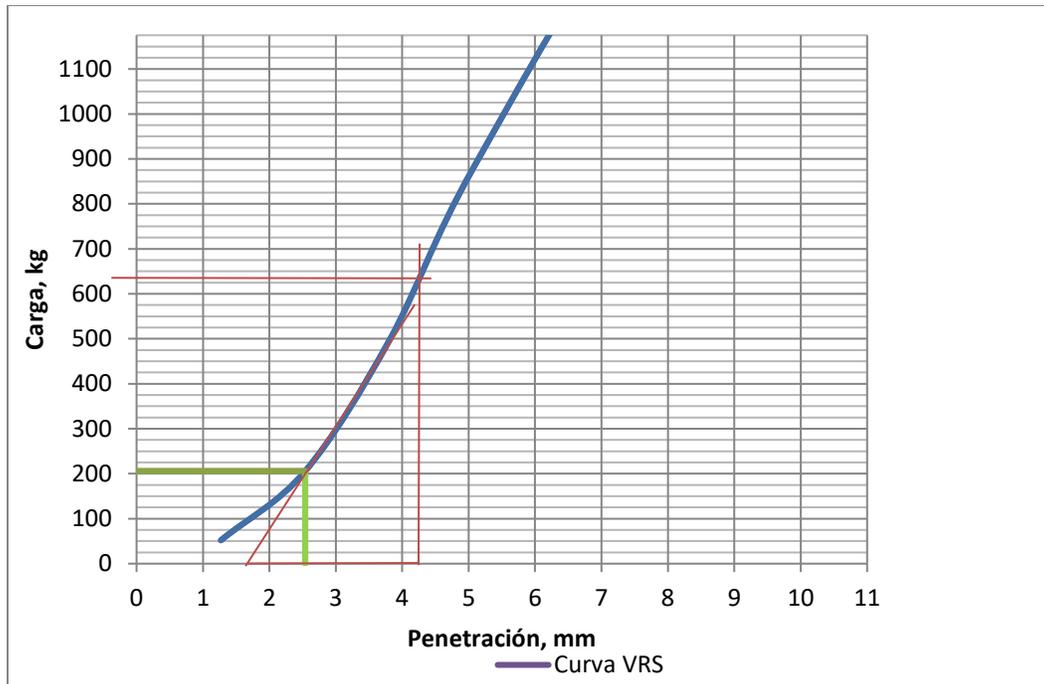


Imagen 26.- Gráfica de VRS inicial.

RANGOS PARA CLASIFICACION DEL MATERIAL, POR MEDIO DE LA GRAFICA	
0 a 5 %	Sub-rasante muy mala
5 a 10 %	Sub-rasante mala dudosa
10 a 20 %	Sub-rasante regular a buena
20 a 30 %	Sub-rasante muy buena
<b>30 a 50 %</b>	<b>Sub-base buena calidad</b>
50 a 80 %	base de regular calidad
80 a 100 %	base de buena calidad

Tabla 7.- Rangos de clasificación del material.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se trata de un material que se puede utilizar para una sub-rasante regular a buena; cabe mencionar que durante la saturación no presentó expansión, lo que es muy favorable para el empleo de caminos.

### 3.7.-DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (PVSS)

#### OBJETIVO

Determinar el peso volumétrico seco de campo para determinar el grado de compactación.

El peso volumétrico es la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en T/m<sup>3</sup>.

#### EQUIPO

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

#### PROCEDIMIENTO

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

$$\% H. Actual = \frac{Wh - Ws}{(Ws)} * 100$$

Donde:

$W_h$  = peso muestra

$W_s$  = peso muestra seca

1. Con el material utilizado en la prueba (DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE EL USO DE MALLAS), se hace un cuarteo con el cucharón se deja caer el material dentro del recipiente desde una altura de 20 cm aproximadamente, hasta llenar el recipiente a tope, y se enrasa con la barra metálica si ejercer presión.
2. Una vez enrasado se pesa el recipiente junto con el material y se registra su peso. Repitiendo los pasos anteriores 3 veces para hacer un promedio del peso volumétrico del material seco.



**Imagen 27.-** Preparación de la muestra.

## CÁLCULOS

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

$$P.V.S.S. \left( \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} * \frac{1\ 00\ 000 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3} = P.V.S.S \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

**Tabla 8.-** Peso volumétrico seco suelto.

PESO VOLUMETRICO SUELTO SECO.						
Nº	Peso de suelo + tara (gr)	tara (gr)	Peso muestra (gr)	Volumen (cm3)	PVSS (gr/cm3)	PVSS (kg/m3)
1	4960	1460	3500	2840	1.23	1232
2	4975		3515		1.24	1238
3	4960		3500		1.23	1232
<b>Promedio</b>					<b>1.23</b>	<b>1234</b>

Se obtuvo un promedio de tres pesos volumétricos seco suelto.

**Tabla 9.- Características de la ceniza volcánica.**

INFORME DE CALIDAD DE MATERIAL (CENIZA VOLCANICA)				
Norma de Referencia N-CMT-4-02-002/04				
SOLICITANTE:	Maxe-h Internacional de México, S.A de C.V.			
OBRA:	Tesis Suelo-Cemento.			
LOCALIZACIÓN:	Charapan Michoacan.			
FECHA DE RECIBIDO:	FECHA DE INFORME:	10/07/2019		ENSAYE No:
PROCEDENCIA:	Banco de Material de Charapan Michoacan.			
MATERIAL:	Arena Limosa (SM), Ceniza volcanica.			
ENVIADA POR:	Ernesto Gómez Hernández.			

MALLAS	ΣL<10 <sup>(6)</sup> QUE PASA (%)	ΣL>10 <sup>(6)</sup> ESPECIFICACIONES	
		70-100	70-100
1 ½"	(38.1)	100	100
1"	(25.4)	100	70-100
¾"	(19)	100	60-100
3/8"	(9.51)	100	40-100
No. 4	(4.76)	100	30-80
10	(2)	94	21-60
20	(0.841)	79	13-44
40	(0.42)	41	8-31
60	(0.25)	28	5-23
100	(0.149)	16	3-9
200	(0.074)	11	0-10
LÍMITE LÍQUIDO (%)	INAP	25 máx	25 máx
ÍNDICE PLÁSTICO (%)	INAP	6 máx	6 máx
CONTRACCIÓN LINEAL	INAP		
EQUIV. DE ARENA (%)	-	40 mín	50 mín
VRS ESTANDAR (%)	46.32	80 mín	100 mín
DESGASTE (%)	-	35 máx	30 máx
PART. ALARGADAS (%)	-	40 máx	35 máx
PART. LAJEADAS (%)	-	40 máx	35 máx
DESPERDICIO (%)	0		
PVSS (m/m <sup>3</sup> )	1.23		
PVSM (m/m <sup>3</sup> )	1.80		
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	17.37		
EXPANSIÓN (%)	0		
VALOR CEMENTANTE (kg/cm <sup>3</sup> )	-		
ABSORCIÓN (%)	-		
DENSIDAD DE SÓLIDOS.	3.13		
CLASIFICACIÓN SUCS	SP-SM		

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL

GRÁFICA DE COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA

La gráfica muestra el porcentaje que pasa (% QUE PASA) en el eje Y (de 0 a 100) frente al tamaño de malla en milímetros (eje X inferior, de 0.1 a 100) y pulgadas (eje X superior, de 200 a 11/2"). Se incluyen curvas límite superior y inferior para la clasificación SP-SM. La curva roja del material muestra un comportamiento dentro de los límites permitidos.

### 3.8.- CÁLCULO PARA LA ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES

Para las pruebas siguientes se hizo un proporcionamiento de cemento, Suelo y aditivo (MAXE-h) de 0 % y 5 % respectivamente. Para la elaboración de 8 especímenes saturados, 8 especímenes no saturados y 2 para VRS (Valor Relativo de Soporte).

El cálculo del peso de cemento, peso de suelo y cantidad de agua a la cual no se agrega aditivo (MAXE-h) se inicia con los valores base mostrados en la siguiente tabla:

**Tabla 10.-** Datos de partida para la elaboración de especímenes.

<b>PVSS (ceniza volcánica)</b>	1234	kg/m <sup>3</sup>
<b>Agua para 1 m3 de material</b>	190 a 250	lts
<b>Aditivo MAXE-h para 1 m3 de material</b>	1	kg

### 3.8.1.- PROCEDIMIENTO DEL CALCULO CON 0 % DE ADITIVO MAXE-h

1. Se toman las medidas al cilindro pequeño y al molde que se ocupa para el VRS.



**Imagen 28.-** Forma de medir el molde.

La siguiente tabla muestra las medidas y volúmenes que corresponden a los moldes.

**Tabla 11.-** Características de los recipientes.

<b>Medidas del cilindro Chico</b>		
<b>Diámetro</b>	5.16	cm
<b>Altura (h)</b>	9.97	cm
<b>Área</b>	20.91	cm <sup>2</sup>
<b>Volumen cilindro</b>	208.49	cm <sup>3</sup>
<b>Vol. 16 cilindros</b>	3335.84	cm <sup>3</sup>
<b>Medidas del molde (VRS)</b>		
<b>Diámetro</b>	15.68	cm
<b>Altura (h)</b>	12.7	cm
<b>Área</b>	193.1	cm <sup>2</sup>
<b>Volumen molde</b>	2452.37	cm <sup>3</sup>
<b>Vol. 2 molde</b>	4904.74	cm <sup>3</sup>

2. Se calcula el volumen y área necesarios para el proporcionamiento.

Cálculo del área y el volumen del cilindro pequeño:

$$\text{Área} = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * (5.16)^2}{4} = 20.91 \text{ cm}^2$$

$$\text{Volumen} = \text{Área} * h = 20.91 * 9.97 = 208.49 \text{ cm}^3$$

Donde:

D= diámetro del cilindro pequeño.

h= altura del cilindro pequeño.

Para cada proporcionamiento es necesario fabricar 16 cilindros pequeños; 8 saturados y 8 no saturados, así que se calcula el volumen necesario para este fin.

Por lo tanto:

**Vol. 16 cilindros = 208.49 \* 16= 3 335.84 cm<sup>3</sup>**

Cálculo del área y el volumen del molde para VRS.

$$\text{Área} = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * (15.68)^2}{4} = 193.1 \text{ cm}^2$$

$$\text{Volumen} = \text{Área} * h = 193.1 * 12.7 = 2 452.37 \text{ cm}^3$$

Se realizan 2 moldes para la prueba VRS; a la edad de 3 días y 28 días.

**Vol. 2 moldes VRS= 2 452.37 \* 2= 4 904.73 cm<sup>3</sup>**

**3 335.84 cm<sup>3</sup> + 4 904.73 cm<sup>3</sup> = 8 240.57 cm<sup>3</sup>**

3. Se realiza un incremento del 15 % de desperdicio.

**Vol. total de Suelo = 8 240.57 cm<sup>3</sup> \* 1.15 = 9 476.65 cm<sup>3</sup>**

A continuación, se muestra la conversión de cm<sup>3</sup> a m<sup>3</sup>:

$$\frac{1\ 000\ 000 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3} \quad \frac{9\ 476.65 \text{ cm}^3}{x}$$

Por lo tanto tenemos: **0.00947 m<sup>3</sup>** de volumen de material requerido.

4. Se calculan las cantidades de cemento, agua y ceniza volcánica requeridos.

Ejemplo de cálculo para Proporcionamiento de suelo-cemento para 5% Cemento.

Cálculo de cemento para 1 m<sup>3</sup> de ceniza volcánica:

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

$$\text{Cemento para 1 m}^3 = 0.05 * 1234 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \mathbf{61.7 \text{ kg/m}^3}$$

Cálculo de cemento para 0.00947 m<sup>3</sup> de material:

$$\text{cemento para 1m}^3 \text{ de ceniza volcánica} * \text{Volumen de suelo requerido}$$

$$61.7 \text{ Kg /m}^3 * 0.00947 \text{ m}^3 = \mathbf{0.58 \text{ Kg}}$$

Cálculo de la arena volcánica para 0.00947 m<sup>3</sup> de material:

$$= (PVSS * \text{Volumen de suelo requerido})$$

$$= 1234 \text{ Kg/m}^3 * 0.00947 \text{ m}^3 = \mathbf{11.68 \text{ Kg}}$$

Cálculo del agua para 0.00947 m<sup>3</sup> material:

$$= \text{vol. de agua para 1 m}^3 \text{ de material} * \text{vol de suelo requerido}$$

$$= \frac{230 * 0.00947}{1} = \mathbf{2.18 \text{ lt}}$$

$$\frac{230 \text{ L}}{x} \frac{1 \text{ m}^3}{0.00947 \text{ m}^3}$$

Las siguientes tablas muestra las cantidades necesarias de suelo, cemento y volumen de agua; que deben emplearse para preparar 16 especímenes (8 saturados y 8 no saturados) y 2 moldes para VRS; para los diferentes porcentajes de cemento. Cabe mencionar que la cantidad de agua calculada se considera como dato inicial ya que por el tipo de material se espera sea mayor al resultado obtenido.

**Tabla 12.-** Porcentajes de Cemento con el 0 % de Aditivo MAXE-h.

<b>Proporcionamiento 0% MAXE-h</b>				
<b>Porcentajes cemento</b>	<b>Cemento para 1m<sup>3</sup> de ceniza V.</b>	<b>Cemento para 0.00948 m<sup>3</sup> de material</b>	<b>Agua para 0.00948 m<sup>3</sup> de material</b>	<b>Ceniza volc. para 0.00948 m<sup>3</sup> de material</b>
<b>(%)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(kg)</b>	<b>lts</b>	<b>(kg)</b>
<b>5%</b>	61.7	0.58	2.18	11.69
<b>10%</b>	123.4	1.17	2.18	11.69
<b>15%</b>	185.1	1.75	2.18	11.69
<b>20%</b>	246.8	2.34	2.18	11.69
<b>30%</b>	370.2	3.51	2.18	11.69
<b>40%</b>	493.7	4.68	2.18	11.69
<b>PVSS =</b>	<b>1234.2</b>	kg/m <sup>3</sup>		

### 3.8.2.- PROCEDIMIENTO DEL CALCULO CON 0.5 % DE ADITIVO MAXE-h

Para el cálculo de aditivo MAXE-h para 0.00947 m<sup>3</sup> de material:

$$= (\text{PVSS} * \text{Vol de suelo requerido}) * (\text{porcentaje del aditivo MAXEh})$$

$$= (1234 \text{ Kg /m}^3 * 0.00947 \text{ m}^3) * (0.005) = 0.05849 \text{ Kg} = \mathbf{58.5 \text{ gr}}$$

$$\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = \frac{0.0138 \text{ kg}}{x}$$

**Tabla 16.-** Porcentajes de Cemento con el 0.5 % de Aditivo MAXE-h.

<b>Proporcionamiento para 0.5% de MAXE-h</b>					
<b>Porcentajes cemento</b>	<b>Cemento para 1m<sup>3</sup> de ceniza Volcánica.</b>	<b>Cemento para 0.00948 m3 de material</b>	<b>Agua para 0.00948 m<sup>3</sup> de material</b>	<b>Maxe-h para 0.00947 m3 de material</b>	<b>Ceniza volc. para 0.00947 m3 de material</b>
<b>(%)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(kg)</b>	<b>lts</b>	<b>(gr)</b>	<b>(kg)</b>
<b>5%</b>	61.7	0.58	2.18	58.5	11.69
<b>10%</b>	123.4	1.17	2.18	58.5	11.69
<b>15%</b>	185.1	1.75	2.18	58.5	11.69
<b>20%</b>	246.8	2.34	2.18	58.5	11.69
<b>30%</b>	370.2	3.51	2.18	58.5	11.69
<b>40%</b>	493.7	4.68	2.18	58.5	11.69
<b>PVSS =</b>	<b>1234.2</b>	kg/m <sup>3</sup>			

### 3.9.- ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES

Se elaborarán 192 especímenes para realizar la prueba a compresión simple; aplicándoles carga a la edad 3, 7, 14 y 28 días en condiciones saturadas y no saturadas; y 24 especímenes para VRS (Valor Relativo de Soporte Estándar), a la edad de 3 y 28 días.

El cálculo se realizó para 16 cilindros pequeños y 2 moldes para VRS; Todo esto para cada proporcionamiento de cemento.

Durante la elaboración de la mezcla se realizará la prueba de revenimiento.

Durante su colado se deberá golpear el cilindro aproximadamente un 1 minuto en cada capa, una vez terminado el colado de cada cilindro, se cubrirán con bolsas de plástico húmedas durante 24 horas, con el fin de mantener la humedad del colado hasta el día del descimbrado, se colocarán 8 especímenes para compresión simple en la pila de saturación, así como también los dos VRS (Valor Relativo de Soporte Estándar), y los 8 especímenes restantes se pondrán en un lugar donde pueda

mantenerse en condiciones ambientales, cubriéndolos con bolsas de plástico humedecidas cada 24 horas para evitar alteración en los resultados

**Tabla 13.-** Especímenes a elaborar para condiciones no saturadas.

Porcentajes cemento	0 % MAXE-h	0.5 % MAXE-h
5%	8	8
10%	8	8
15%	8	8
20%	8	8
30%	8	8
40%	8	8
<b>Total</b>	48	48
<b>VRS</b>	24	

**Tabla 14.-** Especímenes a elaborar para condiciones saturadas.

Porcentajes cemento	0 % MAXE-h	0.5 % MAXE-h
5%	8	8
10%	8	8
15%	8	8
20%	8	8
30%	8	8
40%	8	8
<b>Total</b>	48	48
<b>VRS</b>	24	

### 3.9.1.- PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE SUELO-CEMENTO FLUIDO

#### **OBJETIVO**

Ilustrar el procedimiento para elaboración de especímenes de suelo-cemento fluido.

#### **EQUIPO**

- Bolsas de 15 cm x 25cm y 20 cm x 30 cm
- Cilindros de 5 cm de diámetro cm y 10 cm de altura
- Moldes de 15.7 cm de diámetro y 12.70 cm de altura
- Probeta graduada
- Báscula
- Charola
- Cucharón
- Equipo para la prueba del revenimiento
- Termómetro

#### **PROCEDIMIENTO**

1. Se pesan las cantidades de los materiales de acuerdo a los proporcionamientos ya calculados anteriormente. Se pesa la Ceniza Volcánica previamente secada en el sol.



**Imagen 29.-** Preparación del material.

Se usará Cemento CEMEX Tolteca CPC 30R.



**Imagen 30.-** Cemento

2. El aditivo MAXE-h se mezcla en agua por un periodo de por lo menos 10 minutos manteniendo en reposo antes de ser agregado a la mezcla.



**Imagen 31.-** Homogenización del aditivo MAXE-h en agua.

3. Se mide la cantidad de agua calculada en el proporcionamiento, con ayuda de la probeta graduada; se debe de obtener un revenimiento de 8 cm a 14 cm; en caso de no obtener el revenimiento deseado se le agrega más agua, Se debe hacer el registro del agua ocupada para obtener dicho revenimiento.



**Imagen 32.-** Probeta con agua.

4. Para la preparación de la mezcla del suelo-cemento fluido, en una charola con ayuda del cucharón realizar la homogenización de la ceniza volcánica con el cemento ya pesados; posteriormente agregar el aditivo previamente diluido, finalmente vaciar el agua necesaria para registrar un revenimiento adecuado.

5. Tomar la temperatura de la mezcla con el termómetro.



**Imagen 33.-** Colocación del termómetro.

6. Inmediatamente se realiza la prueba de revenimiento, debe quedar entre 8 cm y 14 cm.
7. Se realiza el llenado de los cilindros.

Para el llenado de los cilindros, previamente aceitados, se utiliza un cucharón metálico, esto se realiza en tres capas aplicándole varillado de 25 golpes por cada capa, finalmente se le aplica golpes con la varilla para eliminar exceso de aire y se enrasa.



**Imagen 34.-** Llenado y varillado de los cilindros.

8. Se pesa cada espécimen para determinar su peso volumétrico fresco y posteriormente se cubren con bolsas de plástico húmedas para su curado durante 24 horas antes de ser descimbrados.



**Imagen 35.-** Registro del peso de los especímenes frescos.

9. Se colocan 8 especímenes en la pila de saturación y 8 en un lugar seguro donde se pueda mantener a temperatura ambiente cubriéndolos con bolsas de plástico húmedas y previamente numerados.



**Imagen 36.-** *Especímenes en la pila de saturación.*



**Imagen 37.-** *Especímenes cubiertas con bolsas muy húmedas.*

### 3.9.2.- PRUEBA DE REVENIMIENTO

#### **OBJETIVO**

Determinar el revenimiento en el concreto fresco (NMX-C-156-ONNCCE-2010)

Esta norma mexicana establece los procedimientos para determinar la consistencia del concreto hidráulico en estado fresco.

## EQUIPO

- Placa y cono para revenimiento.
- Varilla punta de bala de 5/8 de diámetro.
- flexómetro

## PROCEDIMIENTO

1. Humedecer el cono, colocarlo sobre una superficie horizontal, plana y rígida; se sujeta colocando los pies en los estribos del cono para mantenerlo firme.
2. Llenar el cono con ayuda del cucharon en 3 capas aproximadamente de igual volumen, se le dan 25 golpes distribuidos sobre la sección de cada capa, inclinando la varilla ligeramente en la zona perimetral cuidando de no penetrar la capa inferior durante el varillado.



**Imagen 38.-** Varillado para la prueba de revenimiento.

3. Enrazar el material mediante el movimiento de rodamiento de la varilla. Se limpia la superficie exterior de la base de asiento, e inmediatamente se levanta en un solo tirón el cono, en dirección vertical, se invierte el cono y se

coloca cerca de la mezcla para colocar la varilla horizontalmente y medir la distancia con el flexómetro.



*Imagen 39.- Colocación del flexómetro durante la prueba.*

### 3.9.3.- PRUEBA DE COMPRESIÓN SIMPLE EN ESPECÍMENES DE SUELO-CEMENTO FLUIDO

#### **OBJETIVO**

Determinar la capacidad de carga de especímenes de suelo-cemento fluido.

#### **EQUIPO**

- Prensa hidráulica capacidad mínima de 30 toneladas y aproximación de 100 kg.
- Nivel de mano.
- Espátula.

#### **PROCEDIMIENTO**

Los especímenes saturados se retiran de la pila de saturación y posteriormente se secan con franela.

Para los especímenes no saturados, se les retira la bolsa.

1. Se coloca el espécimen de suelo-cemento, el cual se cabecea con una porción de mezcla de arena y cemento, comprendida entre 6 mm y 10 mm, con ayuda de una espátula, sobre la base para aplicar carga de la prensa hidráulica, de tal manera que quede centrado.



*Imagen 40.- Espécimen colocado en el centro de la placa de la prensa.*

2. Se ajusta el espécimen en la prensa hidráulica cuidando que la placa superior apenas haga contacto con el espécimen. Colocar en ceros el indicador de deformación. Posteriormente se aplica carga al espécimen. Se detiene la maquina cuando el espécimen falle, se registra la lectura multiplicado por el factor que tiene la máquina de compresión (56.25, 62.27), para obtener la carga máxima por cada espécimen a probar.

La velocidad de carga debe ser lenta para que no se fracture el espécimen por impacto.



**Imagen 41.-** *Espécimen a edad de prueba.*

3. Concluida la prueba se limpia el equipo.

### 3.9.4.- PRUEBA DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ESTÁNDAR (VRS)

#### **OBJETIVO**

Clasificar la calidad del material para su posible uso en infraestructura.

Se probarán los 2 moldes colados de suelo-cemento fluido a los días 3 y 28 respectivamente con la finalidad de obtener la resistencia a la penetración, esto se obtendrá multiplicando las lecturas por el factor (8.65) obtenido en la calibración de la prensa con capacidad de 5,000 kg.

#### **EQUIPO**

- Prensa hidráulica.
- Micrómetro.
- Vernier.

## PROCEDIMIENTO

3. Para el retiro de los moldes de la pila de saturación, se extrae la extensión, el papel filtro, la placa circular perforada y hacer que escurra el agua que está retenido, para el mejor manejo de la prueba.



*Imagen 42.- Retiro del molde de la pila de saturación.*

4. Se coloca el extensómetro que va a indicar las penetraciones estandarizadas que son: 1.27 mm, 2.54 mm, 3.81 mm, 5.08 mm, 7.62 mm, 10.16 mm y 12.70 mm.
5. Se colocan las placas de carga el pistón de penetración y el molde con suelo-cemento fluido en la parte central de la prensa.
6. Se aplica la carga sobre el espécimen y se registran las lecturas del micrómetro.

Concluida la carga se procede a retirar el espécimen; con el vernier se toman cuatro medidas diferentes a la altura borde superior del collarín.

## 4.- ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RESULTADOS

Las tablas y graficas que a continuación se presentan muestran características físicas del material así como los resultados obtenidos en laboratorio después de ser sometidos a cargas de compresión simple en condiciones saturadas y no saturadas. Como se mencionó anteriormente se realizó el valor relativo de soporte de cada proporcionamiento a la edad prueba correspondiente.

### 4.1.- TABLAS, GRAFICAS Y RESULTADOS DE LOS PROPORCIONAMIENTOS PARA ESPECÍMENES EN CONDICIONES SATURADAS Y NO SATURADAS CON 0% DE ADITIVO MAXE-h.

Los siguientes resultados de proporcionamientos, se obtuvieron durante el proceso de elaboración de la mezcla de suelo-cemento fluido con el 0 % de aditivo MAXE-h, para 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 30 % y 40 % de cemento.

#### 4.1.1.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0% MAXE-h, 5% DE CEMENTO Y DE SUELO.

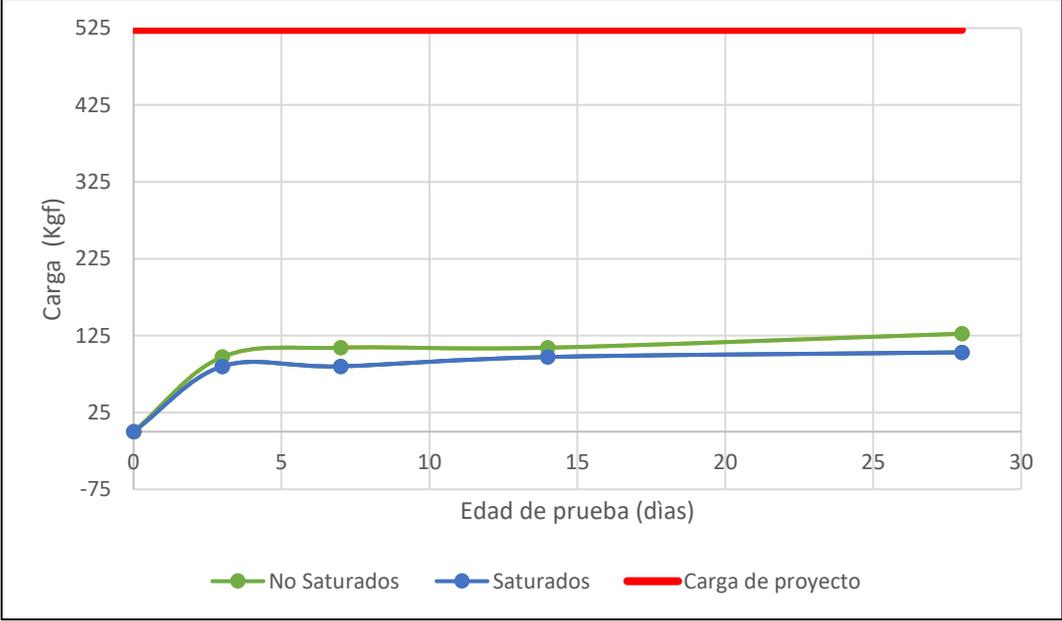
##### 4.1.1.1.- CILINDROS (PRUEBA PORTER)

**Tabla 15.-** Resultados de revenimiento, agua real, carga y resistencia para especímenes, con 5% cemento y 0% de aditivo MAXE-h.

Nº ESPECIMEN	PESO A EDAD DE PRUEBA	FECHA DE RUPTURA	EDAD (Días)	LECTURA	CALIBRACION	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA (%)
<b>Cilindros no Saturados</b>								
1	0.40	-	3	1.6	60.73	97.17	4.65	18.59
2	0.40	18/09/2019	3	0.0	60.73	0.00	0.00	0.00
3	0.40	22/09/2019	7	1.8	60.73	109.31	5.23	20.91
4	0.40	-	7	0.0	60.73	0.00	0.00	0.00
5	0.40	29/09/2019	14	1.8	60.73	109.31	5.23	20.91
6	0.41	29/09/2019	14	1.8	60.73	109.31	5.23	20.91
7	0.41	11/10/2019	28	2.0	60.73	121.46	5.81	23.23
8	0.40	11/10/2019	28	2.2	60.73	133.61	6.39	25.56
<b>Cilindros Saturados</b>								
9	0.41	18/09/2019	3	0.0	60.73	0.00	0.00	0.00
10	0.40	18/09/2019	3	1.4	60.73	85.02	4.07	16.26
11	0.39	22/09/2019	7	1.4	60.73	85.02	4.07	16.26
12	0.40	22/09/2019	7	0.0	60.73	0.00	0.00	0.00
13	0.39	29/09/2019	14	1.6	60.73	97.17	4.65	18.59
14	0.38	29/09/2019	14	1.6	60.73	97.17	4.65	18.59
15	0.36	11/10/2019	28	1.6	60.73	97.17	4.65	18.59
16	0.36	11/10/2019	28	1.8	60.73	109.31	5.23	20.91
<b>FECHA DE COLADO</b>			11/09/2019		<b>F'c</b>	25	kgf/cm <sup>2</sup>	
<b>REVENIMIENTO (cm)</b>			13		<b>Area</b>	20.91	cm <sup>2</sup>	
<b>TEMPERATURA (° C)</b>			19		<b>Carga del proyecto</b>	522.75	kg	
<b>AGUA REAL (lts)</b>			2.28					

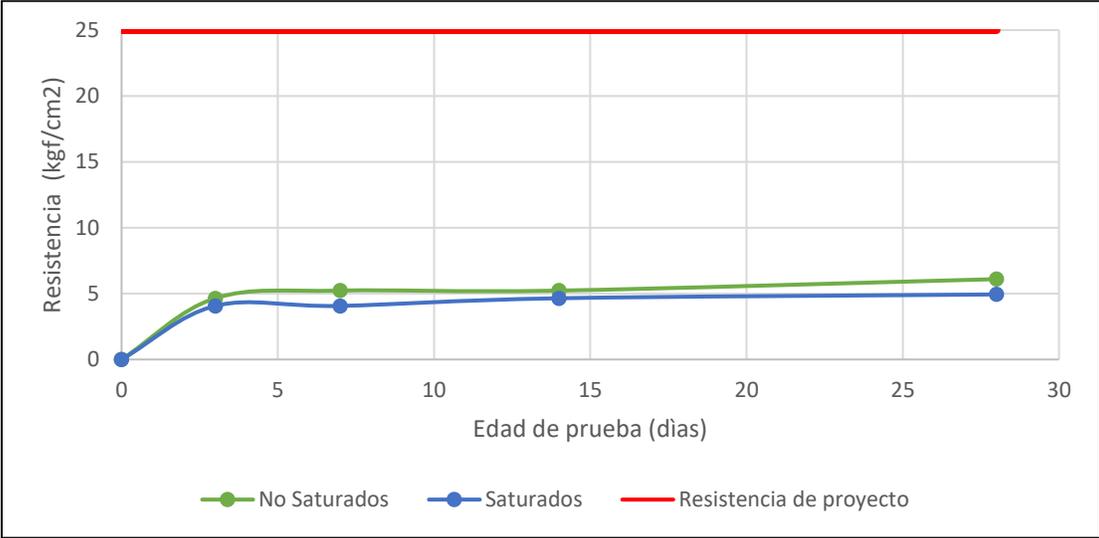
1\*: El cilindro 1 y 4 se fracturó al momento de descimbrar.

La siguiente gráfica muestra los resultados de Carga-Edad prueba de los especímenes saturados y no saturados; para una carga de proyecto= 522.75 KgF a los 28 días.



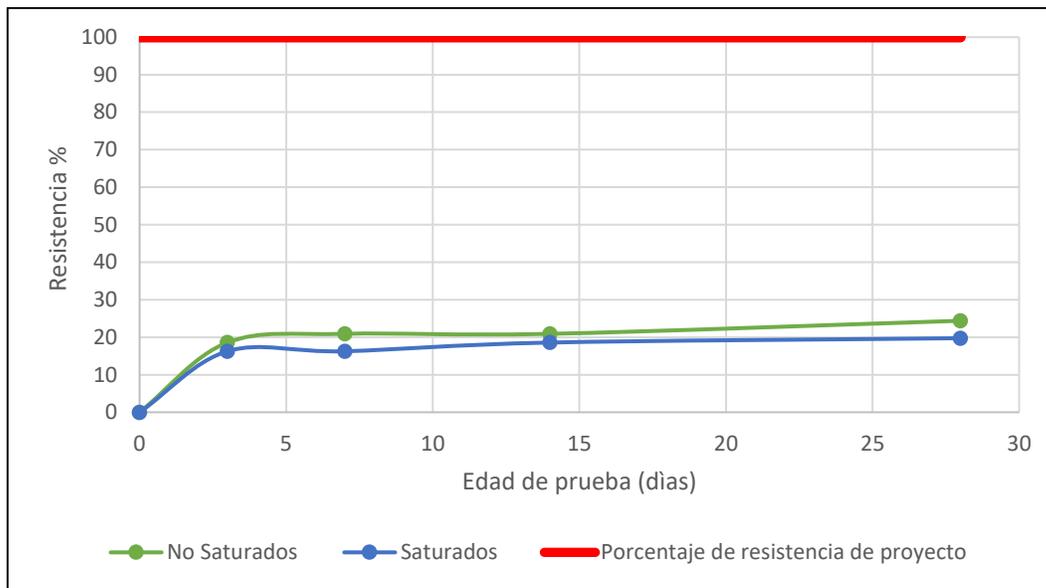
**IMAGEN 58.-** Carga-Edad de prueba en días, de especímenes saturados y no saturados con 5% cemento y 0% de aditivo MAXE-h.

La siguiente gráfica muestra los resultados de Resistencia -Edad prueba de los especímenes saturados y no saturados; para una resistencia de proyecto = 25 KgF/cm<sup>2</sup> a los 28 días.



**IMAGEN 59.-** Resistencia-Edad de prueba en días, de especímenes saturados y no saturados con 5% cemento y 0% de aditivo MAXE-h.

La gráfica siguiente muestra los resultados del porcentaje de resistencia del proyecto– edad prueba de los especímenes saturados y no saturados; el 100% de resistencia a los 28 días.



**Imagen 43.-** Porcentajes de resistencia de proyecto-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 5% cemento y 0% de aditivo MAXE-h.

**Tabla 16.- Pesos volumétricos de especímenes con 5% de cemento y 0% de aditivo MAXE-h.**

Muestra	Peso molde	Peso a edad de prueba	Peso vol. a edad de prueba
	(kg)	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )
1	0.80	0.28	1348.57
2	0.81	0.28	1321.43
3	0.80	0.28	1351.90
4	0.80	0.27	1308.57
5	0.80	0.28	1333.81
6	0.78	0.29	1368.10
7	0.80	0.28	1316.67
8	0.80	0.27	1287.62
9	0.81	0.34	1639.05
10	0.80	0.35	1674.76
11	0.79	0.35	1681.43
12	0.95	0.35	1662.86
13	0.79	0.35	1668.57
14	0.79	0.34	1637.14
15	0.78	0.34	1628.57
16	0.79	0.34	1640.48
Volumen molde (m <sup>3</sup> )		0.00021	

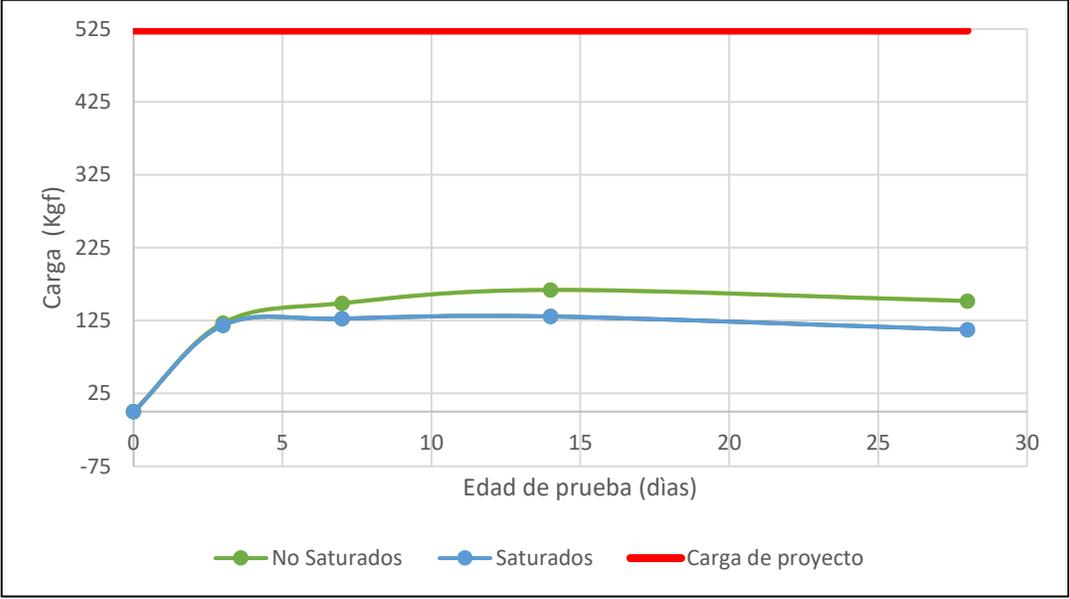
#### 4.1.2.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0% MAXE-h, 10% DE CEMENTO Y DE SUELO 11.69 Kg.

##### 4.1.2.1.- CILINDROS (PRUEBA PORTER)

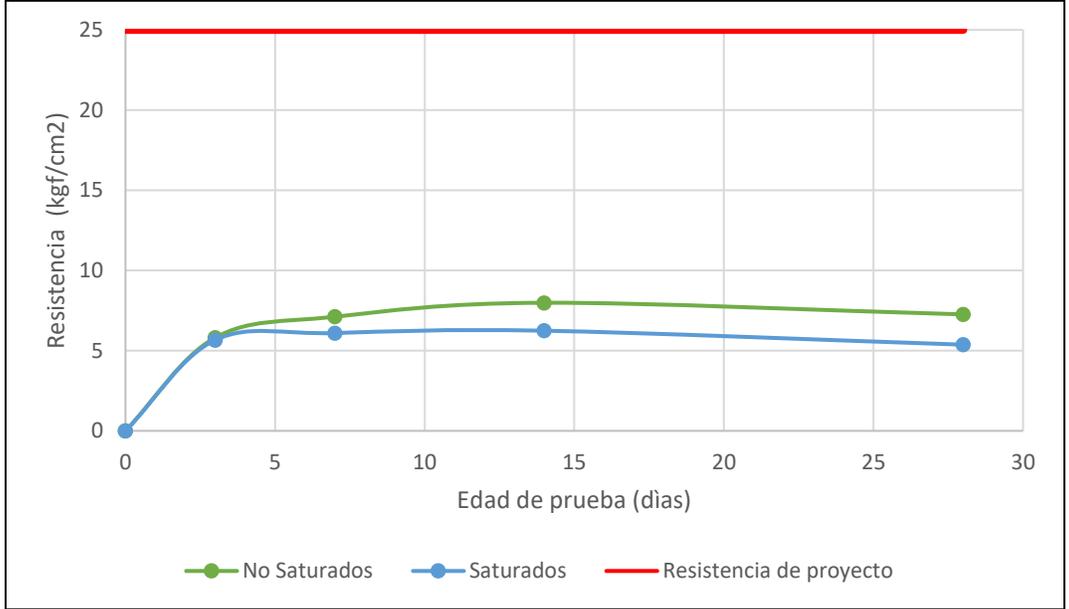
**Tabla 21.-** Resultados de revenimiento, agua real, carga y resistencia para especímenes, con 10% cemento y 0 de aditivo MAXE-h.

N° ESPECIMEN	PESO A EDAD DE PRUEBA	FECHA DE RUPTURA	EDAD (Dias)	LECTURA	CALIBRACION	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA (%)
<b>Cilindros no Saturados</b>								
1	0.40	22/09/2019	3	2.1	60.73	127.53	6.10	24.40
2	0.40	22/09/2019	3	1.9	60.73	115.39	5.52	22.07
3	0.40	26/09/2019	7	2.6	60.73	157.90	7.55	30.21
4	0.40	26/09/2019	7	2.3	60.73	139.68	6.68	26.72
5	0.40	03/10/2019	14	2.8	60.73	170.04	8.13	32.53
6	0.41	03/10/2019	14	2.7	60.73	163.97	7.84	31.37
7	0.41	17/10/2019	28	2.8	60.73	170.04	8.13	32.53
8	0.40	17/10/2019	28	2.2	60.73	133.61	6.39	25.56
<b>Cilindros Saturados</b>								
9	0.41	22/09/2019	3	2.0	60.73	121.46	5.81	23.23
10	0.40	22/09/2019	3	1.9	60.73	115.39	5.52	22.07
11	0.39	26/09/2019	7	2.0	60.73	121.46	5.81	23.23
12	0.40	26/09/2019	7	2.2	60.73	133.61	6.39	25.56
13	0.39	03/10/2019	14	2.1	60.73	127.53	6.10	24.40
14	0.38	03/10/2019	14	2.2	60.73	133.61	6.39	25.56
15	0.36	17/10/2019	28	1.9	60.73	115.39	5.52	22.07
16	0.36	17/10/2019	28	1.8	60.73	109.31	5.23	20.91
<b>FECHA DE COLADO</b>			17/09/2019		<b>F'c</b>	25	kgf/cm <sup>2</sup>	
<b>REVENIMIENTO (cm)</b>			9		<b>Area</b>	20.91	cm <sup>2</sup>	
<b>TEMPERATURA (° C)</b>			23		<b>Carga del proyecto</b>	522.75	kg	
<b>AGUA REAL (Its)</b>			2.18					

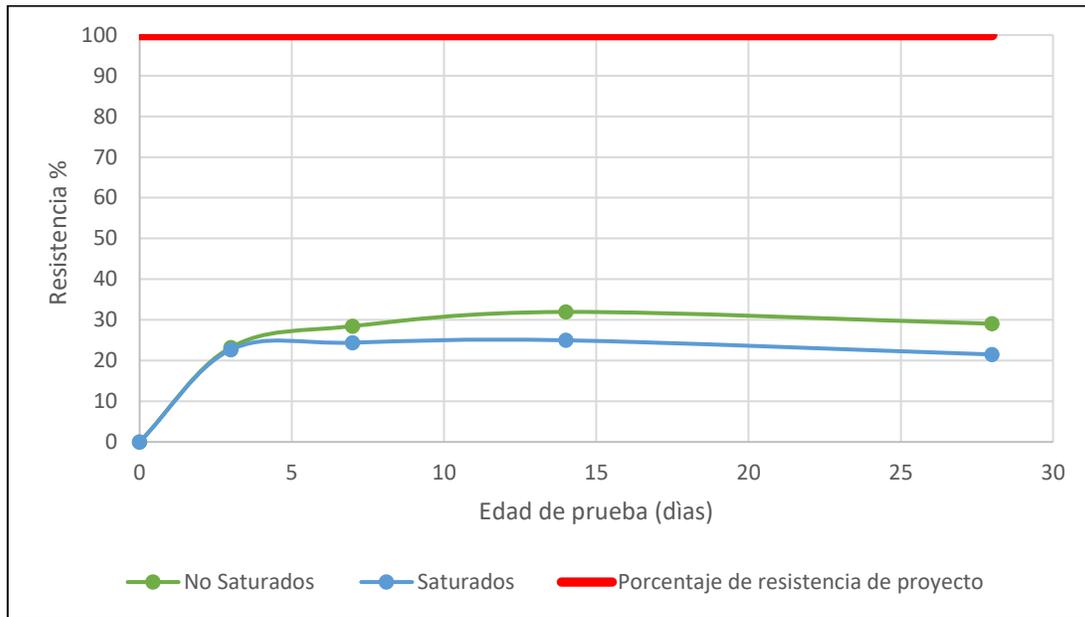
**Imagen 61.-** Carga-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 10% cemento y 0% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 62.-** Resistencia-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 10% cemento y 0% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 63.-** Resistencia-Edad de prueba en días, de especímenes saturados y no saturados con 10% cemento y 0% de aditivo MAXE-h.



**Tabla 17.-** Pesos volumétricos de especímenes con 10% de cemento y 0% de aditivo MAXE-h.

Muestra	Peso molde	Peso fresco	Peso volumetrico fresco	Peso a edad de prueba	Peso vol. a edad de prueba
	(kg)	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )
1	0.80	1.11	1471.43	0.29	1398.10
2	0.81	1.08	1290.48	0.29	1377.62
3	0.80	1.10	1442.86	0.30	1423.81
4	0.80	1.11	1480.95	0.29	1390.48
5	0.80	1.10	1419.05	0.29	1390.00
6	0.78	1.25	2219.05	0.28	1355.71
7	0.80	1.10	1426.67	0.29	1376.19
8	0.80	1.08	1338.10	0.28	1319.05
9	0.81	1.09	1328.57	0.33	1557.14
10	0.80	1.09	1385.71	0.33	1580.95
11	0.79	1.09	1433.33	0.33	1590.48
12	0.95	1.11	780.95	0.33	1585.71
13	0.79	1.09	1423.81	0.34	1604.76
14	0.79	1.09	1447.62	0.34	1604.76
15	0.78	1.09	1456.19	0.34	1595.24
16	0.79	1.077	1366.67	0.33	1585.71
Volumen molde (m <sup>3</sup> )				0.00021	

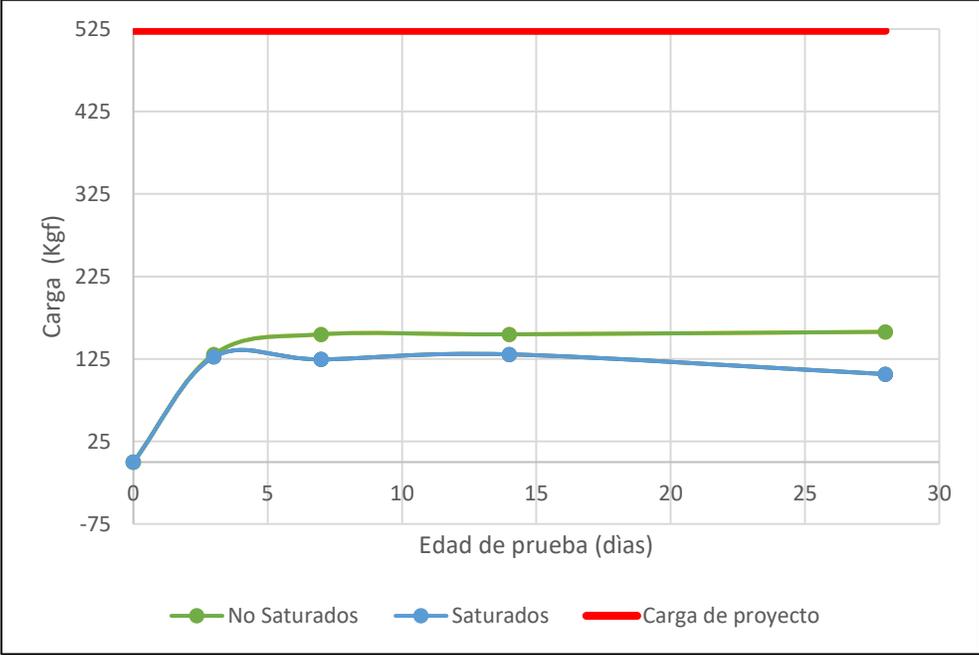
#### 4.1.3.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0% MAXE-h, 15% CEMENTO Y 11.69 Kg DE SUELO

##### 4.1.3.1.- CILINDROS (PRUEBA PORTER)

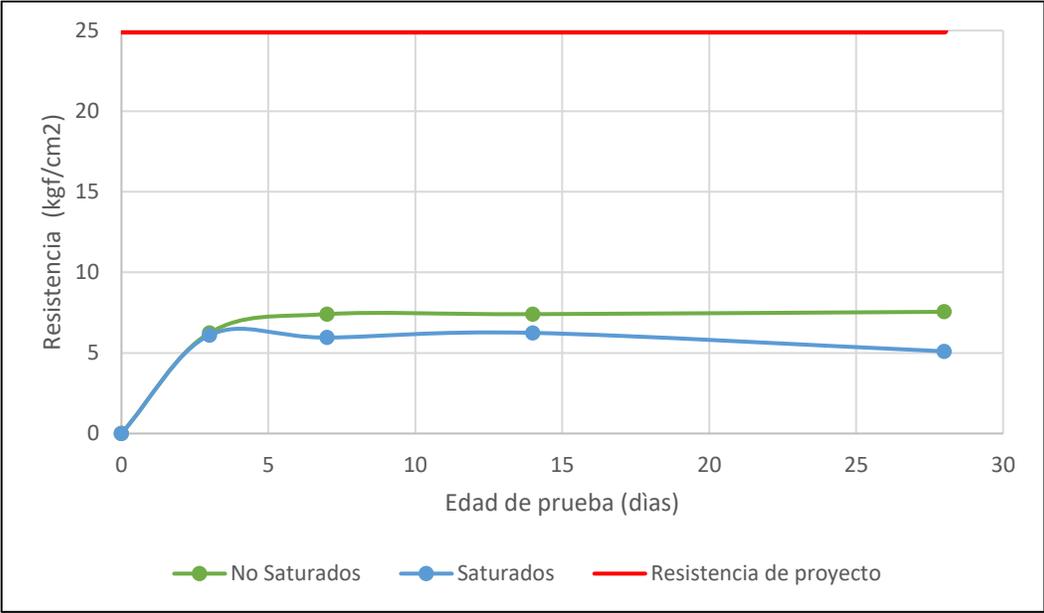
**Tabla 24.-**Resultados de revenimiento, agua real, carga y resistencia para especímenes, con 15% cemento y 0 de aditivo MAXE-h.

N° ESPECIMEN	PESO A EDAD DE PRUEBA	FECHA DE RUPTURA	EDAD (Dias)	LECTURA	CALIBRACION	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA (%)
<b>Cilindros no Saturados</b>								
1	0.40	27/09/2019	3	2.0	60.73	121.46	5.81	23.23
2	0.40	27/09/2019	3	2.3	60.73	139.68	6.68	26.72
3	0.40	02/10/2019	7	2.6	60.73	157.90	7.55	30.21
4	0.40	02/10/2019	7	2.5	60.73	151.83	7.26	29.04
5	0.40	09/10/2019	14	2.3	60.73	139.68	6.68	26.72
6	0.41	09/10/2019	14	2.8	60.73	170.04	8.13	32.53
7	0.41	23/10/2019	28	2.8	66.64	170.04	8.13	32.53
8	0.40	23/10/2019	28	2.4	66.64	145.75	6.97	27.88
<b>Cilindros Saturados</b>								
9	0.41	27/09/2019	3	2.2	60.73	133.61	6.39	25.56
10	0.40	27/09/2019	3	2.0	60.73	121.46	5.81	23.23
11	0.39	02/10/2019	7	1.9	60.73	115.39	5.52	22.07
12	0.40	02/10/2019	7	2.2	60.73	133.61	6.39	25.56
13	0.39	09/10/2019	14	2.1	60.73	127.53	6.10	24.40
14	0.38	09/10/2019	14	2.2	60.73	133.61	6.39	25.56
15	0.36	23/10/2019	28	1.6	66.64	106.62	5.10	20.40
16	0.36	23/10/2019	28	1.6	66.64	106.62	5.10	20.40
<b>FECHA DE COLADO</b>			23/09/2019		<b>F'c</b>	25	kgf/cm <sup>2</sup>	
<b>REVENIMIENTO (cm)</b>			10		<b>Area</b>	20.91	cm <sup>2</sup>	
<b>TEMPERATURA (° C)</b>			21		<b>Carga del proyecto</b>	522.75	kg	
<b>AGUA REAL (Its)</b>			2.18					

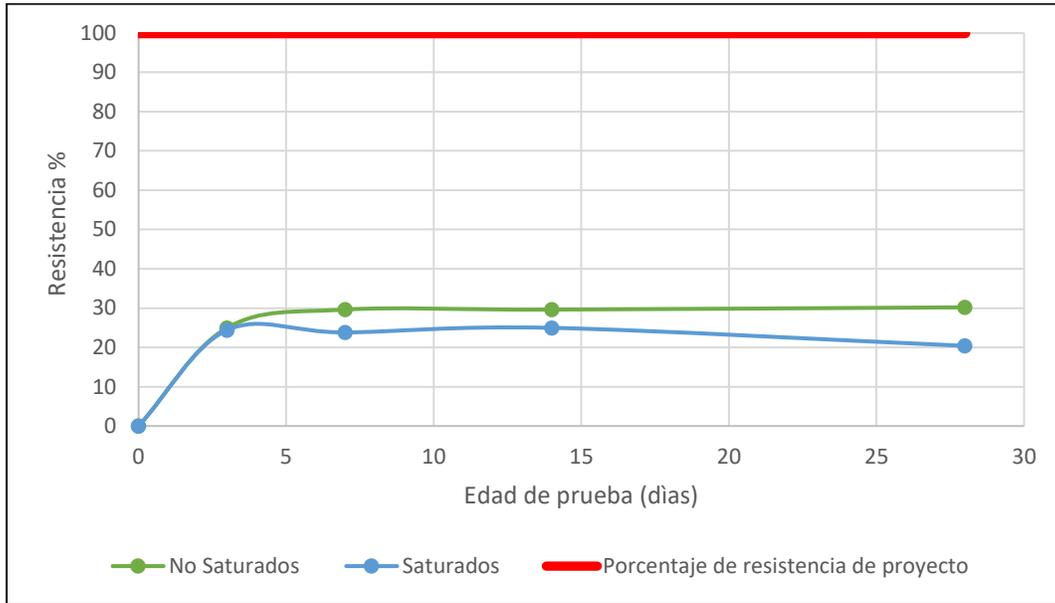
**Imagen 64.-** Carga-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 15% cemento y 0% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 65.-** Resistencia-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 15% cemento y 0% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 66.- Resistencia-Edad de prueba en días, de especímenes saturados y no saturados con 15% cemento y 0% de aditivo MAXE-h.**



**Tabla 25.- Pesos volumétricos de especímenes con 15% de cemento y 0% de aditivo MAXE-h.**

Muestra	Peso molde	Peso fresco	Peso volumetrico fresco	Peso a edad de prueba	Peso vol. a edad de prueba
	(kg)	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )
1	0.80	1.07	1271.43	0.27	1300.00
2	0.81	1.08	1295.24	0.28	1312.38
3	0.80	1.07	1328.57	0.28	1309.52
4	0.80	1.08	1309.52	0.26	1247.62
5	0.80	1.06	1237.14	0.26	1252.38
6	0.78	1.10	1536.19	0.28	1347.62
7	0.80	1.09	1403.81	0.27	1295.24
8	0.80	1.06	1219.05	0.26	1233.33
9	0.81	1.07	1257.14	0.32	1500.00
10	0.80	1.22	2000.00	0.31	1476.19
11	0.79	1.07	1314.29	0.31	1457.14
12	0.95	1.06	538.10	0.31	1466.67
13	0.79	1.07	1333.33	0.31	1480.95
14	0.79	1.07	1322.86	0.32	1504.76
15	0.78	1.07	1366.67	0.32	1514.29
16	0.79	1.07	1342.86	0.33	1547.62
Volumen molde (m <sup>3</sup> )				0.00021	

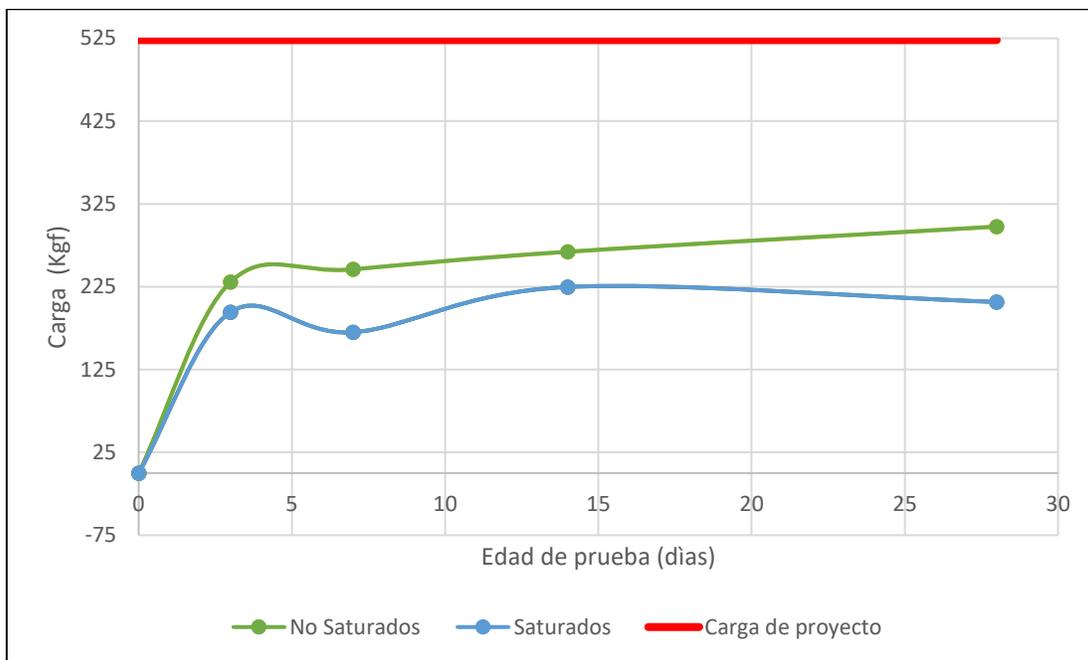
#### 4.1.4.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0% MAXE-h, 20% CEMENTO Y 11.68 Kg DE SUELO

##### 4.1.4.1.- CILINDROS (PRUEBA PORTER)

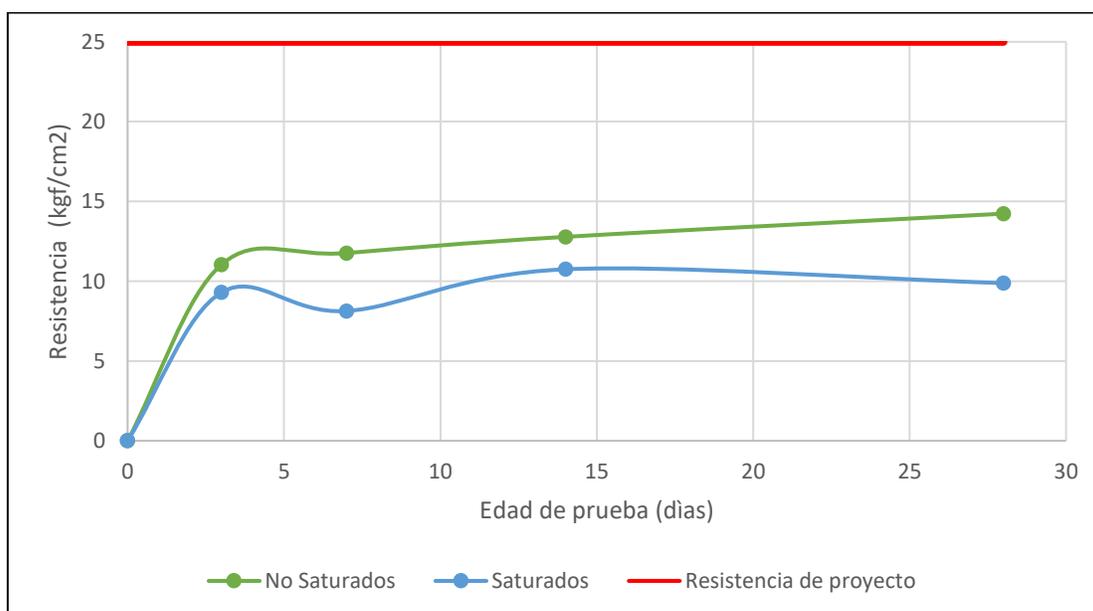
**Tabla 26.-**Resultados de revenimiento, agua real, carga y resistencia para especímenes, con 20% cemento y 0 de aditivo MAXE-h.

N° ESPECIMEN	PESO A EDAD DE PRUEBA	FECHA DE RUPTURA	EDAD (Días)	LECTURA	CALIBRACION	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA (%)
<b>Cilindros no Saturados</b>								
1	0.40	07/10/2019	3	4.2	60.73	255.07	12.20	48.79
2	0.40	07/10/2019	3	3.4	60.73	206.48	9.87	39.50
3	0.40	10/10/2019	7	3.8	60.73	230.77	11.04	44.15
4	0.40	10/10/2019	7	4.3	60.73	261.14	12.49	49.95
5	0.40	17/10/2019	14	3.8	60.73	230.77	11.04	44.15
6	0.41	17/10/2019	14	5.0	60.73	303.65	14.52	58.09
7	0.41	31/10/2019	28	4.8	66.64	291.50	13.94	55.76
8	0.40	31/10/2019	28	5.0	66.64	303.65	14.52	58.09
<b>Cilindros Saturados</b>								
9	0.41	07/10/2019	3	2.8	60.73	170.04	8.13	32.53
10	0.40	07/10/2019	3	3.6	60.73	218.63	10.46	41.82
11	0.39	10/10/2019	7	2.7	60.73	163.97	7.84	31.37
12	0.4	10/10/2019	7	2.9	60.73	176.12	8.42	33.69
13	0.39	17/10/2019	14	3.8	60.73	230.77	11.04	44.15
14	0.38	17/10/2019	14	3.6	60.73	218.63	10.46	41.82
15	0.36	31/10/2019	28	3.0	66.64	199.92	9.56	38.24
16	0.36	31/10/2019	28	3.2	66.64	213.25	10.20	40.79
<b>FECHA DE COLADO</b>			01/10/2019		<b>F'c</b>	25	kgf/cm2	
<b>REVENIMIENTO (cm)</b>			9		<b>Area</b>	20.91	cm2	
<b>TEMPERATURA (° C)</b>			24		<b>Carga del proyecto</b>	522.75	kg	
<b>AGUA REAL (lts)</b>			2.38					

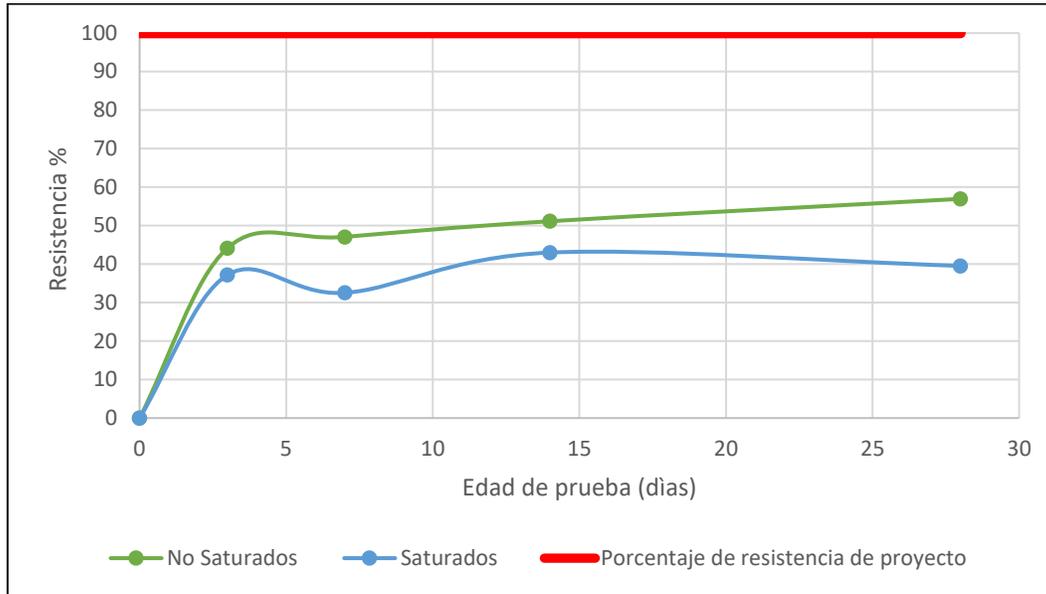
**Imagen 67.-** Carga-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 20% cemento y 0% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 68.-** Resistencia-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 20% cemento y 0% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 69.-** Porcentajes de resistencia de proyecto-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 20% cemento y 0% de aditivo MAXE-h.



**Tabla 27.-** Pesos volumétricos de especímenes con 20% de cemento y 0% de aditivo MAXE-h.

Muestra	Peso molde	Peso fresco	Peso volumetrico fresco	Peso a edad de prueba	Peso vol. a edad de prueba
	(kg)	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )
1	0.80	1.10	1428.57	0.30	1428.57
2	0.81	1.11	1414.29	0.31	1452.38
3	0.80	1.09	1423.81	0.31	1452.38
4	0.80	1.10	1428.57	0.30	1421.90
5	0.80	1.10	1433.33	0.29	1371.43
6	0.78	1.10	1519.05	0.30	1442.86
7	0.80	1.09	1385.71	0.30	1419.05
8	0.80	1.12	1528.57	0.31	1476.19
9	0.81	1.09	1352.38	0.33	1585.71
10	0.80	1.09	1380.95	0.35	1647.62
11	0.79	1.11	1514.29	0.35	1661.90
12	0.95	1.10	709.52	0.36	1693.33
13	0.79	1.25	2209.52	0.35	1642.86
14	0.79	1.09	1423.81	0.36	1690.48
15	0.78	1.09	1485.71	0.37	1752.38
16	0.79	1.13	1604.76	0.36	1736.67
Volumen molde (m <sup>3</sup> )				0.00021	

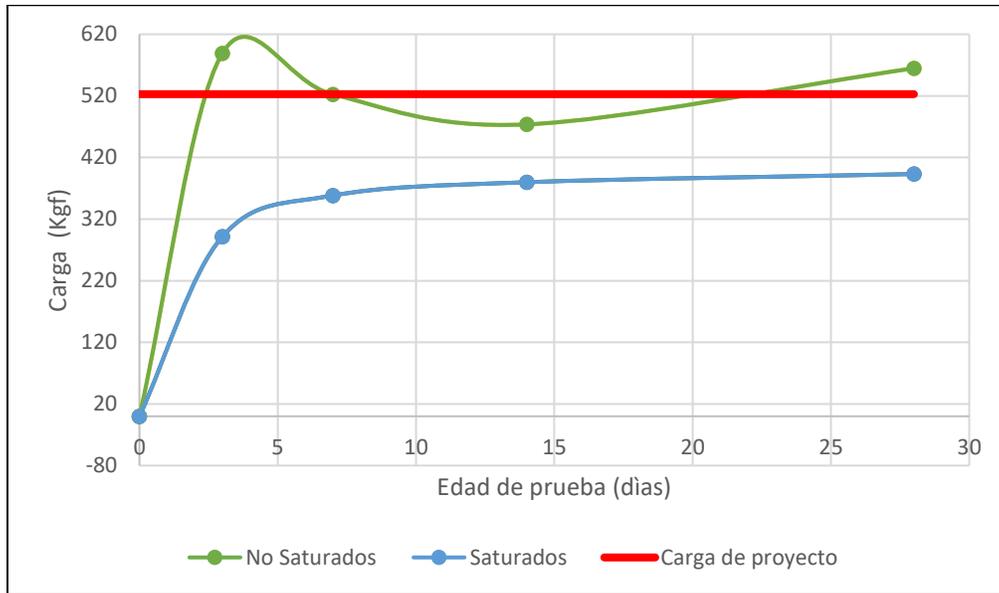
4.1.5.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0% MAXE-h, 30% CEMENTO Y 11.68 Kg DE SUELO.

4.1.5.1.- CILINDROS (PRUEBA PORTER)

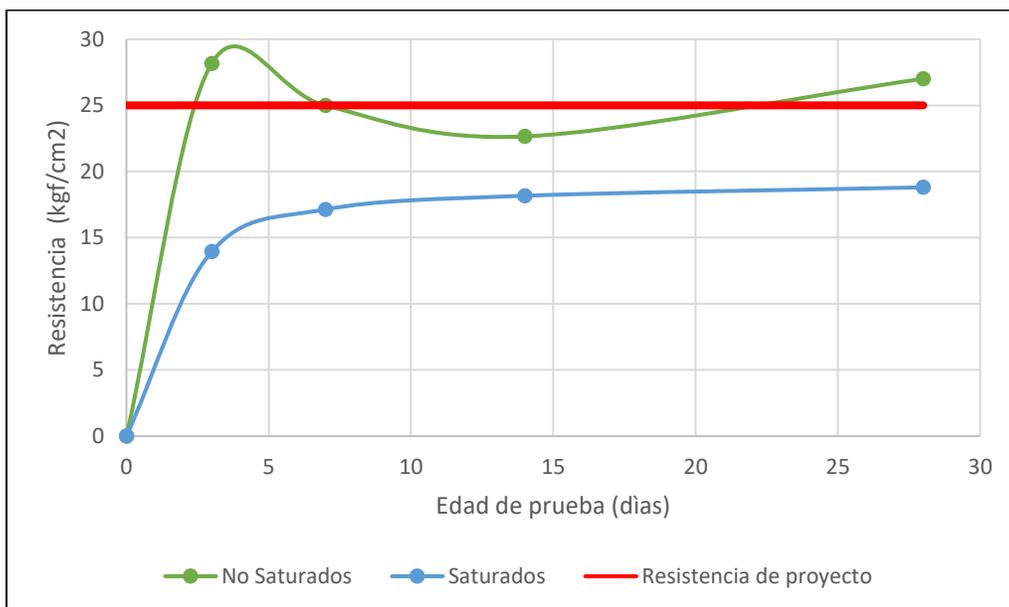
**Tabla 28.-**Resultados de revenimiento, agua real, carga y resistencia para especímenes, con 30% cemento y 0% de aditivo MAXE-h.

Nº ESPECIMEN	PESO A EDAD DE PRUEBA	FECHA DE RUPTURA	EDAD (Días)	LECTURA	CALIBRACION	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA (%)
<b>Cilindros no Saturados</b>								
1	0.40	07/10/2019	3	12.6	60.73	765.20	36.59	146.38
2	0.40	07/10/2019	3	6.8	60.73	412.96	19.75	79.00
3	0.40	10/10/2019	7	10.2	60.73	619.45	29.62	118.50
4	0.40	10/10/2019	7	7.0	60.73	425.11	20.33	81.32
5	0.40	17/10/2019	14	8.2	66.64	497.99	23.82	95.26
6	0.41	17/10/2019	14	7.4	66.64	449.40	21.49	85.97
7	0.41	31/10/2019	28	8.8	66.64	534.42	25.56	102.23
8	0.40	31/10/2019	28	9.8	66.64	595.15	28.46	113.85
<b>Cilindros Saturados</b>								
9	0.41	07/10/2019	3	5.0	60.73	303.65	14.52	58.09
10	0.40	07/10/2019	3	4.6	60.73	279.36	13.36	53.44
11	0.39	10/10/2019	7	5.6	60.73	340.09	16.26	65.06
12	0.40	10/10/2019	7	6.2	60.73	376.53	18.01	72.03
13	0.39	17/10/2019	14	4.8	66.64	319.87	15.30	61.19
14	0.38	17/10/2019	14	6.6	66.64	439.82	21.03	84.14
15	0.36	31/10/2019	28	5.8	66.64	386.51	18.48	73.94
16	0.36	31/10/2019	28	6.0	66.64	399.84	19.12	76.49
<b>FECHA DE COLADO</b>			07/10/2019		<b>F'c</b>	25	kgf/cm2	
<b>REVENIMIENTO (cm)</b>			11		<b>Area</b>	20.91	cm2	
<b>TEMPERATURA (° C)</b>			20		<b>Carga del proyecto</b>	522.75	kg	
<b>AGUA REAL (lts)</b>			2.38					

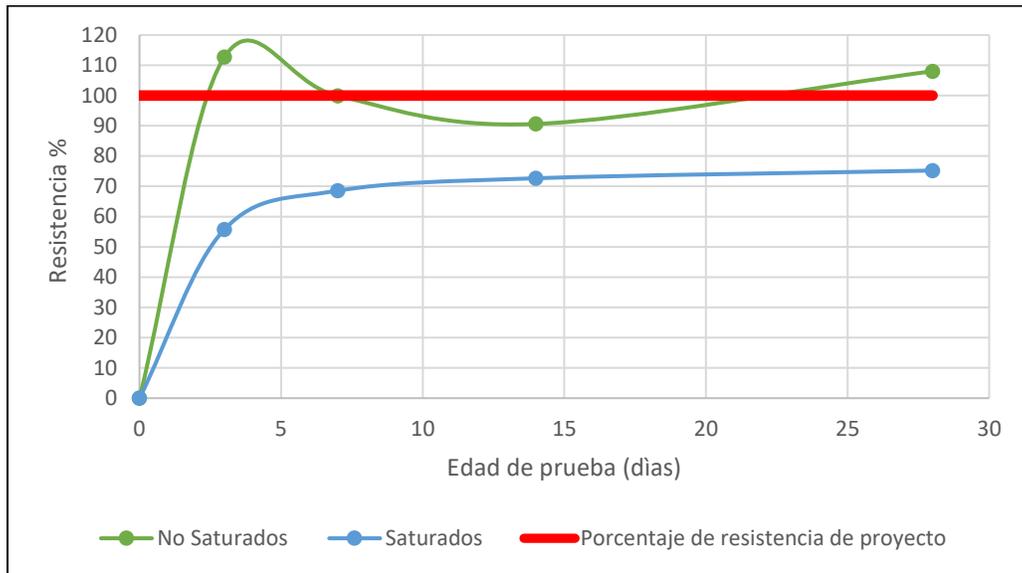
**Imagen 70.-** Carga-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 30% cemento y 0% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 71.-** Resistencia-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 30% cemento y 0% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 72.-** Porcentajes de resistencia de proyecto-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 30% cemento y 0% de aditivo MAXE-h.



**Tabla 29.-** Pesos volumétricos de especímenes con 30% de cemento y 0% de aditivo MAXE-h.

Muestra	Peso molde	Peso fresco	Peso volumetrico fresco	Peso a edad de prueba	Peso vol. a edad de prueba
	(kg)	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )
1	0.80	1.11	1484.76	0.32	1500.00
2	0.81	1.11	1423.81	0.31	1490.48
3	0.80	1.11	1480.95	0.31	1465.71
4	0.80	1.10	1423.81	0.30	1439.05
5	0.80	1.11	1495.24	0.31	1460.00
6	0.78	1.10	1538.10	0.29	1380.95
7	0.80	1.10	1404.76	0.30	1430.95
8	0.80	1.14	1604.76	0.32	1532.38
9	0.81	1.26	2138.10	0.34	1603.81
10	0.80	1.09	1395.24	0.33	1561.90
11	0.79	1.09	1404.76	0.33	1577.62
12	0.95	1.10	719.05	0.34	1595.71
13	0.79	1.09	1438.10	0.34	1601.90
14	0.79	1.09	1409.52	0.34	1620.95
15	0.78	1.09	1490.48	0.34	1638.10
16	0.79	1.12	1590.48	0.36	1718.10
Volumen molde (m <sup>3</sup> )				0.00021	

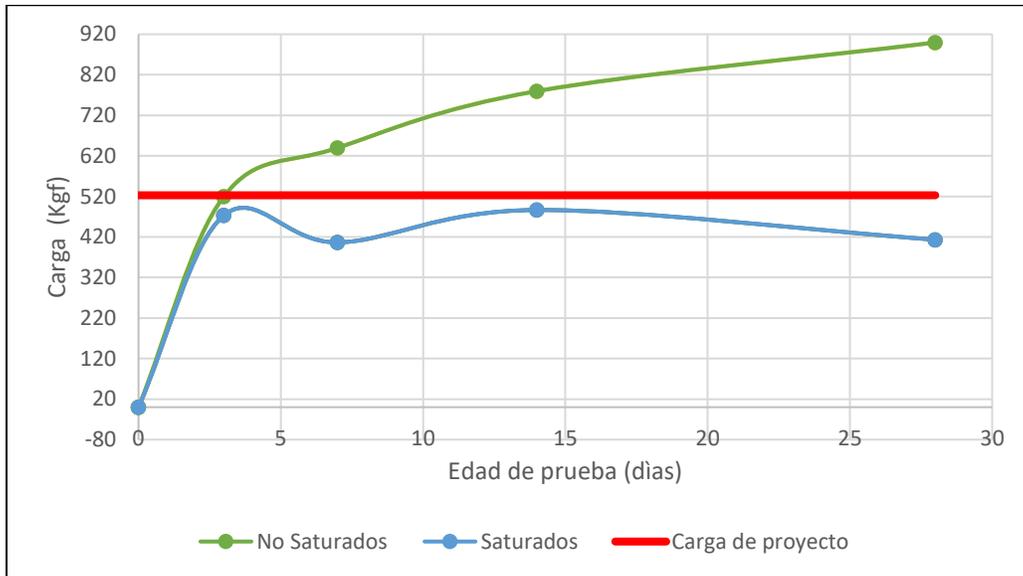
#### 4.1.6.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0%MAXEh, 40% CEMENTO Y 11.68 Kg DE SUELO.

##### 4.1.6.1.- CILINDROS (PRUEBA PORTER)

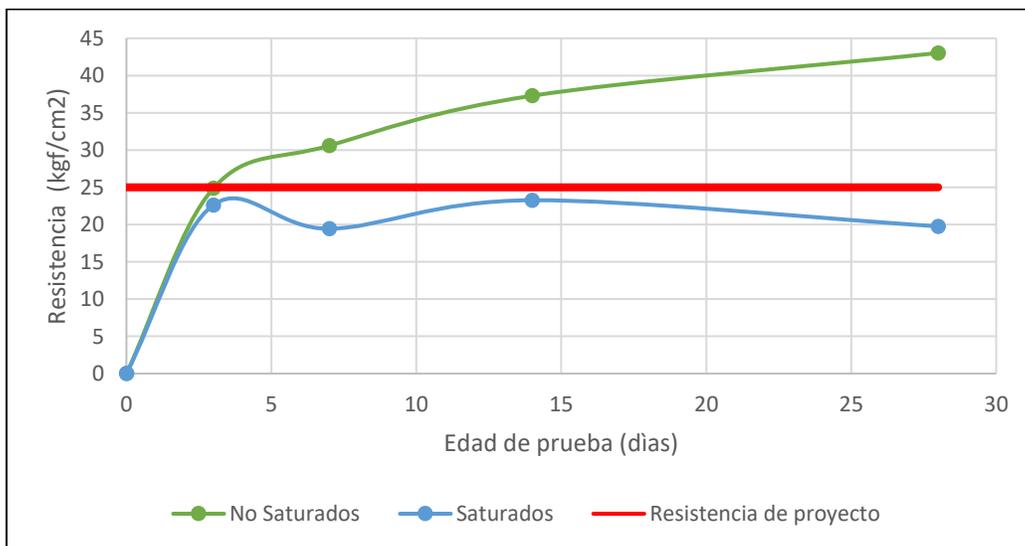
*Tabla 30.-Resultados de revenimiento, agua real, carga y resistencia para especímenes, con 40%cemento y 0 de aditivo MAXE-h.*

N° ESPECIMEN	PESO A EDAD DE PRUEBA	FECHA DE RUPTURA	EDAD (Días)	LECTURA	CALIBRACION	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA (%)
<b>Cilindros no Saturados</b>								
1	0.40	20/10/2019	3	7.4	66.64	493.14	23.58	94.33
2	0.40	20/10/2019	3	8.2	66.64	546.45	26.13	104.53
3	0.40	24/10/2019	7	9.8	66.64	653.07	31.23	124.93
4	0.40	24/10/2019	7	9.4	66.64	626.42	29.96	119.83
5	0.40	31/10/2019	14	11.8	66.64	786.35	37.61	150.43
6	0.41	31/10/2019	14	11.6	66.64	773.02	36.97	147.88
7	0.41	14/11/2019	28	13.0	66.64	866.32	41.43	165.72
8	0.40	14/11/2019	28	14.0	66.64	932.96	44.62	178.47
<b>Cilindros Saturados</b>								
9	0.41	20/10/2019	3	8.6	66.64	573.10	27.41	109.63
10	0.40	20/10/2019	3	5.6	66.64	373.18	17.85	71.39
11	0.39	24/10/2019	7	5.6	66.64	373.18	17.85	71.39
12	0.40	24/10/2019	7	6.6	66.64	439.82	21.03	84.14
13	0.39	31/10/2019	14	8.6	66.64	573.10	27.41	109.63
14	0.38	31/10/2019	14	6.0	66.64	399.84	19.12	76.49
15	0.36	14/11/2019	28	6.0	66.64	399.84	19.12	76.49
16	0.36	14/11/2019	28	6.4	66.64	426.50	20.40	81.59
<b>FECHA DE COLADO</b>			16/10/2019		<b>F'c</b>	25	kgf/cm2	
<b>REVENIMIENTO (cm)</b>			12		<b>Area</b>	20.91	cm2	
<b>TEMPERATURA (° C)</b>			19		<b>Carga del proyecto</b>	522.75	kg	
<b>AGUA REAL (Its)</b>			2.38					

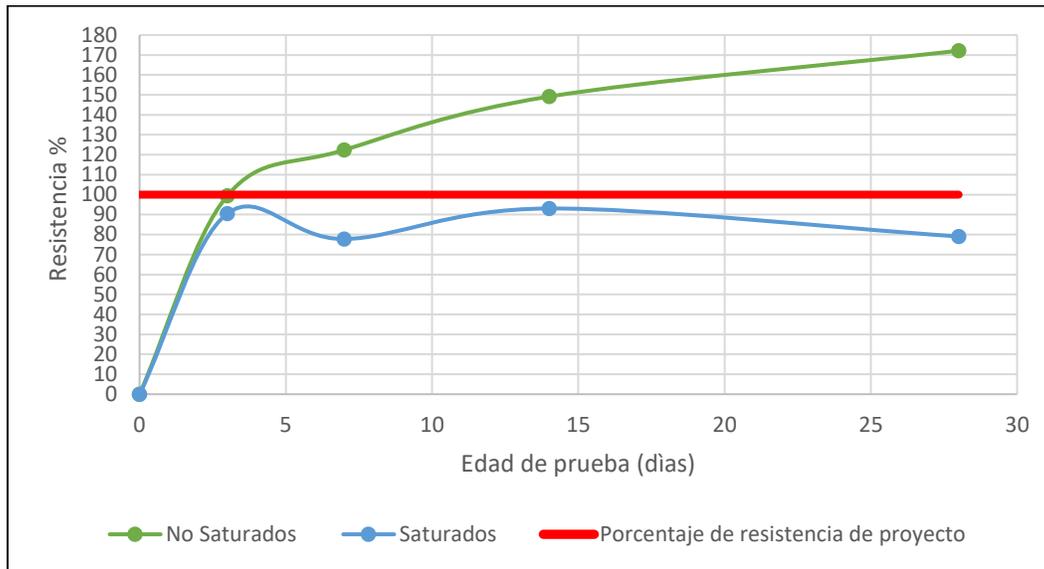
**Imagen 73.-** Carga-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 40% cemento y 0% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 74.-** Resistencia-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 40% cemento y 0% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 75.-** Porcentajes de resistencia de proyecto-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 40% cemento y 0% de aditivo MAXE-h.



**Tabla 31.-** Pesos volumétricos de especímenes con 40% de cemento y 0% de aditivo MAXE-h.

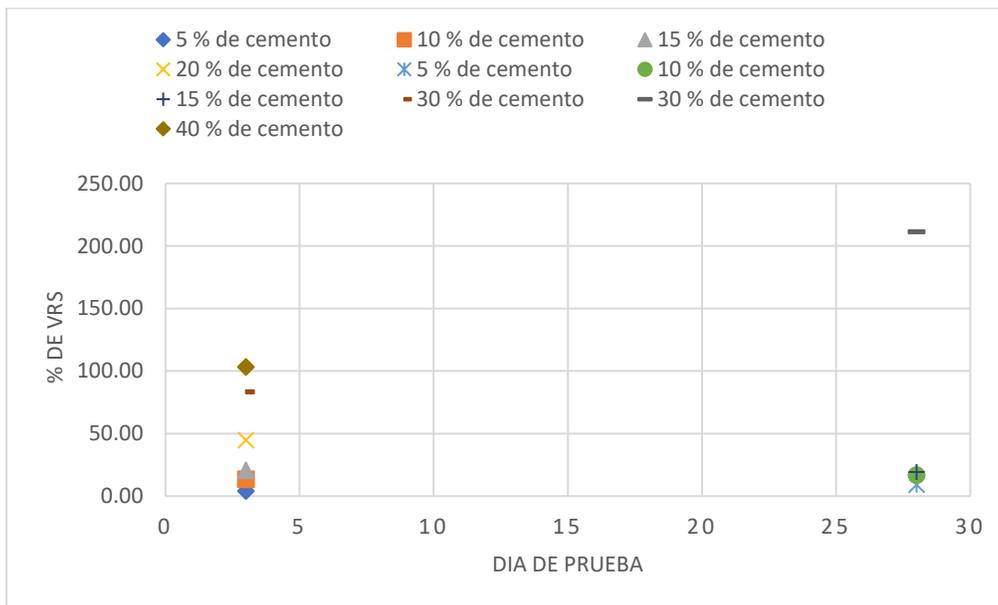
Muestra	Peso molde	Peso fresco	Peso volumetrico fresco	Peso a edad de prueba	Peso vol. a edad de prueba
	(kg)	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )
1	0.80	1.14	1609.52	0.33	1551.43
2	0.81	1.11	1447.62	0.32	1516.19
3	0.80	1.12	1537.14	0.32	1531.90
4	0.80	1.11	1464.76	0.32	1503.81
5	0.80	1.11	1457.14	0.32	1504.76
6	0.78	1.11	1561.90	0.32	1517.14
7	0.80	1.10	1447.62	0.33	1561.90
8	0.80	1.12	1528.57	0.32	1530.00
9	0.81	1.12	1452.38	0.36	1736.67
10	0.80	1.12	1542.86	0.36	1702.38
11	0.79	1.11	1504.76	0.36	1732.38
12	0.95	1.11	752.38	0.36	1727.62
13	0.79	1.11	1504.76	0.37	1757.14
14	0.79	1.17	1819.05	0.36	1728.57
15	0.78	1.27	2328.57	0.37	1771.43
16	0.79	1.13	1599.05	0.38	1814.29
Volumen molde (m <sup>3</sup> )				0.00021	

#### 4.1.6.2.- MOLDES (PRUEBA DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE, VRS)

**Tabla 31.-** Resultados de la prueba del valor relativo de soporte, 5%, 10%, 20%, 30% y 40% cemento y 0% aditivo MAXE-h.

% cemento	Dia	VRS %
5%	3	3.82
	28	8.90
10%	3	13.36
	28	16.54
15%	3	20.35
	28	19.08
20%	3	44.52
	28	70.60
30%	3	83.32
	28	211.16
40%	3	103.04
	28	121.48

**Imagen 76.-** Grafica de porcentajes del VRS.



Se pudieron probar moldes hasta 30 % de cemento para el día 28, y hasta 40 % de cemento para el día 3 y 28.

El porcentaje óptimo de cemento para un valor de VRS de 100% está entre 30% y 40 % respectivamente, recalando que fueron probados al día 28, 3 y 28.

#### 4.2.- TABLAS, GRÁFICAS Y RESULTADOS DE LOS PROPORCIONAMIENTOS PARA ESPECIMENES EN CONDICIONES SATURADAS Y NO SATURADAS CON 0.5% DE ADITIVO MAXE-h.

##### 4.2.1.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0.5% MAXEh, 5% CEMENTO Y 11.68 Kg DE SUELO.

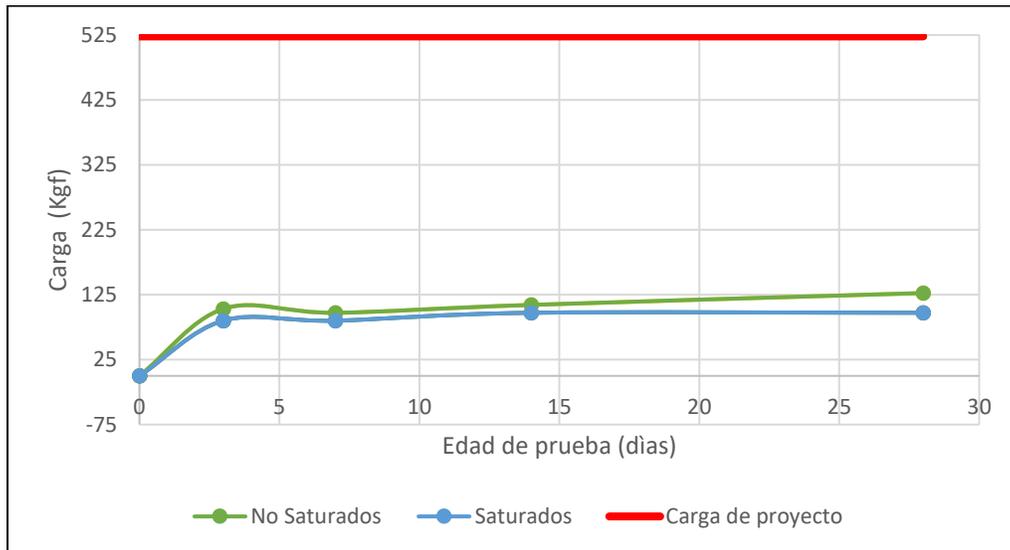
Los siguientes resultados de proporcionamientos, se obtuvieron durante el proceso de elaboración de la mezcla de suelo-cemento fluido con el 0.5 % de aditivo MAXEh, para 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 30 % y 40 % de cemento.

#### 4.2.1.1.- CILINDROS (PRUEBA PORTER)

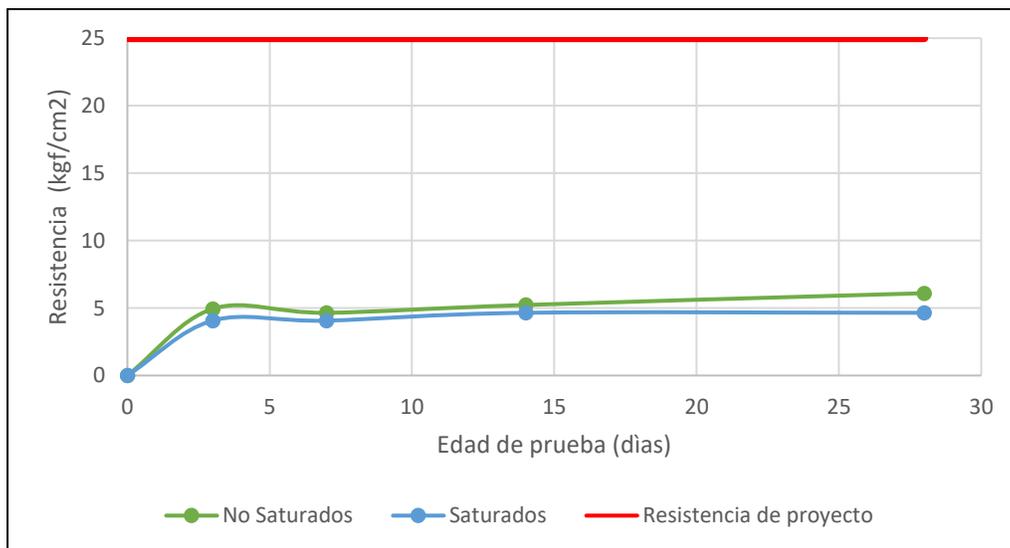
**Tabla 32.-** Resultados de revenimiento, agua real, carga y resistencia para especímenes, con 5% cemento y 0.5 de aditivo MAXE-h.

Nº ESPECIMEN	PESO A EDAD DE PRUEBA	FECHA DE RUPTURA	EDAD (Días)	LECTURA	CALIBRACION	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA (%)
<b>Cilindros no Saturados</b>								
1	0.40	20/09/2019	3	1.7	60.73	103.24	4.94	19.75
2	0.40	20/09/2019	3	1.6	60.73	97.17	4.65	18.59
3	0.40	24/09/2019	7	1.6	60.73	97.17	4.65	18.59
4	0.40	24/09/2019	7	1.7	60.73	103.24	4.94	19.75
5	0.40	01/10/2019	14	1.8	60.73	109.31	5.23	20.91
6	0.41	01/10/2019	14	1.8	60.73	109.31	5.23	20.91
7	0.41	15/10/2019	28	2.0	60.73	121.46	5.81	23.23
8	0.40	15/10/2019	28	2.2	60.73	133.61	6.39	25.56
<b>Cilindros Saturados</b>								
9	0.41	20/09/2019	3	1.6	60.73	97.17	4.65	18.59
10	0.40	20/09/2019	3	1.4	60.73	85.02	4.07	16.26
11	0.39	24/09/2019	7	1.4	60.73	85.02	4.07	16.26
12	0.40	24/09/2019	7	1.6	60.73	97.17	4.65	18.59
13	0.39	01/10/2019	14	1.6	60.73	97.17	4.65	18.59
14	0.38	01/10/2019	14	1.6	60.73	97.17	4.65	18.59
15	0.36	15/10/2019	28	1.6	60.73	97.17	4.65	18.59
16	0.36	15/10/2019	28	1.6	60.73	97.17	4.65	18.59
<b>FECHA DE COLADO</b>			13/09/2019		<b>F'c</b>	25	kgf/cm2	
<b>REVENIMIENTO (cm)</b>			10		<b>Area</b>	20.91	cm2	
<b>TEMPERATURA (° C)</b>			23		<b>Carga del proyecto</b>	522.75	kg	
<b>AGUA REAL (lts)</b>			2.38					

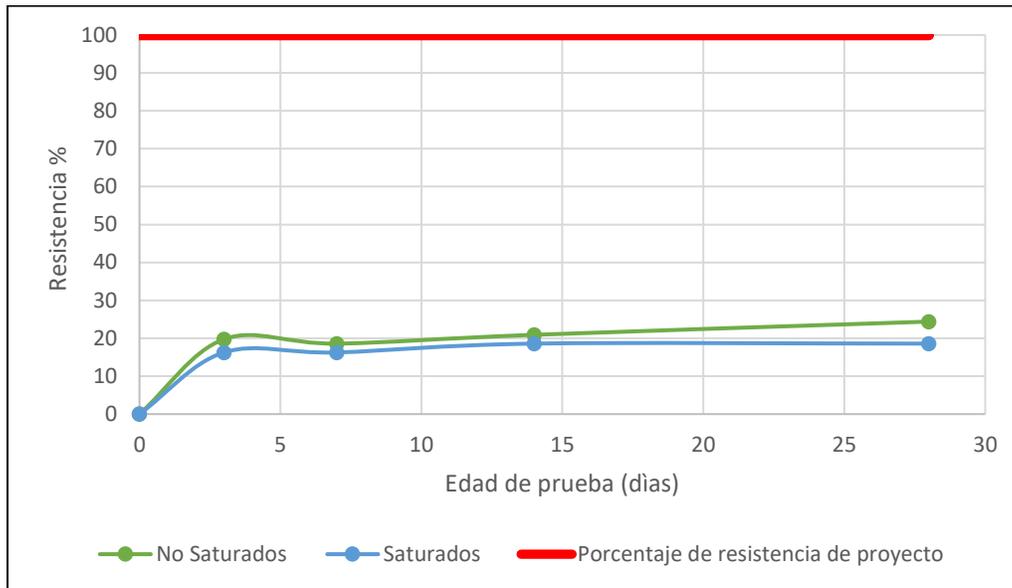
**Imagen 77.-** Carga-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 5% cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 78.-** Resistencia-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 5% cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 79.-** Porcentajes de resistencia de proyecto-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 5% cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.



**Tabla 33.-** Pesos volumétricos de especímenes con 5% de cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.

Muestra	Peso molde	Peso fresco	Peso volumetrico fresco	Peso a edad de prueba	Peso vol. a edad de prueba
	(kg)	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )
1	0.80	1.10	1426.67	0.29	1397.14
2	0.81	1.10	1371.43	0.30	1410.00
3	0.80	1.08	1376.19	0.29	1383.81
4	0.80	1.09	1398.10	0.30	1422.38
5	0.80	1.10	1419.05	0.29	1400.00
6	0.78	1.11	1547.62	0.30	1420.95
7	0.80	1.10	1432.38	0.28	1349.52
8	0.80	1.08	1350.48	0.28	1344.76
9	0.81	1.09	1312.86	0.34	1595.24
10	0.80	1.08	1337.14	0.34	1606.67
11	0.79	1.09	1430.95	0.34	1617.62
12	0.95	1.11	774.29	0.34	1630.95
13	0.79	1.24	2138.10	0.32	1535.71
14	0.79	1.08	1395.24	0.33	1550.48
15	0.78	1.09	1469.52	0.34	1612.38
16	0.79	1.08	1401.43	0.34	1627.14
Volumen molde (m <sup>3</sup> )				0.00021	

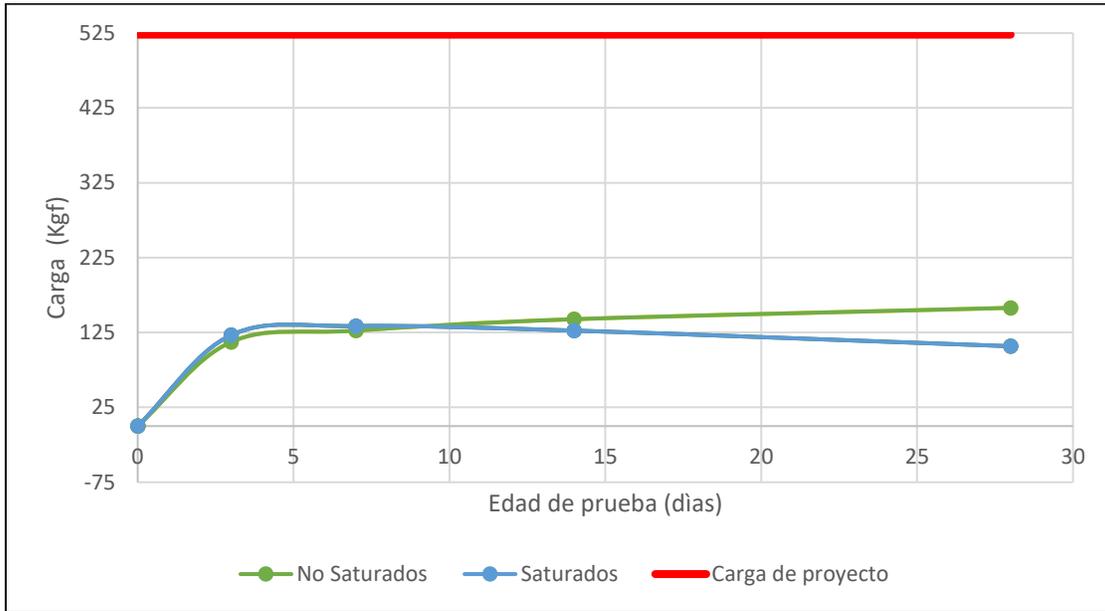
#### 4.2.2.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0.5% MAXEh, 10% CEMENTO Y 11.68 Kg DE SUELO.

##### 4.2.2.1.- CILINDROS (PRUEBA PORTER)

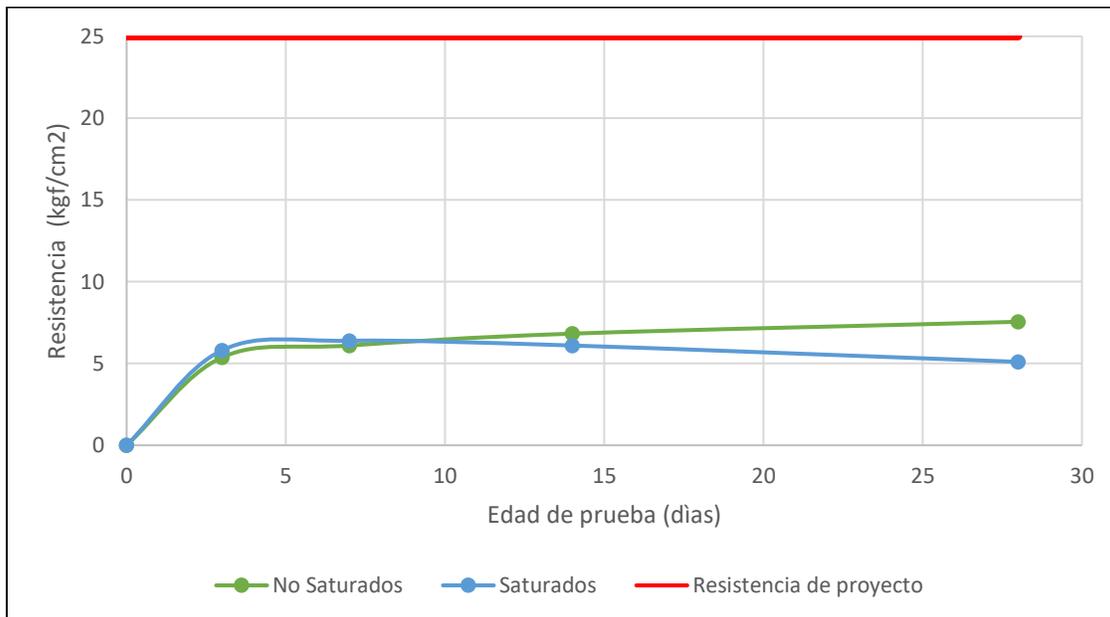
**Tabla 34.-** Resultados de revenimiento, agua real, carga y resistencia para especímenes, con 10% cemento y 0.5 de aditivo MAXE-h.

N° ESPECIMEN	PESO A EDAD DE PRUEBA	FECHA DE RUPTURA	EDAD (Días)	LECTURA	CALIBRACION	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA (%)
<b>Cilindros no Saturados</b>								
1	0.40	23/09/2019	3	1.8	60.73	109.31	5.23	20.91
2	0.40	23/09/2019	3	1.9	60.73	115.39	5.52	22.07
3	0.40	27/09/2019	7	2.2	60.73	133.61	6.39	25.56
4	0.40	27/09/2019	7	2.0	60.73	121.46	5.81	23.23
5	0.40	04/10/2019	14	2.3	60.73	139.68	6.68	26.72
6	0.41	04/10/2019	14	2.4	60.73	145.75	6.97	27.88
7	0.41	18/10/2019	28	2.6	66.64	157.90	7.55	30.21
8	0.40	18/10/2019	28	2.6	66.64	157.90	7.55	30.21
<b>Cilindros Saturados</b>								
9	0.41	23/09/2019	3	1.8	60.73	109.31	5.23	20.91
10	0.40	23/09/2019	3	2.2	60.73	133.61	6.39	25.56
11	0.39	27/09/2019	7	2.2	60.73	133.61	6.39	25.56
12	0.40	27/09/2019	7	2.2	60.73	133.61	6.39	25.56
13	0.39	04/10/2019	14	2.2	60.73	133.61	6.39	25.56
14	0.38	04/10/2019	14	2.0	60.73	121.46	5.81	23.23
15	0.36	18/10/2019	28	1.6	66.64	106.62	5.10	20.40
16	0.36	18/10/2019	28	1.6	66.64	106.62	5.10	20.40
<b>FECHA DE COLADO</b>			17/09/2019		<b>F'c</b>	25	kgf/cm <sup>2</sup>	
<b>REVENIMIENTO (cm)</b>			8		<b>Area</b>	20.91	cm <sup>2</sup>	
<b>TEMPERATURA (° C)</b>			22		<b>Carga del proyecto</b>	522.75	kg	
<b>AGUA REAL (lts)</b>			2.28					

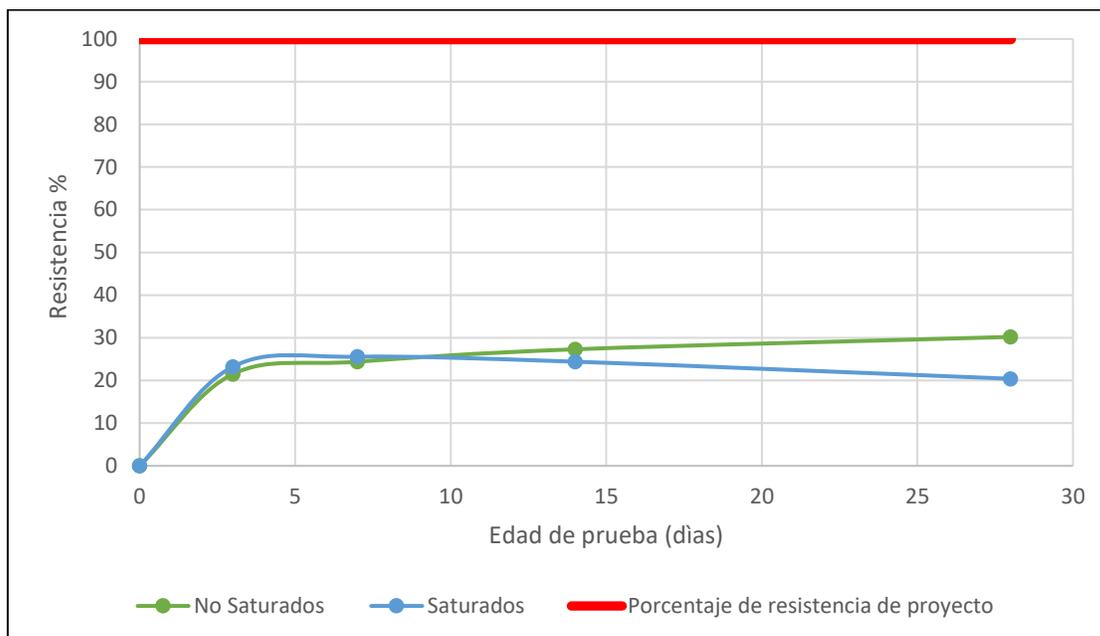
**Imagen 80.-** Carga-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 10% cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 81.-** Resistencia-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 10% cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 82.-** Porcentajes de resistencia de proyecto-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 10% cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.



**Tabla 35.-** Pesos volumétricos de especímenes con 10% de cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.

Muestra	Peso molde	Peso fresco	Peso volumetrico fresco	Peso a edad de prueba	Peso vol. a edad de prueba
	(kg)	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )
1	0.80	1.09	1385.71	0.29	1400.00
2	0.81	1.11	1442.86	0.30	1423.81
3	0.80	1.07	1328.57	0.29	1360.00
4	0.80	1.09	1395.24	0.28	1347.62
5	0.80	1.09	1361.90	0.29	1384.76
6	0.78	1.08	1438.10	0.28	1327.62
7	0.80	1.12	1516.67	0.30	1419.05
8	0.80	1.09	1366.67	0.29	1366.19
9	0.81	1.16	1680.95	0.33	1556.19
10	0.80	1.09	1376.19	0.33	1566.19
11	0.79	1.08	1400.00	0.32	1519.05
12	0.95	1.09	657.14	0.33	1587.14
13	0.79	1.19	1914.29	0.33	1589.05
14	0.79	1.11	1528.57	0.32	1514.29
15	0.78	1.24	2185.71	0.34	1604.76
16	0.79	1.09	1423.81	0.34	1614.29
Volumen molde (m <sup>3</sup> )				0.00021	

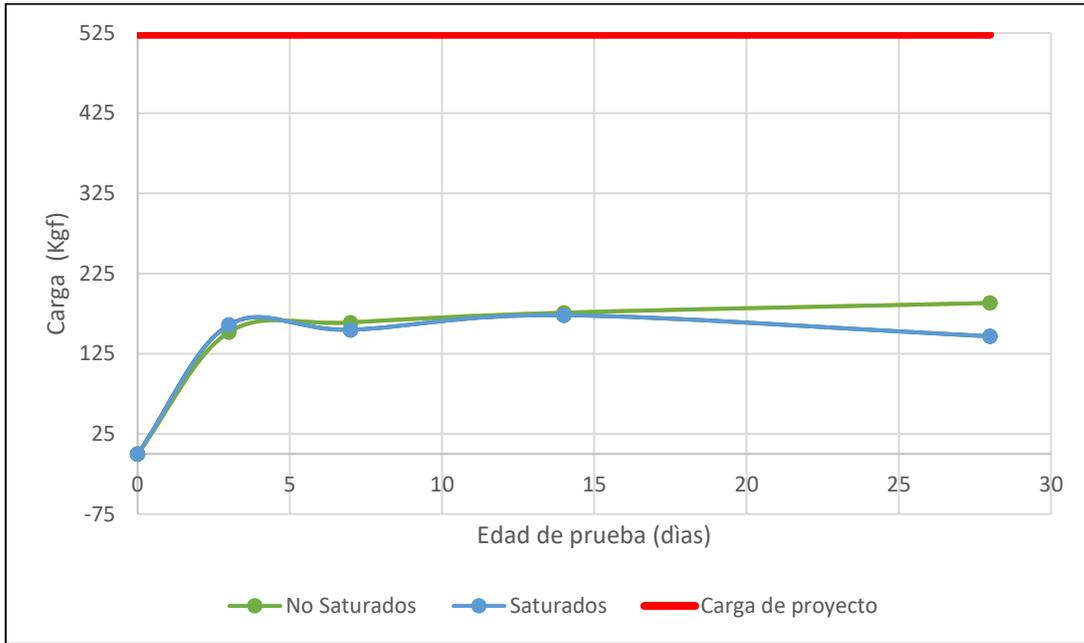
#### 4.2.3.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0.5%MAXEh, 15% CEMENTO Y 11.68 Kg DE SUELO.

##### 4.2.3.1.- CILINDROS (PRUEBA PORTER)

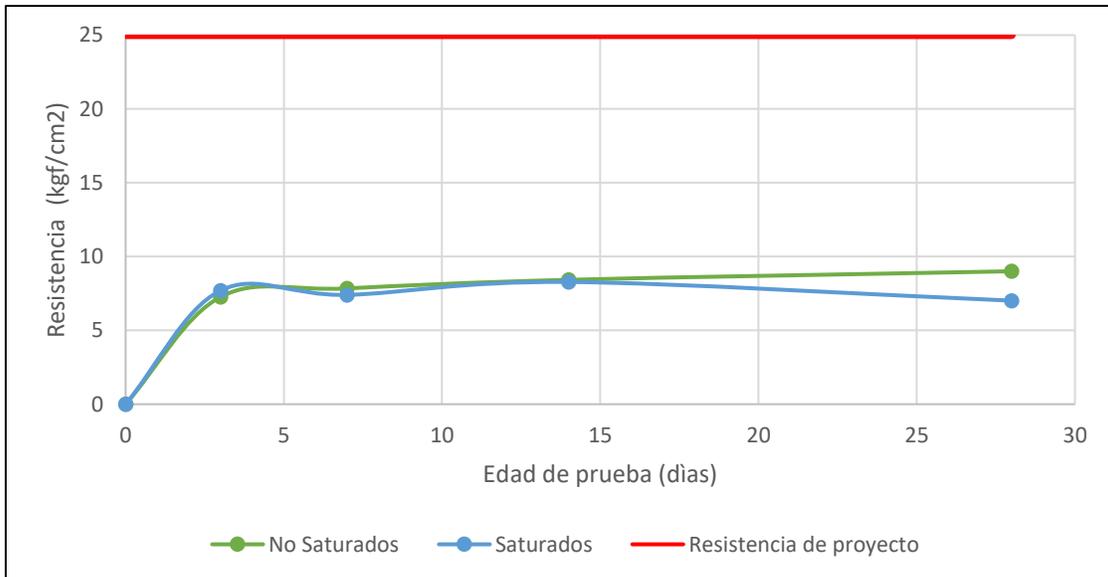
**Tabla 36.-** Resultados de revenimiento, agua real, carga y resistencia para especímenes, con 15% cemento y 0.5 de aditivo MAXE-h.

N° ESPECIMEN	PESO A EDAD DE PRUEBA	FECHA DE RUPTURA	EDAD (Dias)	LECTURA	CALIBRACION	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA (%)
<b>Cilindros no Saturados</b>								
1	0.40	01/10/2019	3	2.6	60.73	157.90	7.55	30.21
2	0.40	01/10/2019	3	2.4	60.73	145.75	6.97	27.88
3	0.40	04/10/2019	7	2.8	60.73	170.04	8.13	32.53
4	0.40	04/10/2019	7	2.6	60.73	157.90	7.55	30.21
5	0.40	11/10/2019	14	3.0	60.73	182.19	8.71	34.85
6	0.41	11/10/2019	14	2.8	60.73	170.04	8.13	32.53
7	0.41	25/10/2019	28	3.0	66.64	182.19	8.71	34.85
8	0.40	25/10/2019	28	3.2	66.64	194.34	9.29	37.18
<b>Cilindros Saturados</b>								
9	0.41	01/10/2019	3	2.6	60.73	157.90	7.55	30.21
10	0.40	01/10/2019	3	2.7	60.73	163.97	7.84	31.37
11	0.39	04/10/2019	7	2.5	60.73	151.83	7.26	29.04
12	0.40	04/10/2019	7	2.6	60.73	157.90	7.55	30.21
13	0.39	11/10/2019	14	2.9	60.73	176.12	8.42	33.69
14	0.38	11/10/2019	14	2.8	60.73	170.04	8.13	32.53
15	0.36	25/10/2019	28	2.4	66.64	159.94	7.65	30.60
16	0.36	25/10/2019	28	2.0	66.64	133.28	6.37	25.50
<b>FECHA DE COLADO</b>			25/09/2019		<b>F'c</b>	25	kgf/cm2	
<b>REVENIMIENTO (cm)</b>			11		<b>Area</b>	20.91	cm2	
<b>TEMPERATURA (° C)</b>			21		<b>Carga del proyecto</b>	522.75	kg	
<b>AGUA REAL (lts)</b>			2.18					

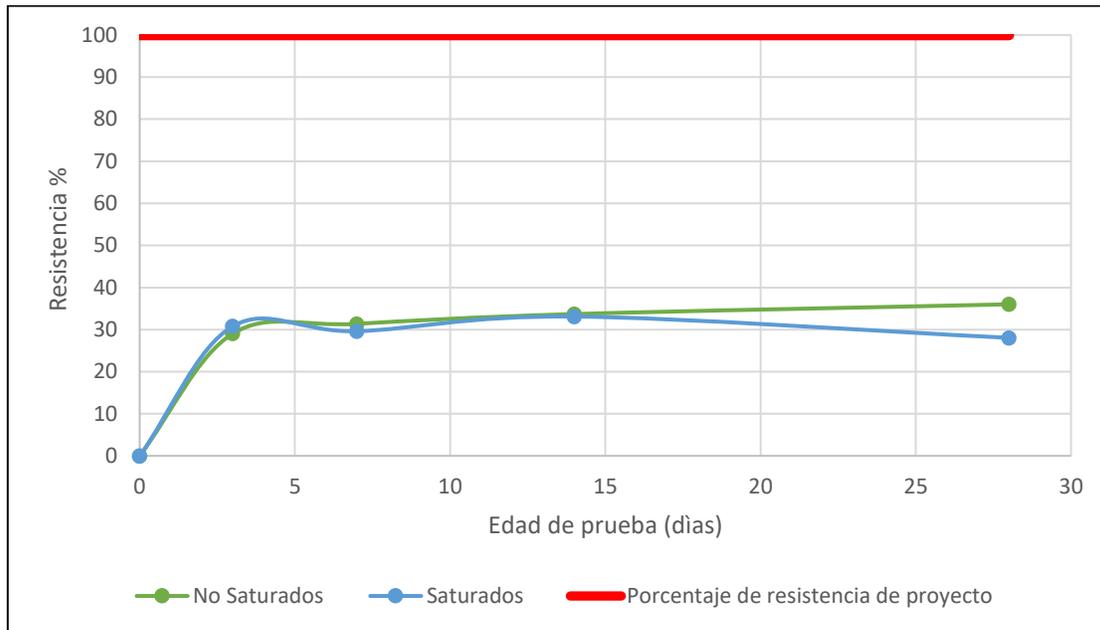
**Imagen 83.-** Carga-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 15% cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 84.-** Resistencia-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 15% cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 85.-** Porcentajes de resistencia de proyecto-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 15% cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.



**Tabla 37.-** Pesos volumétricos de especímenes con 15% de cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.

Muestra	Peso molde	Peso fresco	Peso volumetrico fresco	Peso a edad de prueba	Peso vol. a edad de prueba
	(kg)	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )
1	0.80	1.11	1481.90	0.30	1410.48
2	0.81	1.08	1261.90	0.28	1347.62
3	0.80	1.10	1452.38	0.30	1404.76
4	0.80	1.10	1404.76	0.29	1360.00
5	0.80	1.07	1302.86	0.28	1311.90
6	0.78	1.10	1527.62	0.28	1347.62
7	0.80	1.05	1190.48	0.29	1357.14
8	0.80	1.09	1376.19	0.28	1342.86
9	0.81	1.09	1342.86	0.33	1561.90
10	0.80	1.09	1385.71	0.32	1542.86
11	0.79	1.12	1576.19	0.34	1633.33
12	0.95	1.09	647.62	0.33	1552.38
13	0.79	1.25	2171.43	0.34	1604.76
14	0.79	1.09	1433.33	0.35	1652.38
15	0.78	1.09	1495.24	0.35	1642.86
16	0.79	1.09	1415.24	0.34	1628.57
Volumen molde (m <sup>3</sup> )				0.00021	

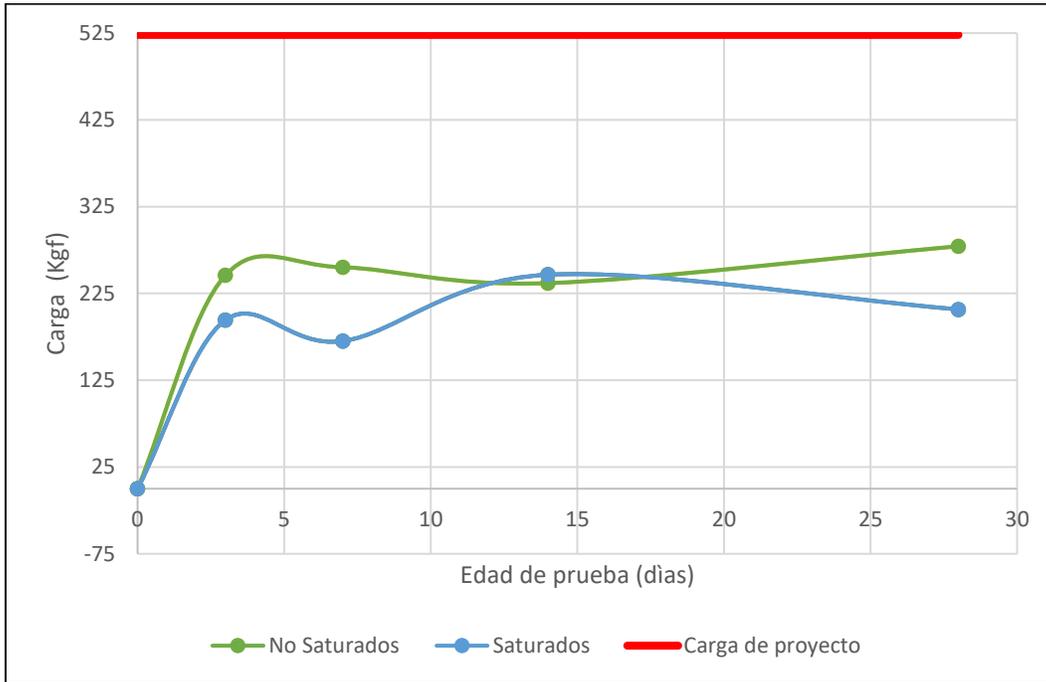
#### 4.2.4.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0.5%MAXEh, 20% CEMENTO Y 11.68 Kg DE SUELO.

##### 4.2.3.1.- CILINDROS (PRUEBA PORTER)

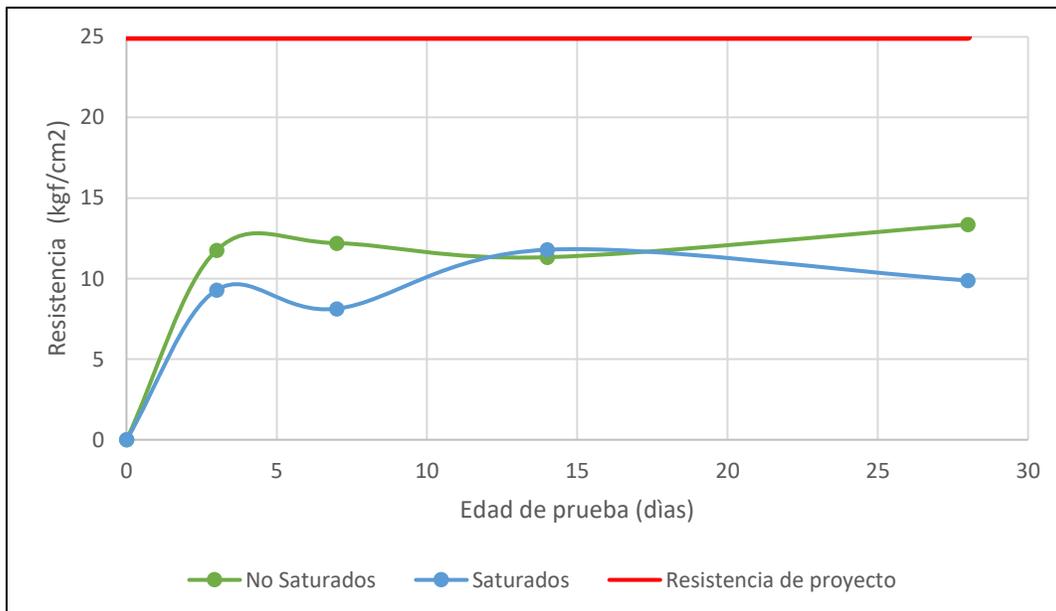
**Tabla 38.-** Resultados de revenimiento, agua real, carga y resistencia para especímenes, con 20% cemento y 0.5 de aditivo MAXE-h.

Nº ESPECIMEN	PESO A EDAD DE PRUEBA	FECHA DE RUPTURA	EDAD (Dias)	LECTURA	CALIBRACION	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA (%)
<b>Cilindros no Saturados</b>								
1	0.40	08/10/2019	3	4.0	60.73	242.92	11.62	46.47
2	0.40	08/10/2019	3	4.1	60.73	248.99	11.91	47.63
3	0.40	12/10/2019	7	4.2	60.73	255.07	12.20	48.79
4	0.40	12/10/2019	7	4.2	60.73	255.07	12.20	48.79
5	0.40	19/10/2019	14	4.2	66.64	255.07	12.20	48.79
6	0.41	19/10/2019	14	3.6	66.64	218.63	10.46	41.82
7	0.41	02/11/2019	28	5.4	66.64	327.94	15.68	62.73
8	0.40	02/11/2019	28	3.8	66.64	230.77	11.04	44.15
<b>Cilindros Saturados</b>								
9	0.41	08/10/2019	3	2.8	60.73	170.04	8.13	32.53
10	0.40	08/10/2019	3	3.6	60.73	218.63	10.46	41.82
11	0.39	12/10/2019	7	2.7	60.73	163.97	7.84	31.37
12	0.40	12/10/2019	7	2.9	60.73	176.12	8.42	33.69
13	0.39	19/10/2019	14	3.8	66.64	253.23	12.11	48.44
14	0.38	19/10/2019	14	3.6	66.64	239.90	11.47	45.89
15	0.36	02/11/2019	28	3.0	66.64	199.92	9.56	38.24
16	0.36	02/11/2019	28	3.2	66.64	213.25	10.20	40.79
FECHA DE COLADO			01/10/2019		F'c	25	kgf/cm2	
REVENIMIENTO (cm)			12		Area	20.91	cm2	
TEMPERATURA (° C)			20		Carga del proyecto	522.75	kg	
AGUA REAL (lts)			2.38					

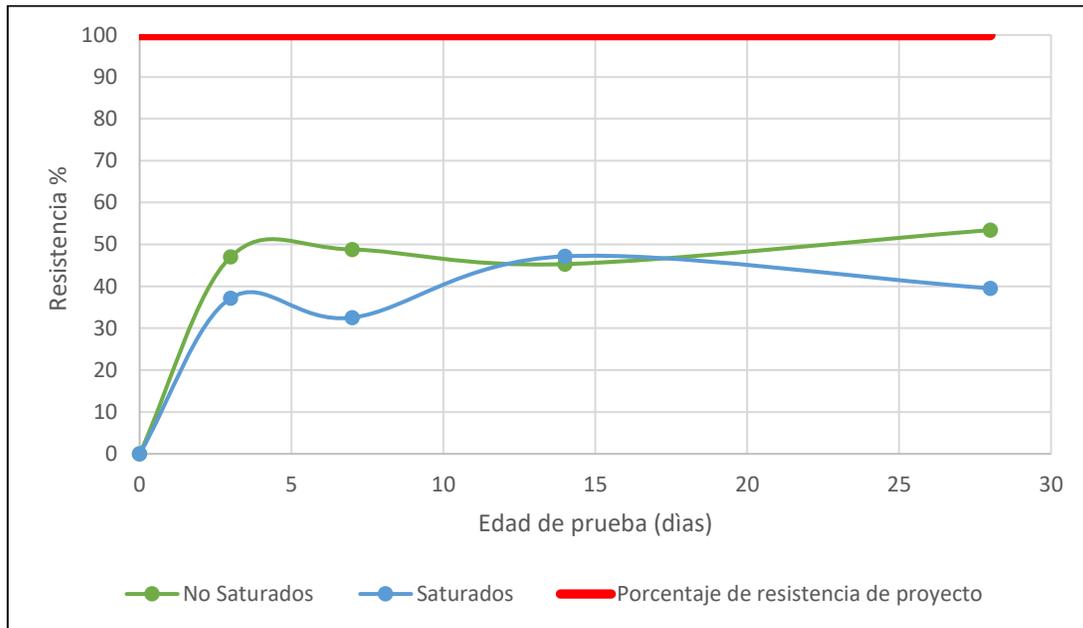
**Imagen 86.-** Carga-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 20% cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 87.-** Resistencia-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 20% cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 88.-** Porcentajes de resistencia de proyecto-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 20% cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.



**Tabla 39.-** Pesos volumétricos de especímenes con 20% de cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.

Muestra	Peso molde	Peso a edad de prueba	Peso vol. a edad de prueba
	(kg)	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )
1	0.80	0.29	1395.24
2	0.81	0.30	1427.62
3	0.80	0.30	1423.81
4	0.80	0.29	1369.52
5	0.80	0.29	1400.00
6	0.78	0.29	1367.62
7	0.80	0.30	1418.10
8	0.80	0.29	1366.67
9	0.81	0.33	1557.14
10	0.80	0.32	1515.71
11	0.79	0.34	1609.52
12	0.95	0.32	1533.33
13	0.79	0.33	1566.67
14	0.79	0.33	1569.05
15	0.78	0.33	1557.14
16	0.79	0.34	1595.24
Volumen molde (m <sup>3</sup> )		0.00021	

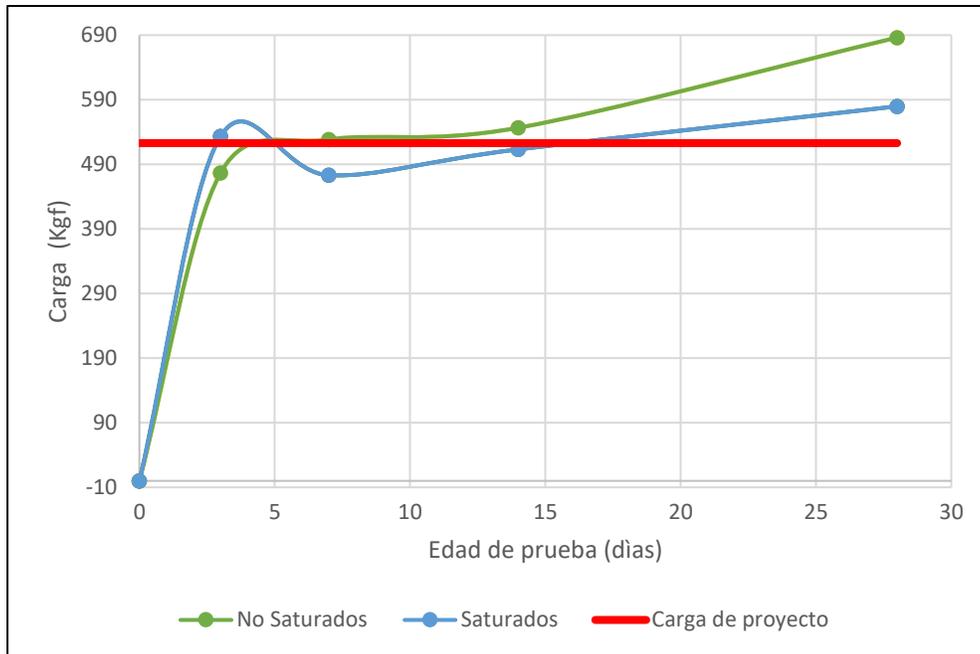
#### 4.2.5.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0.5%MAXEh, 30% CEMENTO Y 11.68 Kg DE SUELO.

##### 4.2.5.1.- CILINDROS (PRUEBA PORTER)

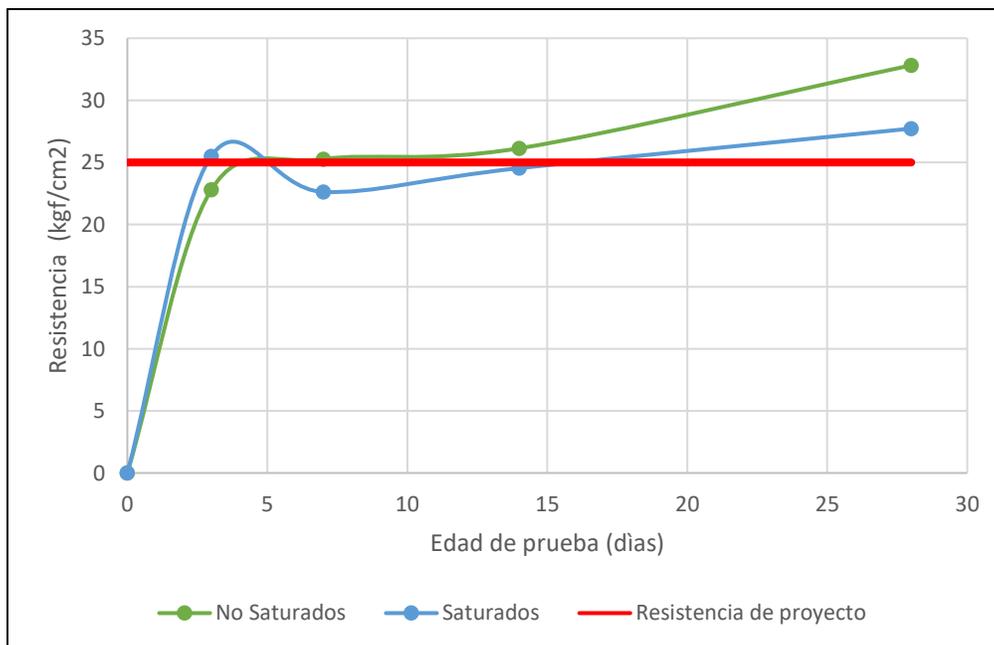
**Tabla 40.-** Resultados de revenimiento, agua real, carga y resistencia para especímenes, con 30% cemento y 0.5 de aditivo MAXE-h.

N° ESPECIMEN	PESO A EDAD DE PRUEBA	FECHA DE RUPTURA	EDAD (Dias)	LECTURA	CALIBRACION	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA (%)
<b>Cilindros no Saturados</b>								
1	0.40	15/10/2019	3	8.7	60.73	528.35	25.27	101.07
2	0.40	15/10/2019	3	7.0	60.73	425.11	20.33	81.32
3	0.40	19/10/2019	7	8.4	66.64	510.13	24.40	97.59
4	0.40	19/10/2019	7	9.0	66.64	546.57	26.14	104.56
5	0.40	26/10/2019	14	9.2	66.64	558.72	26.72	106.88
6	0.41	26/10/2019	14	8.8	66.64	534.42	25.56	102.23
7	0.41	09/11/2019	28	11.0	66.64	668.03	31.95	127.79
8	0.40	09/11/2019	28	11.6	66.64	704.47	33.69	134.76
<b>Cilindros Saturados</b>								
9	0.41	15/10/2019	3	8.6	66.64	573.10	27.41	109.63
10	0.40	15/10/2019	3	7.4	66.64	493.14	23.58	94.33
11	0.39	19/10/2019	7	6.8	66.64	453.15	21.67	86.69
12	0.40	19/10/2019	7	7.4	66.64	493.14	23.58	94.33
13	0.39	26/10/2019	14	7.4	66.64	493.14	23.58	94.33
14	0.38	26/10/2019	14	8.0	66.64	533.12	25.50	101.98
15	0.36	09/11/2019	28	8.2	66.64	546.45	26.13	104.53
16	0.36	09/11/2019	28	9.2	66.64	613.09	29.32	117.28
FECHA DE COLADO			11/10/2019			F'c	25	kgf/cm2
REVENIMIENTO (cm)			13			Area	20.91	cm2
TEMPERATURA (° C)			19			Carga del proyecto	522.75	kg
AGUA REAL (lts)			2.18					

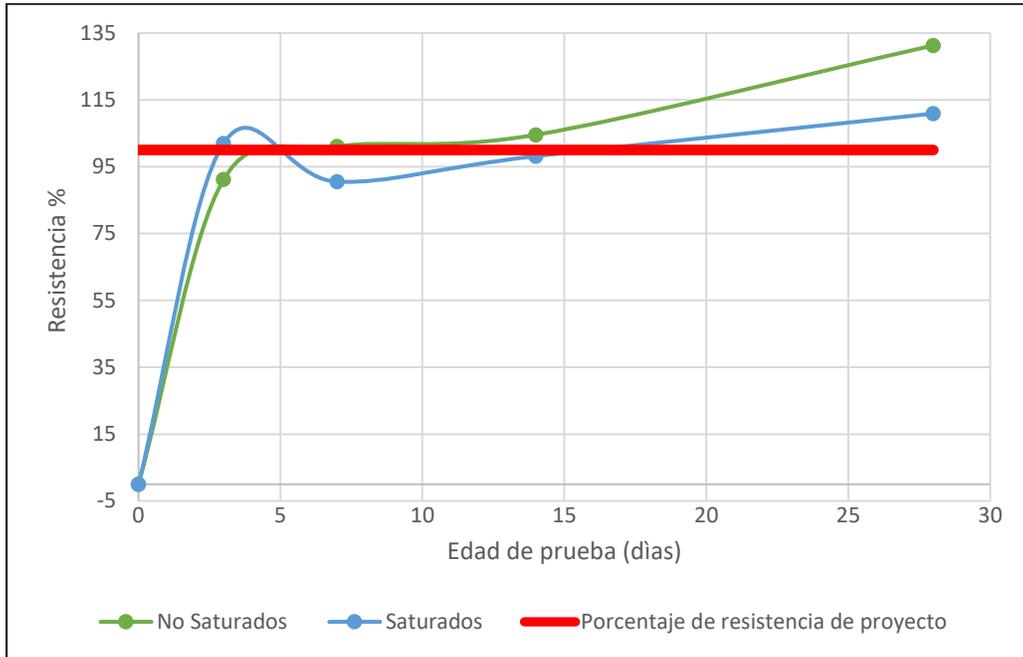
**Imagen 89.-** Carga-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 30% cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 90.-** Resistencia-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 30% cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 91.-** Porcentajes de resistencia de proyecto-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 30% cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.



**Tabla 41.-** Pesos volumétricos de especímenes con 30% de cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.

Muestra	Peso molde	Peso fresco	Peso volumetrico fresco	Peso a edad de prueba	Peso vol. a edad de prueba
	(kg)	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )
1	0.80	1.12	1528.57	0.33	1557.14
2	0.81	1.12	1452.38	0.31	1480.95
3	0.80	1.14	1623.81	0.32	1535.71
4	0.80	1.26	2195.24	0.31	1461.43
5	0.80	1.12	1514.29	0.32	1533.33
6	0.78	1.11	1566.67	0.32	1500.00
7	0.80	1.11	1453.81	0.31	1490.48
8	0.80	1.11	1487.62	0.31	1466.67
9	0.81	1.13	1500.00	0.35	1680.95
10	0.80	1.12	1509.52	0.35	1673.81
11	0.79	1.11	1542.86	0.34	1640.48
12	0.95	1.14	895.24	0.36	1695.24
13	0.79	1.10	1490.48	0.35	1661.90
14	0.79	1.11	1542.86	0.36	1704.76
15	0.78	1.11	1561.90	0.36	1709.05
16	0.79	1.11	1530.48	0.36	1718.57
Volumen molde (m <sup>3</sup> )				0.00021	

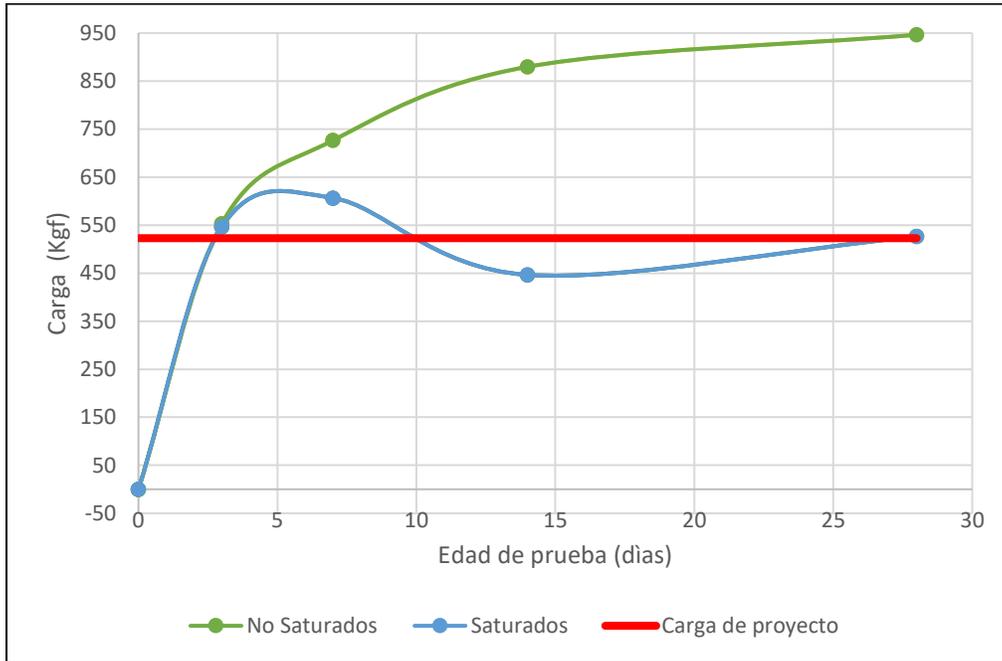
#### 4.2.6.- RESULTADOS PARA LA MEZCLA: 0.5%MAXEh, 40% CEMENTO Y 11.68 Kg DE SUELO

##### 4.2.6.1.- CILINDROS (PRUEBA PORTER)

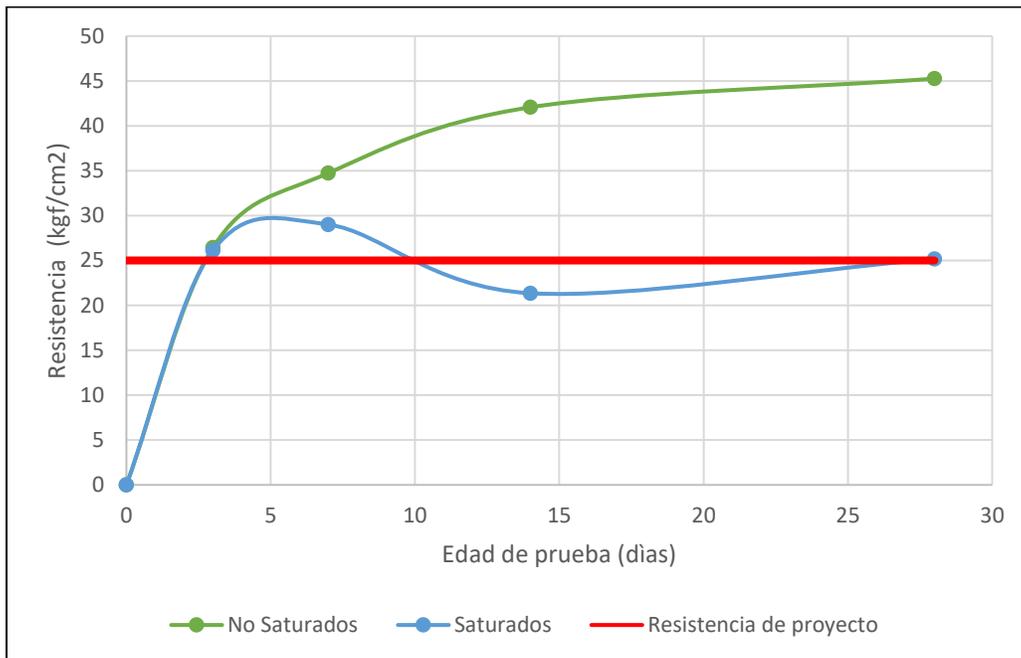
**Tabla 42.-** Resultados de revenimiento, agua real, carga y resistencia para especímenes, con 40% cemento y 0.5 de aditivo MAXE-h.

N° ESPECIMEN	PESO A EDAD DE PRUEBA	FECHA DE RUPTURA	EDAD (Días)	LECTURA	CALIBRACION	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE RESISTENCIA (%)
<b>Cilindros no Saturados</b>								
1	0.40	22/10/2019	3	8.6	66.64	573.10	27.41	109.63
2	0.40	22/10/2019	3	8.0	66.64	533.12	25.50	101.98
3	0.40	26/10/2019	7	10.6	66.64	706.38	33.78	135.13
4	0.40	26/10/2019	7	11.2	66.64	746.37	35.69	142.78
5	0.40	02/11/2019	14	13.6	66.64	906.30	43.34	173.37
6	0.41	02/11/2019	14	12.8	66.64	852.99	40.79	163.17
7	0.41	16/11/2019	28	14.0	66.64	932.96	44.62	178.47
8	0.40	16/11/2019	28	14.4	66.64	959.62	45.89	183.57
<b>Cilindros Saturados</b>								
9	0.41	22/10/2019	3	8.0	66.64	533.12	25.50	101.98
10	0.40	22/10/2019	3	8.4	66.64	559.78	26.77	107.08
11	0.39	26/10/2019	7	9.0	66.64	599.76	28.68	114.73
12	0.40	26/10/2019	7	9.2	66.64	613.09	29.32	117.28
13	0.39	02/11/2019	14	7.0	66.64	466.48	22.31	89.24
14	0.38	02/11/2019	14	6.4	66.64	426.50	20.40	81.59
15	0.36	16/11/2019	28	8.0	66.64	533.12	25.50	101.98
16	0.36	16/11/2019	28	7.8	66.64	519.79	24.86	99.43
FECHA DE COLADO			16/10/2019		F'c		25	kgf/cm <sup>2</sup>
REVENIMIENTO (cm)			12		Area		20.91	cm <sup>2</sup>
TEMPERATURA (° C)			19		Carga del proyecto		522.75	kg
AGUA REAL (lts)			2.38					

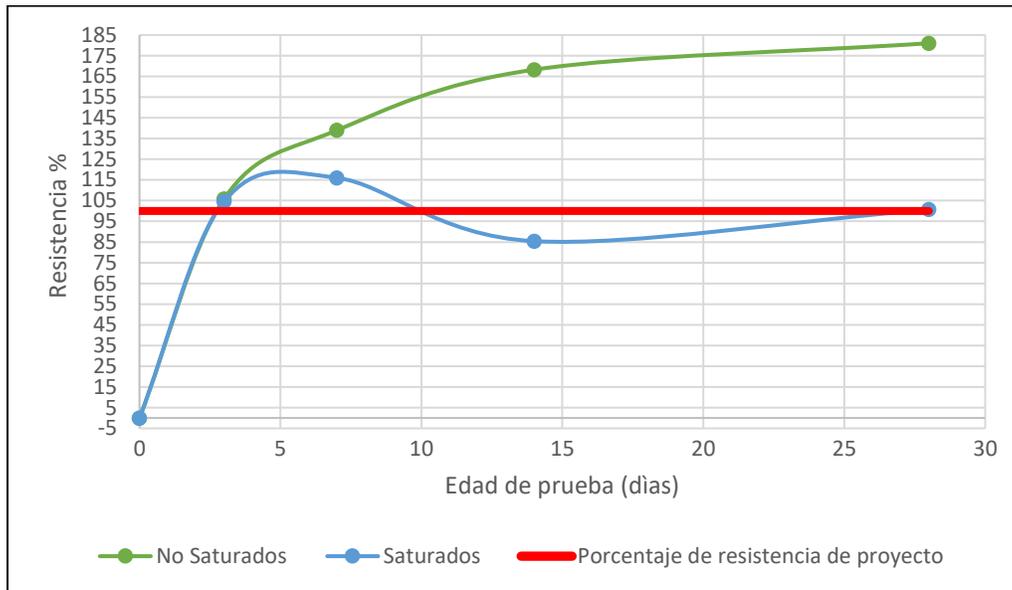
**Imagen 92.-** Carga-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 40% cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 93.-** Resistencia-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 40% cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 94.-** Porcentajes de resistencia de proyecto-Edad de pruebas en días, de los especímenes saturados y no saturados, con 40% cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.



**Tabla 43.-** Pesos volumétricos de especímenes con 40% de cemento y 0.5% de aditivo MAXE-h.

Muestra	Peso molde	Peso fresco	Peso volumetrico fresco	Peso a edad de prueba	Peso vol. a edad de prueba
	(kg)	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )
1	0.80	1.11	1495.24	0.32	1519.05
2	0.81	1.12	1495.24	0.32	1521.90
3	0.80	1.14	1628.57	0.33	1547.62
4	0.80	1.10	1438.10	0.32	1509.52
5	0.80	1.12	1500.00	0.32	1542.86
6	0.78	1.14	1728.57	0.33	1580.95
7	0.80	1.11	1495.24	0.32	1533.33
8	0.80	1.11	1495.24	0.32	1509.52
9	0.81	1.11	1447.62	0.38	1790.48
10	0.80	1.12	1514.29	0.36	1728.57
11	0.79	1.27	2261.90	0.35	1666.67
12	0.95	1.11	780.95	0.36	1709.52
13	0.79	1.10	1452.38	0.36	1709.52
14	0.79	1.11	1514.29	0.37	1747.62
15	0.78	1.13	1657.14	0.39	1857.14
16	0.79	1.12	1585.71	0.38	1795.24
Volumen molde (m <sup>3</sup> )				0.00021	

#### 4.3.- RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS CILINDROS SATURADOS Y NO SATURADOS EN LA PRUEBA PORTER.

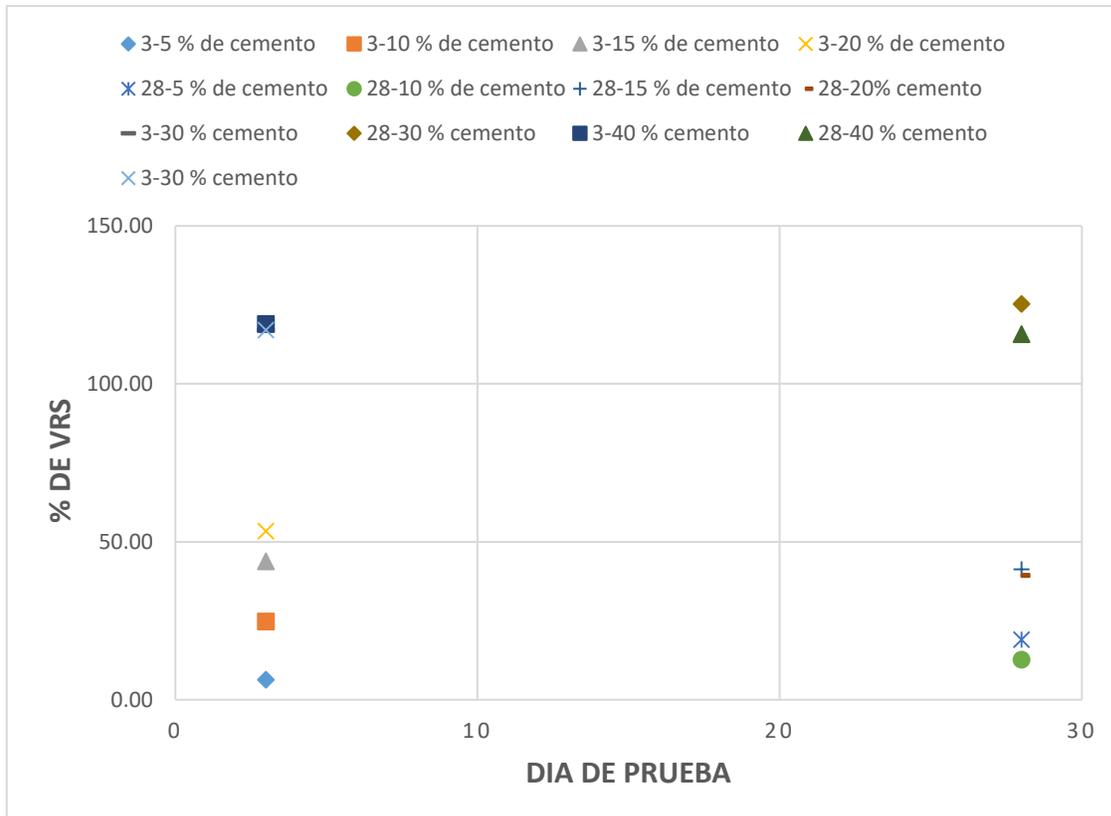
PROPORCIONAMIENTO	EDAD DE ESPECIMEN	NO SATURADOS			SATURADOS		
		CARGA	RESISTENCIA	% DE RESISTENCIA	CARGA	RESISTENCIA	% DE RESISTENCIA
	(Kgf)	(Kgf/cm <sup>2</sup> )	(%)	(Kgf)	(Kgf/cm <sup>2</sup> )	(%)	
	Días	0 % MAXEh					
<b>5% CEMENTO</b>	28	121.46	5.81	23.23	97.17	4.65	18.59
	28	133.61	6.39	25.56	109.31	5.23	20.91
<b>10% CEMENTO</b>	28	170.04	8.13	32.53	115.39	5.52	22.07
	28	133.61	6.39	25.56	109.31	5.23	20.91
<b>15% CEMENTO</b>	28	170.04	8.13	32.53	106.62	5.10	20.40
	28	145.75	6.97	27.88	106.62	5.10	20.40
<b>20% CEMENTO</b>	28	291.50	13.94	55.76	199.92	9.56	38.24
	28	303.65	14.52	58.09	213.25	10.20	40.79
<b>30% CEMENTO</b>	28	534.42	25.56	102.23	386.51	18.48	73.94
	28	595.15	28.46	113.85	399.84	19.12	76.49
<b>40% CEMENTO</b>	28	866.32	41.43	165.72	399.84	19.12	76.49
	28	932.96	44.62	178.47	426.50	20.40	81.59
		0.5 % MAXEh					
<b>5% CEMENTO</b>	28	121.46	5.81	23.23	97.17	4.65	18.59
	28	133.61	6.39	25.56	97.17	4.65	18.59
<b>10% CEMENTO</b>	28	157.90	7.55	30.21	106.62	5.10	20.40
	28	157.90	7.55	30.21	106.62	5.10	20.40
<b>15% CEMENTO</b>	28	182.19	8.71	34.85	159.94	7.65	30.60
	28	194.34	9.29	37.18	133.28	6.37	25.50
<b>20% CEMENTO</b>	28	327.94	15.68	62.73	199.92	9.56	38.24
	28	230.77	11.04	44.15	213.25	10.20	40.79
<b>30% CEMENTO</b>	28	668.03	31.95	127.79	546.45	26.13	104.53
	28	704.47	33.69	134.76	613.09	29.32	117.28
<b>40% CEMENTO</b>	28	932.96	44.62	178.47	533.12	25.50	101.98
	28	959.62	45.89	183.57	519.79	24.86	99.43

#### 4.3.1.1- MOLDES (PRUEBA DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE, VRS)

**Tabla 44.-** Resultados de la prueba del valor relativo de soporte, 5%, 10%, 20%, 30% y 40% cemento y 0.5% aditivo MAXE-h.

% cemento	Día	VRS %
5%	3	6.36
	28	19.08
10%	3	24.81
	28	12.72
15%	3	43.89
	28	41.34
20%	3	53.43
	28	39.43
30%	3	117.03
	28	125.30
40%	3	118.94
	28	115.76

**Imagen 95.-** Grafica de porcentajes del VRS.



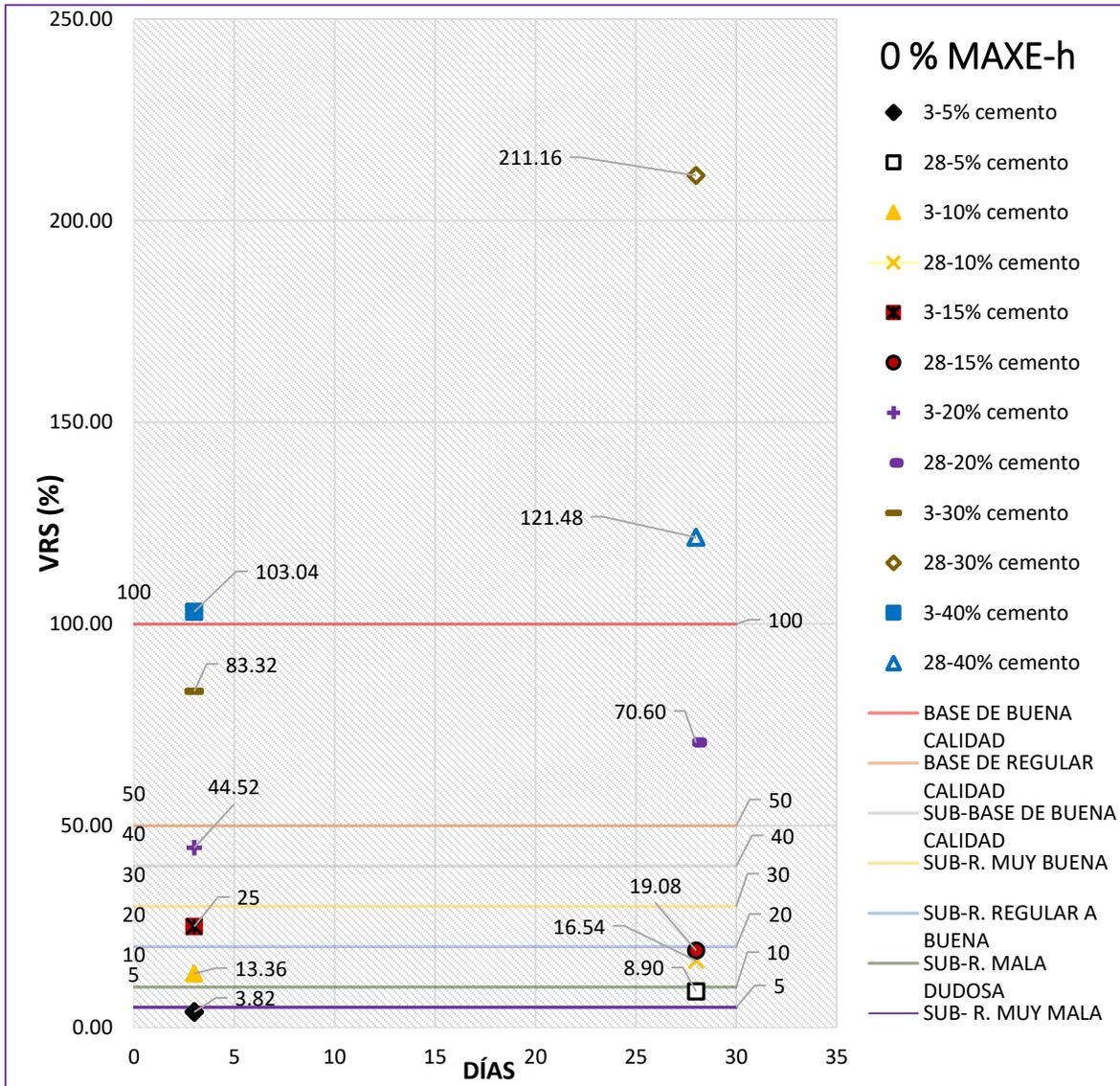
De acuerdo a la clasificación que señala el manual de mecánica de suelos I, de la facultad de ingeniería civil y de los resultados que arroja la gráfica anterior, el porcentaje óptimo para la mezcla de suelo-cemento fluido se encuentra en el 30 %, ya que alcanza el 100% del Valor Relativo de Soporte, para una base de buena calidad.

#### 4.4.- RESUMEN DE RESULTADOS DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE

**Tabla 18.-** Resumen y clasificación del VRS.

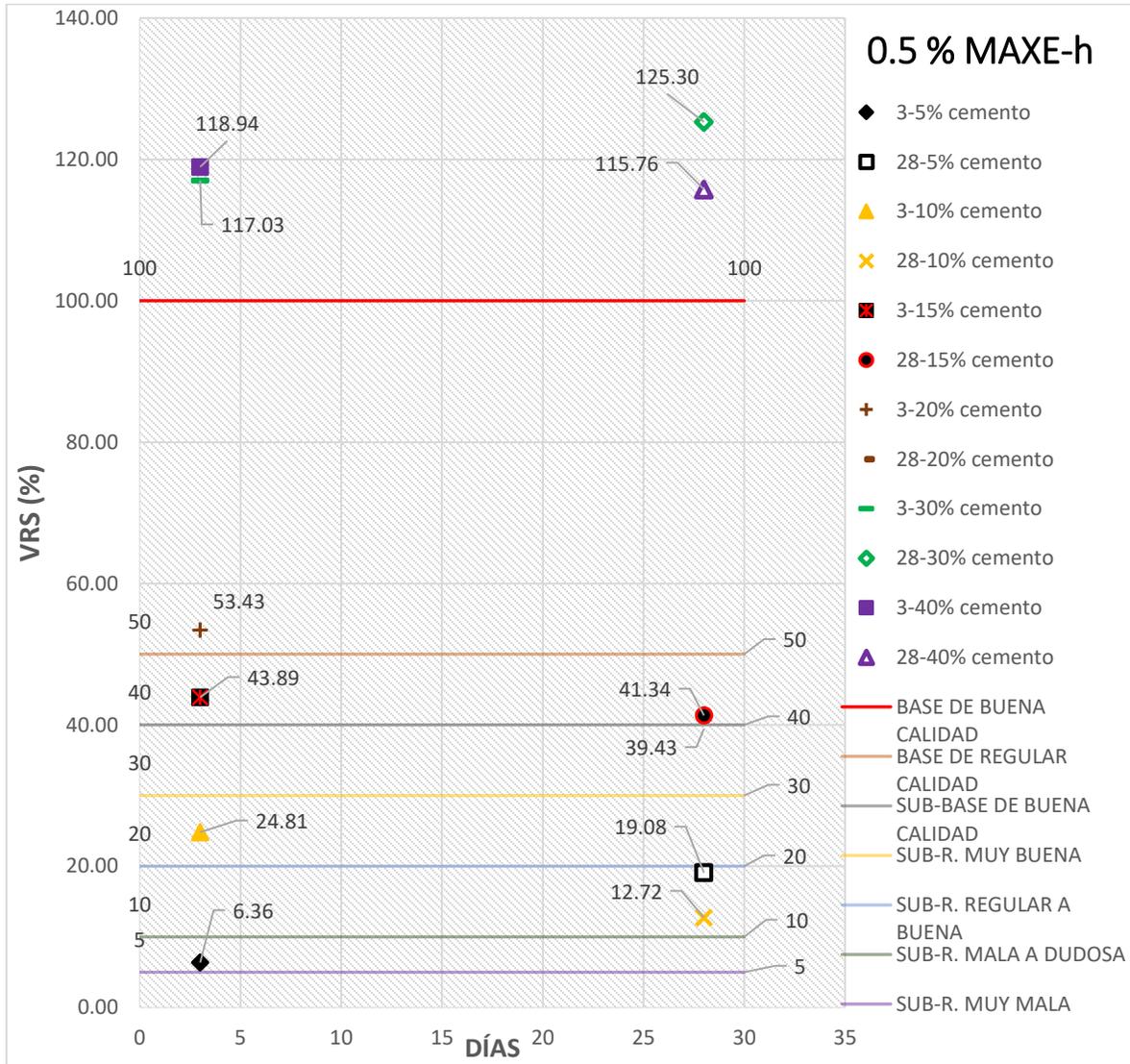
PROPORCIONAMIENTO	EDAD DE ESPECIMEN	PENETRACIÓN	CARGA	VRS	EXPANSIÓN	CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL
	Días					
<b>0% MAXEh</b>						
5% CEMENTO	3	6	51.9	3.82	0	<i>SUB-RASANTE MUY MALA</i>
	28	14	121.1	8.90	0	<i>SUB-RTE MALA DUDOSA</i>
10% CEMENTO	3	21	181.65	13.36	0	<i>SUB-RTE REGULAR A BUENA</i>
	28	26	224.9	16.54	0	<i>SUB-RTE REGULAR A BUENA</i>
15% CEMENTO	3	32	276.8	20.35	0	<i>SUB-RASANTE MUY BUENA</i>
	28	30	259.5	19.08	0	<i>SUB-RTE REGULAR A BUENA</i>
20% CEMENTO	3	70	605.5	44.52	0	<i>SUB-BASE BUENA CALIDAD</i>
	28	111	960.15	70.60	0	<i>BASE DE REGULAR CALIDAD</i>
30% CEMENTO	3	21	181.65	83.32	0	<i>BASE DE BUENA CALIDAD</i>
	28	197	1704.05	211.16	0	<i>BASE DE BUENA CALIDAD</i>
40% CEMENTO	3	162	1401.3	103.04	0	<i>BASE DE BUENA CALIDAD</i>
	28	151	1306.15	121.48	0	<i>BASE DE BUENA CALIDAD</i>
<b>0.5 % MAXEh</b>						
5% CEMENTO	3	10	86.5	6.36	0	<i>SUB-RTE MALA DUDOSA</i>
	28	30	259.5	19.08	0	<i>SUB-RTE REGULAR A BUENA</i>
10% CEMENTO	3	39	337.35	24.81	0	<i>SUB-RASANTE MUY BUENA</i>
	28	20	173	12.72	0	<i>SUB-RTE REGULAR A BUENA</i>
15% CEMENTO	3	69	596.85	43.89	0	<i>SUB-BASE BUENA CALIDAD</i>
	28	65	562.25	41.34	0	<i>SUB-BASE BUENA CALIDAD</i>
20% CEMENTO	3	84	726.6	53.43	0	<i>BASE DE REGULAR CALIDAD</i>
	28	62	536.3	39.43	0	<i>SUB-BASE BUENA CALIDAD</i>
30% CEMENTO	3	184	1591.6	117.03	0	<i>BASE DE BUENA CALIDAD</i>
	28	197	1704.05	125.30	0	<i>BASE DE BUENA CALIDAD</i>
40% CEMENTO	3	187	1617.55	118.94	0	<i>BASE DE BUENA CALIDAD</i>
	28	182	1574.3	115.76	0	<i>BASE DE BUENA CALIDAD</i>

La siguiente gráfica corresponde a los resultados del valor relativo de soporte (VRS), a diferentes proporciones de cemento con el 0% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 44.-** Resumen gráfico de VRS de los proporciones del 5% al 40 % de cemento con 0% de aditivo MAXE-h.

A continuación se muestra en la gráfica los resultados de los valores relativos de soporte de cada proporcionamiento realizado del 5% al 40% de cemento con el 0.5% de aditivo MAXE-h.



**Imagen 45.-** Resumen gráfico de VRS de los proporcionamientos del 5% al 40 % de cemento con 0.5% de aditivo MAXE-h.

#### 4.5.- ANÁLISIS DEL COSTO DE 1 M<sup>3</sup> DE SUELO-CEMENTO FLUIDO

Analizando para 1 m<sup>3</sup> concreto con un  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$  y 1 m<sup>3</sup> de suelo-cemento fluido con un  $f'c = 25 \text{ kg/cm}^2$ .

**Tabla 19.-** Análisis de precio unitario para concreto común.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE	
Bultos de Cemento	bulto	5.36	150	804	
Grava	m <sup>3</sup>	0.734	200	146.8	
Arena	m <sup>3</sup>	0.54	200	108	
Agua	m <sup>3</sup>	0.254	40	10.16	
			<b>Total=\$/m<sup>3</sup></b>	<b>1068.96</b>	<b>MXN</b>

**Tabla 20.-** Análisis de precio unitario para 1 m<sup>3</sup> de suelo-cemento fluido.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE	
Bultos de Cemento	bulto	4.4	150	660	
MAXE-h	kg	1	90	90	
Ceniza volcanica	m <sup>3</sup>	1	130	130	
Agua	m <sup>3</sup>	0.254	40	10.16	
			<b>Total=\$/m<sup>3</sup></b>	<b>890.16</b>	<b>MXN</b>

El costo del suelo-cemento es aproximadamente 17 % menos que el concreto con cemento normal tipo I, ya que en multiplicadas por las grandes cantidades utilizadas en obra deja un buen ahorro.

Aclarando que los precios unitarios varían en el lugar de origen de cada material.

## 5. CONCLUSIONES

El porcentaje óptimo de cemento para una mezcla de suelo-cemento fluido sin aditivo MAXEh que cumple con la carga del proyecto (522.79 kg), resistencia (25 kg/cm<sup>2</sup>) y porcentaje de resistencia (100%) para especímenes en condiciones no saturadas es 30 % y 0% de aditivo MAXE-h.

El porcentaje óptimo de cemento para una mezcla de suelo-cemento fluido sin aditivo MAXEh que cumple con la carga del proyecto (522.79 kg), resistencia (25 kg/cm<sup>2</sup>) y porcentaje de resistencia (100%) para especímenes en condiciones saturadas y no saturadas es 30 % y 0.5% de aditivo MAXE-h aumentando un 27.8 % aproximadamente las propiedades mecánicas de este suelo en específico.

La prueba del Valor Relativo de Soporte Estándar (VRS) para una mezcla con 30% y 0.5% de aditivo MAXE-h, el porcentaje óptimo es 30% de cemento probadas al día 28, dando así el valor más alto con 0% de aditivo.

En base a los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, se concluye que las mejores resistencias se obtuvieron con los cilindros con 0% de aditivo MAXE-h, por lo tanto, se obtiene el resultado esperado para este proyecto con la resistencia proporcionada.

En cuanto a lo que marca la norma NMX-C-ONCCE-2013. Cumple para tabiques artesanales para uso no estructural. Y para uso estructural la resistencia requerida habría que agregarle más porcentaje de cemento (30 %). Así poder usar la ceniza volcánica para la elaboración de tabiques aplicados en la construcción para muros divisorios.

En base a las gráficas de los resultados de cargas a compresión simple en condiciones no saturadas se obtuvieron mayores cargas, en comparación a condiciones saturadas.

Debido a que la Ceniza volcánica se trata de una Arena Limosa (SM), presentó algunas dificultades en el manejo del material en cuanto a la preparación de la

mezcla de suelo-cemento fluido con el proporcionamiento de 5% a 10 % de cemento.

El material utilizado pudo alcanzar su resistencia en un porcentaje de cemento más bajo, pero debido a que no se le dieron los golpes adecuados al momento de su colado en sus cilindros, estos quedaron con oquedades bajando así su resistencia al momento de probarlos en la maquina Porter.

Como podemos ver este material es apto para utilizarlo como suelo cemento fluido para edificaciones y muros de contención, donde las condiciones o zonas del nivel freático esta a un metro de profundidad, ya que el aditivo permite estabilizar el suelo y no bajar su resistencia debido a la humedad que lo puede llegar a afectar.

## 6. BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

CENAPRED. (06 de 11 de 2019). Obtenido de [www.gob.mx](http://www.gob.mx):  
<https://www.gob.mx/cenapred/articulos/que-es-la-ceniza-volcanica>

Chimal, E. C. (2016). caracterizacion de Suelo-Cemento Fluido en condiciones saturadas, para la region de morelia. Morelia.

-DGCS-112, B. U. (21 de febrero de 2019). Obtenido de  
[http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2019\\_112.html](http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2019_112.html)

Google Earth. (15 de 06 de 2019). Obtenido de  
<https://earth.google.com/web/@19.57396015,-102.2464456,2460.43957267a,20041.03751064d,35y,263.75617627h,0t,0r>

Google Maps. (15 de 06 de 2019. Obtenido de  
<https://www.google.com.mx/maps/dir/Morelia,+Michoac%C3%A1n/Par%C3%ADcutin,+Michoac%C3%A1n/@19.5439154,-102.0173454,10z/data=!3m1!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x842d0ba2b29da7e3:0x4016978679c8620!2m2!1d-101.1949825!2d19.7059504!1m5!1m1!1s0x842e0d7cee57b815:0xcf>

imcyc. (20 de 06 de 2019). Concreto en la obra, problemas, causas y soluciones. Obtenido de <http://www.imcyc.com/ct2006/junio06/PROBLEMAS.pdf>

Lavalle, M. e. (2013). SUELO-CEMENTO. Sus usos, propiedades y aplicaciones. Mexico: imcyc.

Manual de Mecanica de Suelos I (7 semestre). (agosto 2011).

MAXEh. (19 de 06 de 2019). Obtenido de [www.maxehterracreto.com](http://www.maxehterracreto.com)

ONNCCE. ( 2014). En S. ORGANISMO NACIONAL DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION DE LA CONSTRUCCION Y EDIFICACION, NORMA MEXICANA NMX-C-441-ONNCCE-2013.

ONNCCE. (2013). En ONNCCE, NORMA MEXICANA NMX-C-441-ONNCCE-2013.

Norma Mexicana NMX-C-156-0NNCCE-. (2010). *Revenimiento del concreto fresco*.

MNX-C-159-ONNCCE-. (2004). *Concreto-Elaboración y curado de especímenes en el laboratorio.*